

Sbor. geol. věd	Geologie 44	Str. 51—78	6 obr.	3 tab.	4 příl.	Praha 1989 ISSN 0581-9172
--------------------	----------------	---------------	-----------	-----------	------------	------------------------------

Xenolity charnockitových hornin ve vulkanitech Českého středohoří

Charnockite xenoliths in the Tertiary volcanites of the České středohoří Mts., northern Bohemia

Mojmír Opletal¹ - Stanislav Vrána¹

Předloženo 25. února 1986

Opletal M. - Vrána S. (1989): Xenolity charnockitových hornin ve vulkanitech Českého středohoří. — Sbor. geol. Věd, Geol., 44, 51—78. Praha.

V ý t a h: Uvádíme výsledky geologického, petrologického a petrochemického studia charnockitových hornin, vyskytujících se jako xenolity ve vulkanitech Českého středohoří v území mezi Ústím n. Labem a Litoměřicemi. Byly rozlišeny dvě skupiny hornin: 1. granity chudé K-živcem, granodiority, křemenné monzodiority až monzodiority, 2. křemenné syenity. Horniny obvykle obsahují ortopyroxen jako jediný Fe-Mg silikát, pouze monzodiorit a křemenný syenit obsahují též Ca-klinopyroxen. Charnockity mají vzhled granitoidních hornin, nevýraznou až výraznou paralelní texturu s charakteristickými znaky deformace a vysokoteplotní rekrystalizace. Od granulitů moldanubického typu se liší nepřítomností granátu, amfibolu a biotitu, a po geochemické stránce výrazně vyššími hodnotami K/Rb. Diskutujeme vztah těchto charnockitů ke dvěma typům granulitových hornin v hercynidách Evropy a k některým prekambričtým charnockitům východoevropské platformy. Výsledky dokládají v oblasti Českého středohoří charnockitový komplex vázaný patrně na hlubší část kůry.

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

Úvod

Výskyty charnockitů — hornin granitoidního složení obsahujících ortopyroxen jako hlavní Fe-Mg silikát — přitahují vytrvale pozornost pro specifický způsob geologického výskytu a speciální podmínky jejich vzniku i pro své geochemické vlastnosti. Rozsáhlejší výskyty charnockitů jsou koncentrovány v oblastech hluboce erodovaných prekambričtých štítů; menší segmenty charnockitů a pyroxenických granulitů ve fanerozoických kolizních pásmech byly transportovány do mělkých

úrovní zemské kůry tektonicky. Mladé vulkanity převážně bazaltoidního složení obsahují charnockity nebo pyroxenické granulity v podobě xenolitů, které poskytují informaci o složení hlubších partií kontinentální kůry v období příslušného vulkanismu.

Xenolity charnockitů ve vulkanitech Českého středohoří, kterým je věnována tato práce, umožňují získat s minimálními náklady údaje o složení a vlastnostech hornin hlubší části kontinentální kůry v oblasti Českého středohoří, v hloubkách, které jsou pravděpodobně mimo dosah jiných nákladných metod vzorkování, jako jsou hluboké, příp. i superhluboké vrty.

Charnockity zcela analogické s horninami popisovaných xenolitů nejsou známy z Českého masívu, přestože hercynská a kadomská orogeneze způsobily, že jednotlivé segmenty představují velmi různé hloubkové úrovně. Výjimky by mohly představovat jemnozrnné charnockitické melasyenity v tábořském masívu (Frejvald - Jakeš 1964, 1966b) a kyselé hyperstenické a ferohyperstenické granulity s granátem v lišovském masívu (Vrána - Jakeš 1982).

Dále jsou v Českém masívu známy ortopyroxenické granulity a bazické dvoupyroxenické granulity v některých granulitových tělesech moldanubika (Barvíř 1897, Hejtmán 1962, Scharbert - Kurat 1974, Fediuková 1978, Vrána - Jakeš 1982, Fišera et al. 1982). Spletitou problematikou vztahů termínů charnockit a pyroxenický granulit se zabývá na základě přehledu světové literatury referát Frejvalda a Jakeše (1966a). I když tyto dva pojmy byly někdy používány jako synonyma, převládá tendence používat termín charnockit pro horniny, které mimo chemické složení granitoidů jsou charakterizovány i texturami a celkovým vzhledem granitoidů. Tuto tendenci respektujeme v této práci, též s ohledem na skutečnost, že popisované charnockity jsou zřetelně odlišné od pyroxenických a dvoupyroxenických granulitů moldanubika mineralogicky i podmínkami svého vzniku.

Přehled výzkumů

Při geologickém mapování listu Ústí nad Labem v letech 1964—1967 byly nalezeny ve vulkanitech Českého středohoří místy četné xenolity krystalinických hornin. Xenolity sbíral převážně O. Shrbený, dále F. Macák a doplňující sběry hlavně pro analýzy charnockitů jsou od M. Opletala, který pak zpracoval získaný materiál a horniny popsal ve zprávě k listu mapy Ústí nad Labem (Opletal in Shrbený et al. 1967) a v krátkém článku (Opletal 1967). Na sousedním listu mapy

1 : 50 000 Úštěk byly sběry xenolitů v terciérních vulkanitech prováděny L. Kopeckým a zčásti V. Kleinem. Xenolity krystalinika zpracoval M. Opletal a výsledky byly zveřejněny v publikaci Klein a Opletal (1966).

Xenolity krystalinických hornin z podloží křídý v širším okolí Ústí n. Labem byly známy již dříve a uvádějí je Hibschi (1903, 1904), Ir-gang (1909), Hibschi a Seeman (1913) a Hibschi et al. (1917). Ebert (1932) uveřejňuje mapku nálezů xenolitů podle vlastních i starších výzkumů. O první syntézu křídového podloží se pokoušejí Petrascheck (1910), Petrascheck et al. (1944) a Ebert (1932). Mapy podloží křídý sestavují na základě studia vrtů a xenolitů hlavně Havlena a Pouba (1959), Klein (1963), Vachtl (1965), Kopecký a Sattran (1966), Klein a Opletal (1966), Shrbený a Opletal in Shrbený et al. (1967) a Chaloup-ský (1973).

Podle těchto údajů byly v podloží křídý v širším okolí Ústí n. Labem, Litoměřic a Úštěka vymezeny:

1. permokarbonské sedimenty s melafyrovými výlevy, zastižené některými vrty (např. LO-1 Brusov),
2. karbonský křemenný porfyr, zčásti vycházející na povrch v Opárenském údolí,
3. mezozonálně až epizonálně metamorfované horniny — svory, fylity až drobové fylity s vložkami amfibolitů (svrchní proterozoikum — starší paleozoikum). Jsou zastiženy vrty mezi Úštěkem a Dolními Heřmánky, vyneseny vulkanity jako xenolity a vycházejí v krystaliniku České brány u Malých Žernosek,
4. krušnohorské krystalinikum (pararuly, migmatity a ortoruly) bylo v podloží křídý zastiženo vrtem Brná (j. od Ústí nad Labem — viz obr. 1), nebo je avizováno xenolity ve vulkanitech,
5. granulity a granulitické ruly jsou známy z oherského krystalinika a z xenolitů,
6. granitoidní horniny byly navrtány v podloží křídý řadou vrtů v nejzápadnější části maršovicko-bezděžské elevace, zvláště v okolí Dolních Heřmánek a vrtem Rýdeč (j. od Velkého Března). Podle radiometrického stáří (biotit, K-Ar) amfibolicko-biotitického granodioritu z vrtu Úb-7 Rýdeč ($310 \cdot 10^6$ let) lze předpokládat jejich variské stáří. Jsou známy též z řady xenolitů,
7. charnockitické horniny neznámého stáří byly vyneseny na povrch jako xenolity v terciérních vulkanitech,
8. ultrabazika (peridotity a serpentinity) jsou známé z podloží křídý u Měrunic, kde byly navrtány v asociaci s kyanit-granátickými granulity, a z četných xenolitů.

Uvedené charnockity granitického vzhledu v čedičových horninách Českého středohoří popsal O p l e t a l (1967). Není vyloučené, že tyto horniny zde byly známy již dříve, ale pod jiným názvem. H i b s c h (1904) uvádí výskyt xenolitu „augitgranitu“ jižně od Ústí n. Labem a H i b s c h a S e e m a n (1913) z Kukly u Tašova „augitsyenit“. Není zřejmé, zda tyto horniny obsahovaly monoklinický pyroxen, nebo zda rombický pyroxen nebyl rozpoznán. E b e r t (1932) považuje tyto „augit-führende Granite“ za terciární hlubinné horniny, nebo za produkty protokrystalizace bazaltového magmatu. O p l e t a l (1967) předpokládal, že pestrá škála charnockitických hornin vznikla z pyroxenických dioritů granitizací (syenodiority, syenity, granodiority a granity). Uvažuje o jejich teoretické příslušnosti buď k hlubinnějšímu stavebnímu patru, nebo o jejich přítomnosti v podloží křídý.

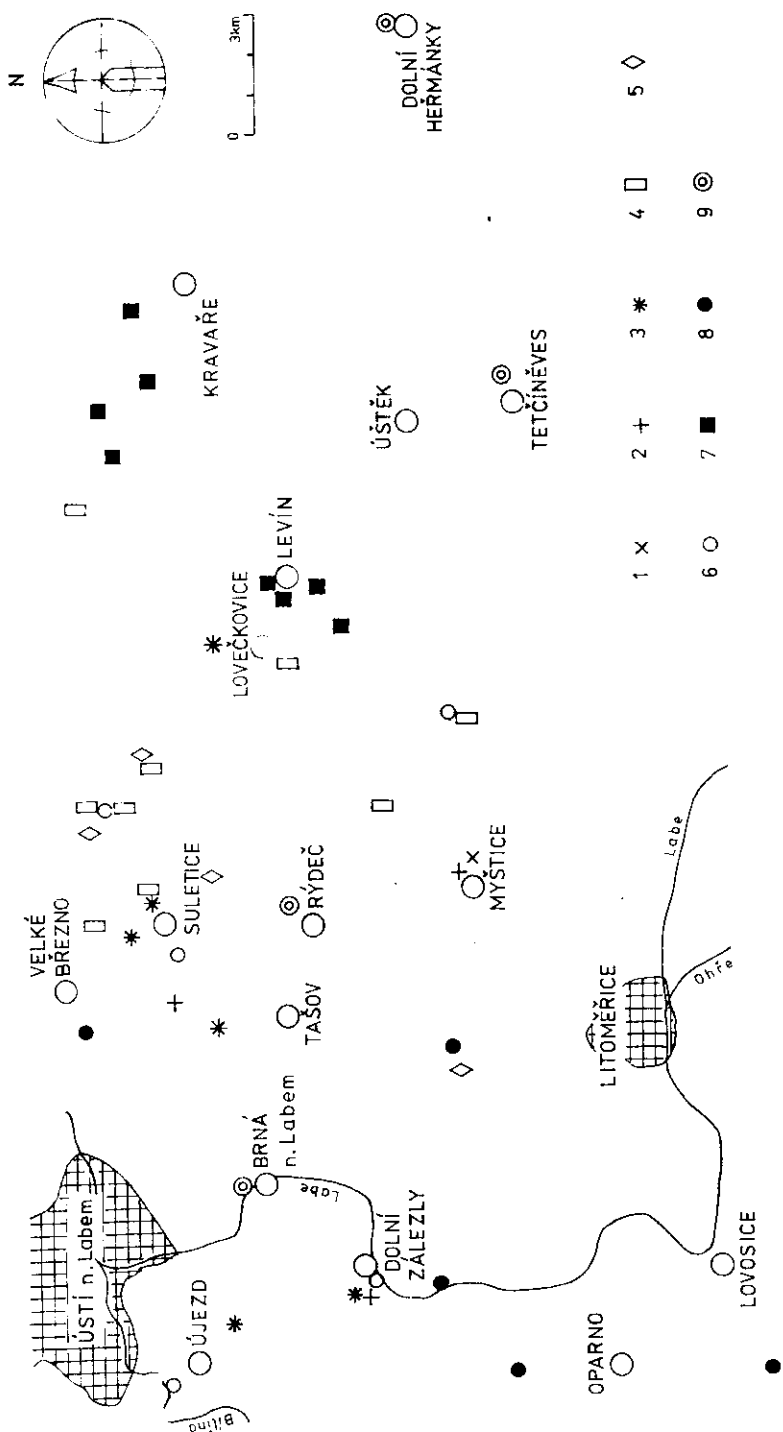
Vlastní výzkumy

V současné etapě prací byla provedena revize výbrusového materiálu, při které bylo zjištěno několik nových lokalit xenolitů charnockitických hornin. Dále bylo nově analyzováno 6 vzorků (silikátové analýzy a analýzy stopových prvků). Celkem 10 vzorků bylo vyhodnoceno geochemicky a petrochemicky.

Xenolity krystalinických hornin se vyskytují v čedičových horninách nebo pyroklastikách na řadě lokalit, jak ukazuje mapa na obrázku 1. Nejsou v ní zaznamenána místa výskytu xenolitů fylitů, svorů, rul a ortorul, tj. hornin bez bližšího vztahu k charnockitovým horninám.

V Újezdě u Trmic (jz. od Ústí n. Labem) jsou v pyroklastikách hojně drobné xenolity — ruly, granulitické ruly, světlé granulity s granátem a kyanitem, amfibolity a ojedinělý tmavošedý granulit s ortopyroxenem. Podobně horninové asociace, avšak bez granulitů s rombickým pyroxenem popisují K o p e c k ý a S a t t r a n (1966) z podloží křídý, kde byly zastíženy vrty spolu se serpentinizovanými pyroxen-pyropovými peridotity. Peridotity se vyskytují též v námi studované oblasti (viz obr. 1).

V okolí Leštiny (v. od Velkého Března) je několik lokalit, kde se vyskytuje řada granitických hornin, nepatřících však k charnockitům. Byly zde popsány biotitické žuly, amfibol-biotitické granodiority, žulové porfyry až granodioritové porfyryty. Některé horniny mají zvýšené obsahy kalcitu. Řada hornin je postižena silnou kaustickou metamorfózou, která je typická natavením a mladší kastrovitou krystalizací plagioklasu (přil. I-1). Xenolity granitoidních hornin zde indikují pokračování masívu, zastíženého v podloží křídý vrtem Úb-7 Rýdeč.



1. Přehledná mapa výskytu xenolitů v žedličových horninách Českého středohoří, j. a jv. od Ústí n. Labem
 1-3 — charnockitové horniny: 1 — žuly až granodiority, 2 — křemenné monzodiority až diority, 3 — syenity; 4 — ostatní
 granitoidy, 5 — karbonatizované granitoidy, 6 — granátické až kyanit-granátické granulity, 7 — gabrodiority až gabra, 8 —
 peridotity, 9 — vybrané vrty do podloží kříd

Charnockitové horniny se vyskytují ve čtyřech úsecích. První je j. od Ústí n. Labem; k několika lokalitám granitoidů s pyroxenem patří i dvě lokality Hibschova „augitgranitu“. Nejvíce xenolitů, velikosti až 10 cm, bylo nalezeno na lokalitě Dolní Zálezly, kde byly zjištěny tři typy charnockitových hornin. První typ je světle šedý syenodiorit s ortopyroxenem (asi 5 %), který má pleochroismus typický pro dále popsané horniny: X — světle okrově červená, Y — světle zelenožlutá, Z — modrozeleňá. Slabě antipertitický plagioklas má bazicitu 46 % An. Nehojný K-živec (do 5 %) vyplňuje mezery mezi plagioklasy. Druhým horninovým typem je šedobílý, slabě usměrněný leukokratní syenit s malým množstvím (1–3 %) romboického pyroxenu, který je často silně postižen proměnou. Antipertitický plagioklas tvoří menší zrna zčásti zatlačovaná K-živcem. Silně pertitický draselný živec (poměr Or : Ab je 3 : 1 až 2 : 1) buduje převážnou část základní hmoty a nehojně vyrostlice. Třetí typ — pyroxenický syenit — je blízký předešlé hornině, ale má 5 % monoklinického pyroxenu.

V druhém úseku, j. až jv. od Velkého Března se vyskytují další místa s xenolity hornin obsahujícími romboický pyroxen. Patří sem i lokalita Kukla u Tašova, odkud popisují H i b s c h a S e e m a n (1913) „augit-syenit“. Xenolity žul až syenitů patřících k charnockitům mají v této oblasti silně alkalický charakter. Jsou bělošedé, černohnědě tečkované, jemnozrnné až drobnozrnné a vzhledu mírně usměrněných plutonitů. Jsou bohaté K-živcem a relativně chudé pyroxeny (obsahují buď orto- nebo klinopyroxen), které jsou často silně sekundárně přeměněné a vyvětralé. V okolí Suletic se vyskytují xenolity velké až 20 cm; pochází odtud analýza 10 (viz tab. 1). Horniny jsou blízké syenitům z Dolních Zálezel, popsaným výše. Na dvou lokalitách u Velkého Března byly nalezeny též bazičtější členy, patřící patrně též k charnockitové asociaci. Pyroxenický gabrodiorit má monoklinický pyroxen a pyroxenický diorit romboický pyroxen s vyvinutými kelyfitickými lemy.

Třetí úsek je s. až sz. od Úštěku. Zde u Lovečkovíc je ojedinělý výskyt charnockitu (pyroxenického granodioritu). V okolí Levína bylo nalezeno na třech lokalitách pět xenolitů, určených jako norit, augitické a amfibolické gabro. Severozápadně od Kravař byl na dvou lokalitách nalezen **hyperit, na jedné olivínické gabro**. Gabro má složitou genezi, což dokazuje jednak složení (plagioklas — bytownit, klinopyroxen, ortopyroxen, olivín, spinelid — hercynit, apatit, chlorit), jednak symplektitická struktura (příl. I-2 a II-1). Spinelid symplektiticky prorůstá pyroxen a na jejich styku se tvoří úzký lem chloritu. Na styku olivín-plagioklas vznikají kelyfitické lemy. Vztah popsaných gabroidních hornin k charnockitům je nejasný, není však vyloučeno, že mohou představovat nejbazičtější členy charnockitového komplexu.

Čtvrtý úsek charakterizuje především hlavní lokalita charnockitů — Myštice. Zde v opuštěném lomu byly v čedičové žíle nalezeny F. Macákem až 30 cm velké xenolity granitoidních hornin, určené M. Opletalem jako charnockity. Tři xenolity byly analyzovány již v r. 1967 (analýzy 7—9), dalších šest vzorků v r. 1984 (analýzy 1—6). Makroskopicky lze rozlišit tři typy charnockitických hornin. První je reprezentovaný chemickou analýzou 7. Hornina je v čerstvém stavu krémová, šedočerně nevýrazně skvrnitá až šmouhovitá. Je jemnozrná až drobnozrná, slabě až středně usměrněná. Má vzhled charnockitické ruly. Druhý makroskopicky odlišný typ má vzhled typicky granitoidní — jsou to slabě usměrněné charnockity. Mají drobné zrna a jsou okrově šedé, šedočerně skvrnitě až šmouhovitě. Popis odpovídá vzorkům analyzovaným pod č. 5 a 6. Třetí ojedinělý typ je hnědavě šedý, drobně zrnitý, porfyrický. Má až 10.15 mm velké porfyrické vyrostlice K-živce. Hornina je všesměrně zrnitá, granitického vzhledu. Jako jediná z analyzovaných hornin obsahuje oba pyroxeny (analýza 9).

První a druhý makroskopický typ mají podobné složení a ani strukturně se příliš neliší. Modální složení: plagioklas, K-živec, křemen, rombický pyroxen (asi 5 %), akcesorie — apatit, zirkon, ilmenit, titanomagnetit, sekundární minerály — sklo, chlorit, serpentín, opál. Teoretické (vypočtené) modální složení uvádí tabulka 1 a Streckeisenův diagram na

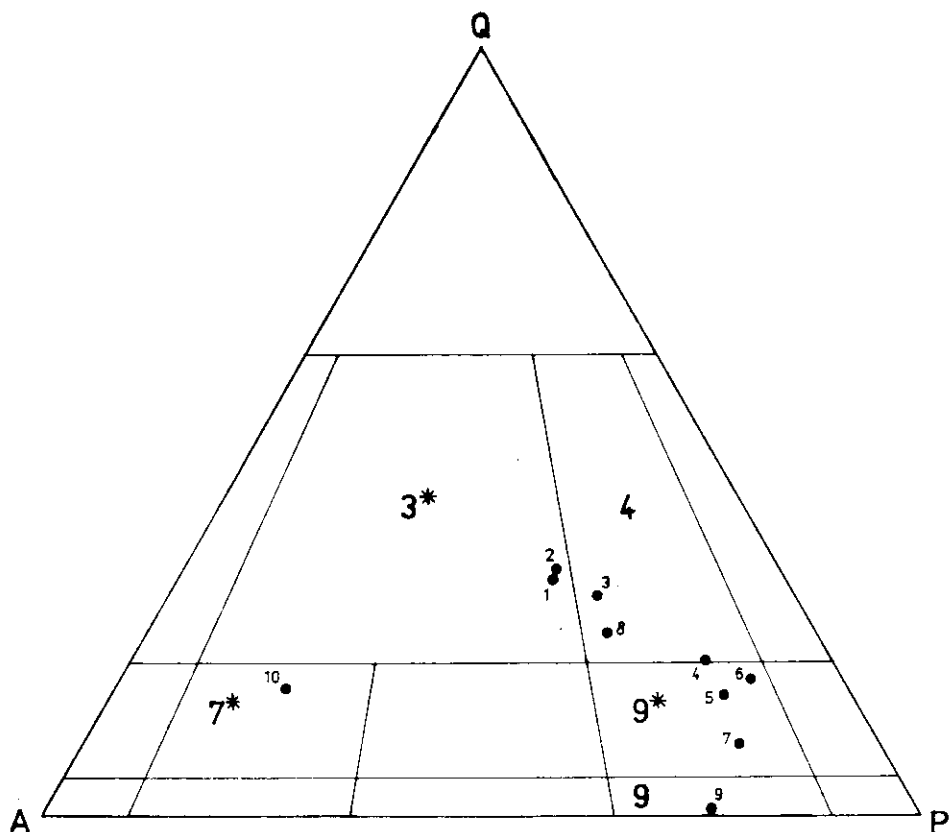
Tabulka 1

Mineralogické složení charnockitů vypočtené z chemických analýz (hmot. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
křemen	27,7	23,5	24,3	16,0	11,9	13,8	7,1	20,5	0,5	15,5
K-živec	22,0	21,2	16,7	11,1	11,3	7,9	12,2	23,1	18,3	53,1
albit	25,9	27,8	27,6	32,4	33,3	34,5	35,6	28,8	42,4	11,8
anortit	11,5	14,5	16,7	20,3	22,2	22,3	24,0	17,1	18,5	4,0
hypersten	4,4	5,6	6,0	10,0	12,1	10,7	11,9	9,1	9,4	1,0
ilmenit	0,9	1,1	1,3	1,7	1,9	2,1	1,7	1,1	2,3	0,7
magnetit	2,3	1,3	2,1	2,6	2,6	3,0	3,3	2,3	2,2	2,3*
apatit	0,2	0,6	0,6	0,9	1,0	1,0	0,9	0,5	1,0	0,4
kalцит	0,3	—	0,6	—	—	—	—	—	0,9	—
An	29,4	33,0	36,3	37,1	38,6	37,8	38,8	35,9	29,2	20,3
Fs	12,3	27,9	28,5	32,9	36,4	33,1	34,5	46,3	33,1	22,9

* hematit

1 — Myštice, lom, xenolit f — pyroxenický granit; 2 — Myštice, xenolit c — pyroxenický granit; 3 — Myštice, xenolit z — pyroxenický granodiorit; 4 — Myštice, xenolit w — pyroxenický granodiorit; 5 — Myštice, xenolit x — pyroxenický křemenný monzodiorit; 6 — Myštice, xenolit y — pyroxenický křemenný monzodiorit; 7 — Myštice, xenolit e — pyroxenický křemenný monzodiorit; 8 — Myštice, xenolit a — pyroxenický granodiorit (vzorky 1—8 obsahují rombický pyroxen), 9 — Myštice, xenolit d — pyroxenický monzodiorit (rombický + monoklinický pyroxen); 10 — Sulečice-Byňov — leukokratický pyroxenický křemenný syenit (rombický pyroxen)



2. Mineralogické složení charnockitů vypočtené z chemických analýz podle P. Mielka - G. F. Winklera (1979); horniny jsou zařazené do Streckeisenova klasifikačního diagramu

Lokalizace vzorků viz tab. 1

Velké číslice vymezují tato pole: 3* — granity, 4 — granodiority, 7* — křemenný syenit, 9* — křemenný monzodiorit, 9 — monzodiorit

obrázku 2, z něhož vyplývá, že charnockity tvoří petrograficky pestrou řadu hornin od granitu přes granodiorit a křemenný monzodiorit až k monzodioritu. Bronzit — hypersten je hypidiomorfní až alotriomorfní (příl. II-1,2), má max. velikost 1,8 mm a výrazný pleochroismus: X — světle červenohnědá, Y — hnědavě žlutá, Z — modrozelená. Úhel optických os $2V_{xx} = 63-65^\circ$. Kaustická metamorfóza způsobuje, že na styku mezi pyroxeny a světlými minerály, zvláště křemenem, se pyroxen od okrajů mění na červenohnědé sklo. Zároveň dochází k odmísení rudního minerálu ve formě pigmentu až drobných zrněk (příl. III-1). V pozdějším stadiu se ze skla místy vytvářejí serpentínové mikrokrytalické ooidy 0,1–0,5 mm velké, které mají koncentrickou stavbu. Sklo migruje i do

okolí a proniká podél drobných trhlin. Místy z tohoto skla krystalizují jemné agregáty novotvořených pyroxenů (příl. III-2). Křemen tvoří nepravidelná alotriomorfní zrna vtoušená v základní tkáni nebo shlukující se do menších skupinek. Má velikost 0,1 mm až 3,3 mm. Plagioklas tvoří jednak oválné porfyroblasty až porfyroklasty 1–3 mm velké, jednak drobnou mozaiku izometrických zrn průměrné velikosti 0,4 mm. Jeho bazicita kolísá mezi 42–48 % An. K-živec je součástí základní tkáně (0,1 mm), kdy tvoří tmel plagioklasových zrn. Místy vytváří porfyroblasty až 3,5 mm velké. Odpovídá vřetenovitému mezopertitu s poměrem složky Ab : Or 1 : 3 až 1 : 4. Struktura horniny je na přechodu mezi blastoporfyrroklastickou až blastokataklastickou (příl. IV-1,2). Při kaustické metamorfóze došlo ve většině xenolitů k tvorbě skla (příl. III-2). Z analyzovaných hornin jsou vzorky 3 a 9 bez skla, ostatní obsahují 1–3 % skla.

Třetí typ patří monzodioritu (analýza 9), který obsahuje oba pyroxeny. Od předcházejících hornin se liší především přítomností (3 %) světle zeleného, krátce sloupečkovitého monoklinického pyroxenu. Jeho zrna, velká v průměru 0,5 mm a max. 1,4 mm, se místy shlukují do menších skupinek a často jsou na okraji postižena produkty začínající proměny. Má úhel zhášení $Z/c = 44^\circ$. Ortopyroxen je téměř zcela proměněn na rezavě hnědý agregát Fe-oxidů a serpentinitu; množství těchto pseudomorfóz je asi 5 %. K-živec tvoří jednak část základní hmoty, jednak vytváří velké porfyroblasty (přes 10 mm). Má hojné vřetenovité pertity s poměrem Ab ku Or 1 : 3. Podle rentgenografického určení (prášková metoda — J. Hrušková, laboratoře ÚÚG) se jedná o monoklinický vysokoteplotní draselný živec.

Celkově lze shrnout, že charnockitové horniny ze všech lokalit patří do jedné horninové asociace, včetně syenitů bohatých draselným živcem. Typické pro všechny horniny je kromě přítomnosti pyroxenů to, že mají pertitický K-živec (mezopertit) a slabě antipertitický plagioklas. Shodné jsou i struktury charnockitových hornin, které svědčí o vzniku rekrystalizací duktilně deformovaných hornin v podmínkách vysokých teplot a pravděpodobně středně vysokých tlaků. Přestože jsou granitoidního vzhledu, mají struktury metamorfní, typické drcením zrn, heterogenní velikostí zrn a jejich fluidálním uspořádáním.

Chemické složení hornin

Deset větších xenolitů (o hmotnosti 100–200 g) bylo analyzováno klasickou silikátovou analýzou (mokrou cestou), u šesti vzorků byly analyzovány stopové prvky (viz tab. 2, 3). Analýzy 7–10 jsou starší a byly

Tabulka 2
Silikátové analýzy charnockitů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	67,28	65,66	64,54	59,59	58,20	57,95	56,20	64,45	54,55	66,30
TiO ₂	0,48	0,55	0,70	0,90	1,01	1,12	0,90	0,55	1,20	0,38
Al ₂ O ₃	14,52	16,10	16,30	17,54	18,19	18,09	18,13	15,56	18,38	15,16
Fe ₂ O ₃	1,60	0,86	1,41	1,81	1,82	2,08	2,26	1,61	3,06	2,28
FeO	1,52	1,91	2,38	3,67	4,50	4,17	4,40	2,57	2,20	0,50
MnO	0,032	0,037	0,052	0,080	0,071	0,068	0,08	0,06	0,05	stopy
CaO	2,59	3,29	4,04	4,60	5,02	5,04	5,33	3,51	5,38	1,40
MgO	1,49	1,49	1,58	2,44	2,78	2,60	2,82	1,71	2,28	0,30
Li ₂ O	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,02
Na ₂ O	3,06	3,28	3,26	3,83	3,93	4,07	4,20	3,40	5,00	1,75
K ₂ O	3,73	3,59	2,83	1,87	1,91	1,33	2,06	3,40	3,10	10,00
P ₂ O ₅	0,10	0,27	0,24	0,38	0,42	0,42	0,38	0,19	0,44	0,15
CO ₂	0,12	0,01	0,28	0,01	0,01	0,01	stopy	stopy	0,40	stopy
C	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01				
H ₂ O +	1,44	1,40	1,02	1,42	1,24	1,23	1,41	1,04	1,21	0,79
F	0,03	0,05	0,03	0,03	0,06	0,05				
S	0,02	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,05	0,05	0,05
H ₂ O -	1,37	0,77	0,91	1,10	1,07	1,06	1,00	1,27	1,87	0,48
celkem	99,37	99,26	99,56	99,27	100,22	99,26	99,24	99,38	99,18	99,56

Lokalizace a názvy hornin viz tabulka 1

Analýzy 1–6: M. Huka a kol. v laboratořích Ústř. úst. geol. v roce 1967
Analýzy 7–10: V. Štátný v laboratořích Ústř. úst. geol. v roce 1984, analýzy 7–10: V. Štátný v laboratořích Ústř. úst. geol. v roce 1987

Tabulka 3

Stopové prvky v charnockitech

	Be	B	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Pb
1	2	41	45	20	13	1	50	20	68	355	<7	177	12	2	<2	24
2	2	30	56	24	13	2	60	26	79	487	11	134	<7	2	<2	22
3	3	47	90	32	25	2	50	25	39	629	<7	165	<7	3	2	17
4	3	45	140	37	15	11	86	30	15	587	9	280	13	3	3	19
5	4	35	150	39	16	12	96	40	19	685	<7	237	12	2	5	16
6	4	38	95	43	21	11	97	27	8	588	11	260	16	3	3	18

Lokalizace a názvy hornin viz tabulka 1

Analýzovaly chemické laboratoře Ústř. úst. geol. v roce 1985

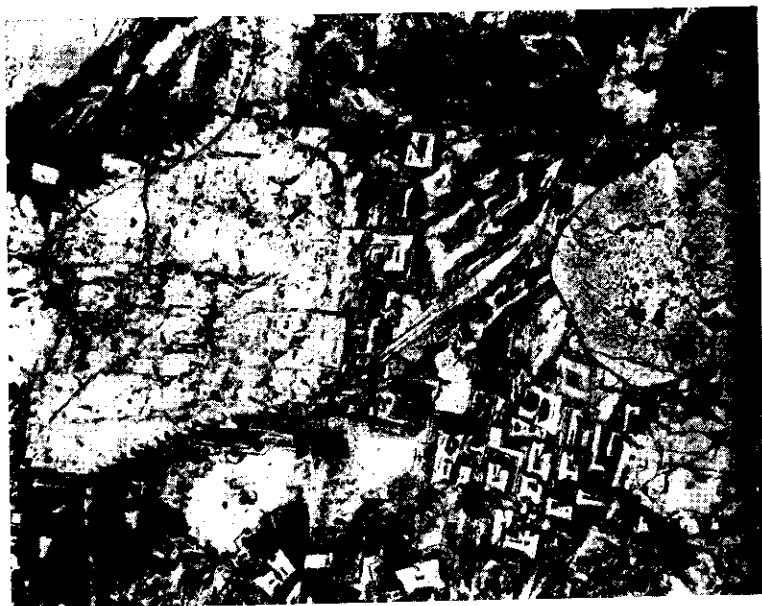
uvezeny v archivní zprávě (Opletal in Shrbený et al. 1967). Z lokality Myštice, kde bylo nejvíce vhodného materiálu, pocházejí vzorky 1—9, analýza 10 je z horniny odebrané na lokalitě Sulestice. Analýzy nepostihují veškeré horninové typy popsané mikroskopicky, neboť řada vzorků byla navětralých nebo velikostí jen několik centimetrů. Nemáme zde zastíženy bazičtější členy — diority až gabrodiority; hojně syenity jsou reprezentovány jen analýzou 10.

Protože analyzované horniny obsahují jako jediný Fe-Mg silikát (s výjimkou jednoho vzorku) ortopyroxen, je výhodné vypočíst jejich mineralogické složení z horninových analýz podle Mielke a Winklera (1979) s mírnou modifikací. Získané hodnoty jsou kvalitnější než údaje, které lze získat planimetrickou analýzou, protože reprezentují větší objem vzorku. Tento postup je vhodný též proto, že K-živce je převážně vyvinut jako mezopertit se zvýšeným obsahem anortitové složky v pertitovém albit-oligoklasu a plagioklas — pravděpodobně jako v jiných obdobných horninách — obsahuje určitou izomorfní příměs ortoklasové složky (Smith 1974), která není zanedbatelná.

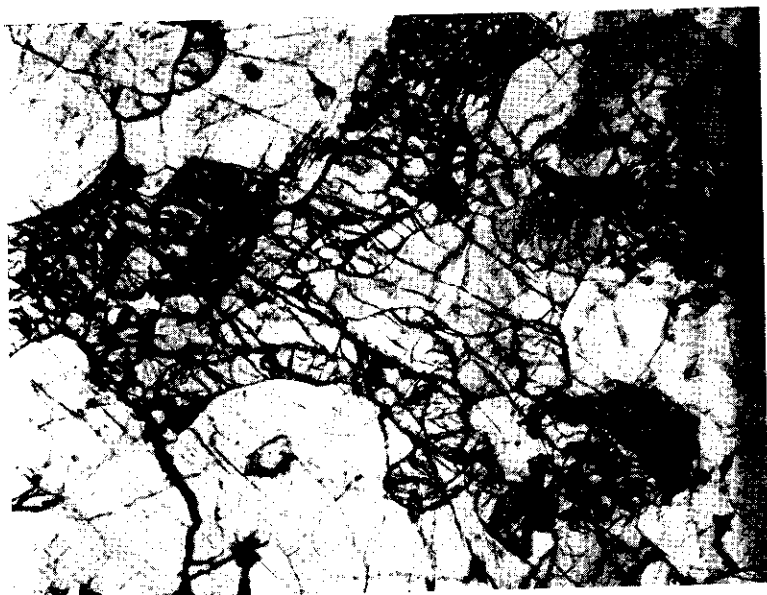
Oxidace Fe, podmíněná působením bazaltového magmatu i poextruzivními vlivy a částečná přeměna ortopyroxenu na minerály serpentínové skupiny podmiňují určité zvýšení ve vypočtených hodnotách magnetitu a odpovídající malé snížení hodnot ortopyroxenu, zejména ferosilitové složky. Výjimečně silněji je přeměněn vzorek 10, což se projevuje přítomností hematitu ve výpočtu. U vzorku 9 byla polovina Fe_2O_3 převedena na FeO. U většiny přepočtů je součet hmot. % vypočtených minerálů blízký 95 %; rozdíly vůči součtům analýz připadají na H_2O^+ a H_2O^- a menší přebytek Al_2O_3 , protože u pyroxenu nebyl uvažován obsah Al. Ojediněle zůstal přebytek CaO. Vzorek 9 obsahuje vedle ortopyroxenu (převážně přeměněného) ca 3 obj. % Ca-klinopyroxenu, jehož obsah není v přepočtu uvažován.

V diagramu kvantitativní mineralogické klasifikace plutonitů (obr. 2) vytvářejí analýzy charnockitů z Myštic protáhlé pole směřující od granitů chudých K-živcem přes granodiority ke křemenným monzodioritům. Ojedinělý monzodiorit, který obsahuje asi 3 % klinopyroxenu, je již bez křemene a vybíhá z celkového trendu charnockitů zvýšeným obsahem K-živce. Výbrusy ze všech xenolitů ukazují, že asociace hornin ve skutečnosti zasahuje až do pole dioritu a gabra, kam by teoreticky pokračovala trendová křivka. Hornina ze Sulestic, reprezentující typy bohaté živcem, je výrazně odlišná a odpovídá křemennému syenitu.

Obrázky 3 a 4 byly sestaveny Opletalem (1971) na základě modifikovaného přepočtu Köhlera a Raaze (1951). Charnockitové horniny z lokality Myštice (vzorky 1—8) tvoří téměř souvislou řadu od nejkyselejší horniny — 1, po nejbazičtější — 7. Málo proměnlivý poměr



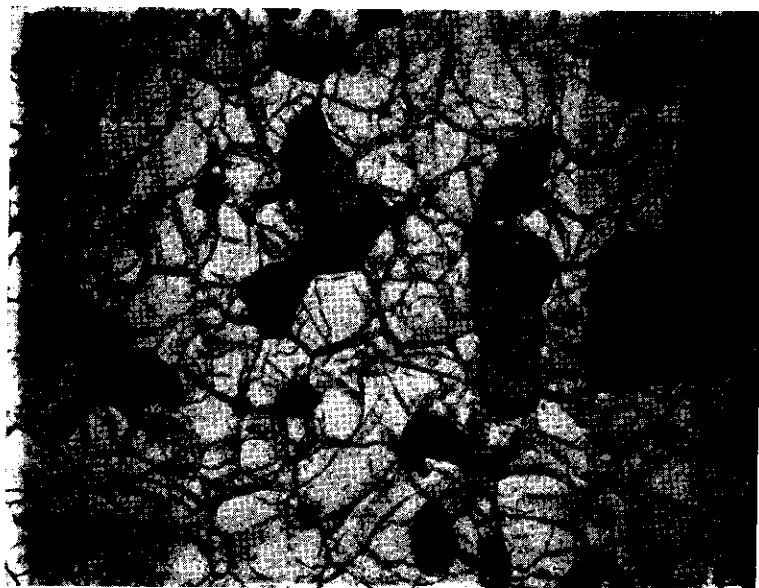
1. Částečně natavený xenolit biotitické žuly, výbrus 1,5 mm od styku s bazaltem. Vlevo reliktní zrno plagioklasu obrůstané novotvořeným kostrovitým plagioklasem, vpravo reliktní granát. Matrix tvoří kostrovitě vykrystalizovaný novotvořený živec (kazetové tvary) prorůstající se s kalcitem. Zvětšeno 46 X. Zubrnice



2. Koronitové olivín-pyroxenické gabro. Reakční lemy pyroxenu a pyroxen-spinelového symplektitu okolo centrálního olivínu. Plagioklas tvoří větší světlá zrna při okrajích. Zvětšeno 76 X. Levín
Foto M. Opletal



1. Koronitové olivín-pyroxenické gabro. Pyroxen-spinel-plagioklasový symplektit a pyroxenové reakční lemy kolem olivínu [vlevo]. Uprostřed dole větší plagioklas. Zvětšeno 46 X. Levín



2. Drobné krystaly ortopyroxenu v charnockitu (tmavošedé se silným reliéfem) v agregátu živeců — převážně plagioklasu. Opakní minerál — ilmenit. Zvětšeno 46 X. Myštice

Foto M. Opletal



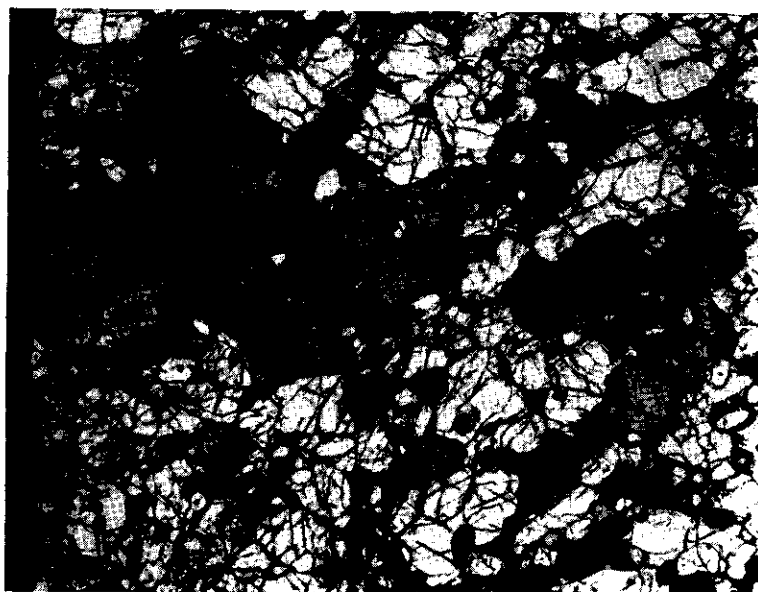
1. Krystal ortopyroxenu lemovaný produkty přeměny a devitrifikovaným sklem, v agregátu plagioklasu a K-živce (světleji šedé). Zvětšeno 163X. Myštice, xenolit odpovídající analýze 1



2. Silně natavený xenolit charnockitu s reliktním ortopyroxenem (uprostřed), reliktním křemenem (oválná bílá zrna) a hojnými agregáty novotvořených pyroxenů ve fialově hnědém skle (šedé). Zvětšeno 46X. Myštice Foto S. Vrána



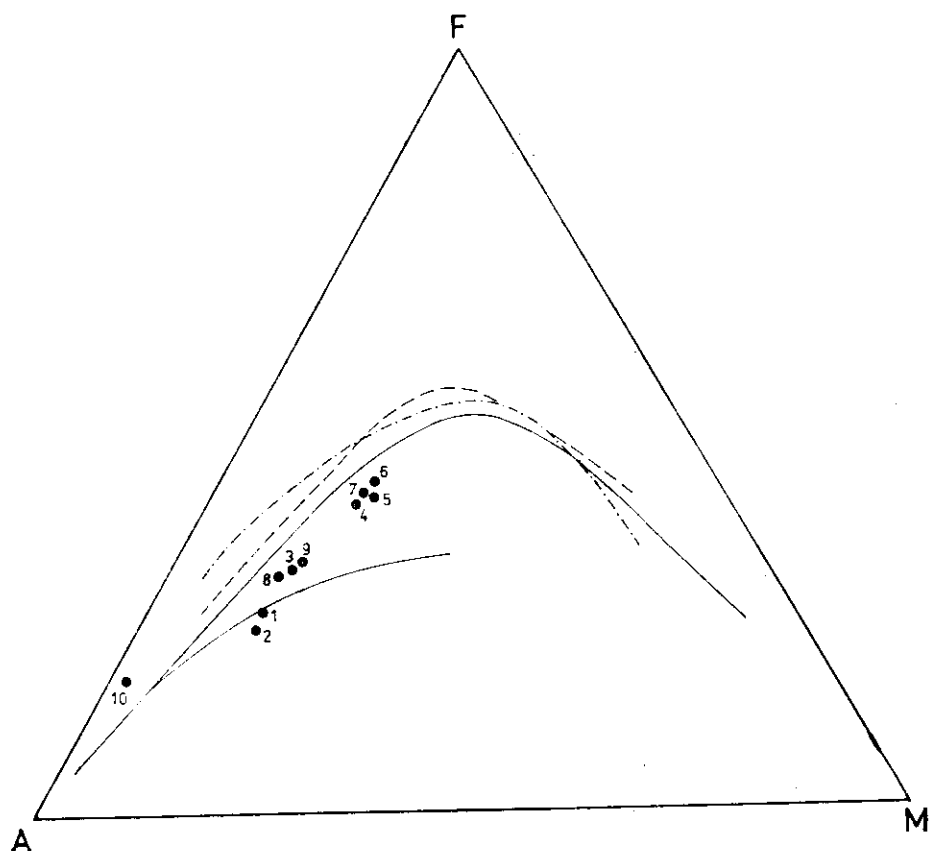
1. Struktura charnockitu. Vlevo nahoře a uprostřed větší oválné porfyroklasty plagioklasu, dole větší krystal ortopyroxenu v jemnozrnné matrix plagioklasu a K-živce. Zvětšeno 16 X. Myštica, xenolit odpovídající analýze 5



2. Struktura charnockitu. Agregáty ortopyroxenu (šedý), živců (převážně plagioklasu — světle šedý) a drobné partie skla [alochtonné drobné partie při horním a dolním okraji]. Zvětšeno 46 X. Myštica, xenolit odpovídající analýze 4

Foto S. Vrána

slušného vzorku. Na obrázku u vzorků z Myštic jsou si blízké hodnoty Mg a Fe, zatímco je výrazný trend úbytku Al od horniny 3 po 7. Analýza 9 (monzodiorit) padá již do pole s nedostatkem volného hliníku; malé množství Ca_1 je v souladu s obsahem klinopyroxenu v hornině. Extrémně alkalický charakter syenitu (anal. 10) ukazuje i mimořádně vysoký podíl Fe vůči Mg a Ca_1 . Hornina je stejně jako v předešlém diagramu odlišná od trendů charnockitů z lokality Myštice. Trojúhelník AFM na obrázku 5 ukazuje zřetelně alkalicko-vápenatý charakter souboru vzorků z lokality Myštice a výraznou alkalickou povahu vzorku od Suletic. V diagramech 2 a 3 se vytvářejí dvě skupiny hornin z hlavní lokality: jedna z nich má vyšší obsah křemene a K-živce. Podobně se tyto dvě horninové skupiny oddělují na obrázku 5 v diagramu AFM. V horní



5. Trojúhelník AFM

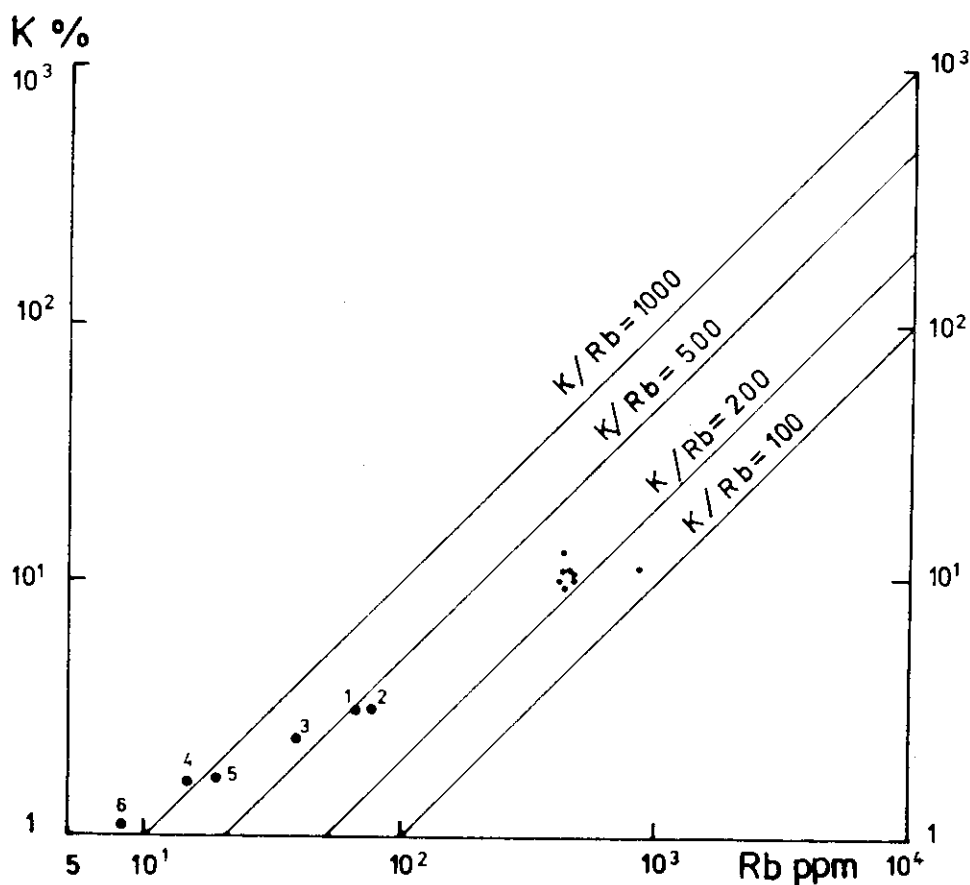
Vzorky 1–10 viz tab. 1

Čerchovaně — rozhraní polí alkalicko-vápenatých a tholeiitických hornin, *čárkovaně* — havajský alkalický trend podle G. A. MacDonalda a Katsury (1984), *plně čáry* — trendy granitoidů středočeského plutonu podle Z. Vajnara (1973)

skupině jsou horniny s nižším obsahem K-živce. Zvýšený podíl draselného živce způsobuje, že monzodiorit (9) spadá nečekaně ke spodní skupině, kde jsou granity a granodiority.

Vzorky 1–6 u hornin z lokality Myštice byly analyzovány v laboratoři ÚÚG. Rentgenfluorescenční a kvantitativně spektrální stanovení stopových prvků provedly E. Mrázová, M. Pelikánová a E. Krystová. Srovnáme-li získané výsledky (viz tab. 3) s průměrnými obsahy pro granitické horniny, zjistíme, že B je zřetelně vyšší, Cu, Rb a Y jsou zřetelně nižší. U ostatních prvků jsou hodnoty blízké udávaným průměrům.

Na obrázku 6 je znázorněn poměr K/Rb, který je u studovaných vzorků poměrně vysoký (375–1375), což ukazuje pravděpodobně na primitivní charakter zdroje, ze kterého charnockity vznikly. Pro srovnání jsou uvedeny analýzy živců z jihočeských granulitů, které mají výrazně nižší po-



6. Logaritmický poměr K:Rb v charnockitech (čísla 1–6, lokalizace viz tab. 1) ve srovnání s obdobným poměrem v živcích jihočeských granulitů podle J. Fialy et al. (1982)

měr K/Rb. Oba soubory dat můžeme srovnávat, i když jednou je analyzován minerál a podruhé hornina, protože v charnockitech nejsou slídové minerály a K i Rb jsou vázány prakticky pouze na živce. Matějovská a Vaňková (1980) uvádějí pro západomoravské granulity podobný a mírně nižší poměr K/Rb jako Fiala et al. (1982) pro jihočeské granulity.

Korelace a diskuse

Geologická forma výskytu popisovaných charnockitů zatím neumožňuje zjistit, v jaké hloubce se vyskytuje charnockitový komplex, jehož fragmenty byly vyneseny na povrch terciárními vulkány. V dnešním erozivním řezu krystalinika Českého masívu nejsou analogické horniny známy. Pro korelaci považujeme za významné zejména tyto geologické, petrologické a geochemické vlastnosti:

Charnockity mají velmi jednoduché mineralogické složení. Chybějí minerální reliktů z předchozích vývojových etap a také jiné minerály, které by mohly vznikat při uplatnění dvou či více zřetelně odlišných PT-režimů. Naprosto chybějí amfiboly a biotit. Úplná absence granátu v celé řadě od kyselých až po bazické charnockity indikuje poměrně nízkotlaké podmínky krystalizace, pravděpodobně pod 0,5 GPa. Tím se studované charnockity odlišují od granulitů moldanubického typu.

Kyselé kyanit-granátické granulity sdružené s eklogity a pyropovými peridotity tvoří granulitový komplex moldanubického typu v mělkém podloží vulkanitů, dokumentovaný též pomocí vrtů (Kopecký - Sattler 1966). I když se tyto kyselé granulity vyskytují jako xenolity ve vulkanitech na lokalitách blízkých výskytům charnockitů, chybějí v populaci xenolitů na lokalitě Myštica, kde jsou charnockity nejhojnější.

Značně primitivní poměry K/Rb a nižší obsahy litofilních prvků odlišují studované charnockity od granulitů Českého masívu (Matějovská - Vaňková 1980, Fiala et al. 1984). Tento stav lze pravděpodobně vysvětlovat vznikem charnockitů z „primitivních“ hornin či tavenin.

Z hlediska výskytu granulitů moldanubického typu existují četné analogie v různých úsecích hercynid střední a západní Evropy. Pro korelaci lze vycházet z dat a zákonitostí výskytu granulitů a charnockitů v evropských hercynidách. Byly rozlišeny dvě skupiny granulitických hornin, které se liší PT-režimem vzniku a geotektonickou pozicí (Pin - Viezeuf 1983):

Skupina I — čočkovitá tělesa granulitů v asociaci s eklogity a granátickými peridotity. Jsou začleněny do hercynské příkrovové stavby,

vyznačují se vysokotlakými minerálními asociacemi. Nízký PT-gradient indikuje subdukční režim, který naznačují též eklogity a ve Francii též časově korelovatelné výskyty modrých břidlic.

Výskyty: moldanubická a sasko-durynská zóna hercynského pásma od sz. části Pyrenejského poloostrova až po Český masív (např. granulitové masívy moldanubika, saský granulitový masív apod.).

Skupina II — segmenty granulitů doprovázející hlubinné lineamenty alpského orogenu a xenolity granulitických hornin a charnockitů v kvartérních a terciérních vulkanitech. Mají větší podpovrchový rozsah primárních výskytů, minerální asociace granulitové facie středních tlaků a nejsou doprovázeny eklogity. Jsou sdružené jednak s granulitickými pararulami, výrazně ochuzenými o granitofilní prvky, které mohou představovat restity, jednak bazickými až ultrabazickými komplexy typu zvrstvených intruzí, jejichž proniky byly doprovázeny metamorfózou v granulitové facii. Radiometrická datování indikují pozdně hercynské stáří (ca 300 mil. let). Relativně vysoký PT-gradient, výskyt současných intruzí bazických hornin a pokolizní způsob výskytu naznačují vznik těchto granulitů v oblasti velké tepelné anomálie, odvozované ze svrchního pláště; vlivem jejího působení došlo k rozsáhlému prohrátí nejhlubších částí variského pásma. V souladu s touto interpretací nevystupují granulity II. skupiny a charnockity v povrchových částech variských komplexů odkrytých erozí, ale dostávají se na povrch při neoidních tektonických pochodech (alpínské pásmo), nebo jako xenolity v mladých vulkanitech. Výskyt: severní Pyreneje, zóna Ivrea (Západní Alpy), jižní Kalábrie; ve vulkanitech — Středofrancouzský masív, Eifel.

V práci popisované xenolity lze srovnávat s několika výskyty charnockitů a pyroxenických granulitů, z nichž pro poměrnou geografickou blízkost, nebo geologické analogie vybíráme: charnockity sv. Polska (Ryka 1968, 1969), kyselé až bazické pyroxenické granulity, často s granátem v lišovském masívu v j. Čechách (Vrána - Jakeš 1982) a xenolity charnockitických hornin v neogenních vulkanitech Středofrancouzského masívu (Leyreloup 1973).

1. Charnockity bělorusko-litevské elevace fundamentu východoevropské platformy, zastižené v sv. Polsku řadou vrtů v hloubce 200 až 1700 m pod platformním pokryvem, se vyskytují v asociaci s gabry, pyroxenickými rohovci a pyroxenickými granulity. Tyto bazičtější horniny jsou spolu s polymetamorfními rulami uzavírány v granit-migmatitovém komplexu regionálního rozsahu. Vznik charnockitů je spojován s působením granitoidů (Si- a K-metasomatóza) na uzavřeniny gaber, pyroxenických rohovců a pyroxenických granulitů, které jsou interpretovány jako výchozí materiál charnockitů. Granity jsou datovány 1250—1350.10⁶ let (Ryka 1968, 1969).

Od charnockitů z Myštic se charnockity ze sv. Polska liší výrazně řadou vlastností: a) v sériích vzorků z několika vřtů je ortopyroxen soustavně doprovázen amfibolem (vrty Waški, Krzyże, Mielnik) nebo biotitem (Krynki, Nowosiolki), někdy též granátem (Mielnik) a dokonce epidotem (Krzyże), b) i v kyselejších a intermediárních typech je vedle ortopyroxenu přítomen vápníkem bohatý klinopyroxen — salit, c) v horninové asociaci se na několika lokalitách vyskytují i kyselé granátické granulity, d) vrtné profily ukazují mnohonásobné střídání těles kyselých až intermediárních charnockitů v malém měřítku (metry až desítky metrů) s výchozími horninami — gabry, pyroxenickými rohovci a pyroxenickými granulity — i s rulami a granity. Je nepravděpodobné, že by podobná heterogenita ve složení komplexu nebyla vyjádřena pestrostí populace xenolitů v případě lokality Myštica.

2. V lišovském masívu se vyskytují kyselé ortopyroxenické granulity s granátem, které mají složení granitu, zřetelnou až nevýraznou paralelní texturu. Na složení celého masívu se podílejí jen několika procenty. Hlavní horninou je granátický a biotit-granátický kyselý granulit, významně jsou zastoupeny i dvoupyroxenické granulity gabroidního složení, vzácnější jsou intermediární pyroxenické granulity tonalitového složení. Kyselé ferohyperstenické granulity s granátem mají minerální asociaci: ortopyroxen + granát + plagioklas + K-živce + křemen + ilmenit a jsou srovnatelné s paratypem indického charnockitu (Howie - Subramaniam 1957) mineralogickým složením, složením horninotvorných minerálů i zrnitostí (Vrána - Jakeš 1982). Takovéto pojetí charnockitu je zřetelně odlišné od tendence používat tento termín pro ortopyroxenické a dvoupyroxenické horniny granitoidního složení a vzhledu. Dvoupyroxenické granulity gabroidního až tonalitového složení mají v lišovském masívu tuto minerální asociaci: ortopyroxen + Ca-klinopyroxen + plagioklas + podřizeně hnědý vysokoteplotní amfibol, titanem bohatý vysokoteplotní biotit, křemen, ilmenit a vzácně též reliktní granát. Od bazičtějších charnockitových hornin xenolitů ve vulkanitech Českého středohoří se tyto horniny liší obsahem minerálů se skupinou (OH), tj. amfibolu a biotitu. Občasné reliktky granátu v těchto dvoupyroxenických granulitech dokládají existenci starší vysokotlaké minerální asociace bohaté klinopyroxenem a granátem a uplatnění reakce granát + Ca-klinopyroxen → anortit + ortopyroxen, přičemž ortopyroxen a plagioklas představují nízkotlaké (resp. vysokoteplotní) produkty. Tento dvouetapový vývoj a přítomnost granátu také odlišuje bazické granulity lišovského masívu od charnockitových xenolitů z Českého středohoří.

3. Xenolity kyselých a bazických charnockitů v neogenních bazaltických horninách Středofrancouzského masívu prostudoval podrobně

Leyreloup (1973). Charnockitické horniny, občas i s granátem, jsou zastoupeny ve složitých populacích xenolitů společně s ultrabazickými horninami plášťového původu a s peraluminickými metasedimenty typu kinzigitů a khondalitů. Celé společenstvo je tedy mnohem pestřejší než v případě souboru xenolitů z Českého středohoří.

Z uvedených srovnání vyplývá, že charnockitové horniny zastižené v xenolitech čedičových hornin Českého středohoří jsou důkazem existence charnockitického komplexu v jisté hloubce zemské kůry. Údaje, které máme prozatím k dispozici, neumožňují přesnou korelaci tohoto komplexu s jinými charnockitovými terény v Evropě. K bližšímu ocenění geotektonické pozice a stáří komplexu budou potřebná geochronologická a termometrická data; další práce budou zaměřeny na získání těchto údajů.

K tisku doporučil P. Jakeš

Literatura

- Barviř, J. L. [1897]: Zelenavý pyroxenický granulit od Adolfova. — Věst. Král. Čes. Společ. Nauk, Tř. mat.-přírodověd., 3, 6. Praha.
- Ebert, H. [1932]: Der variskische Untergrund Nordböhmens zwischen Erzgebirge und Jeschken. — Z. Dtsch. geol. Gesell., 84, 703–717. Hannover.
- Fediuková, E. [1978]: Mafic minerals from granulites of the borehole Holubov (South Bohemian Moldanubicum). — Sbor. geol. Věd, ložisk. Geol. Mineral., 19, 169–198. Praha.
- Fiala, J. - Hally, J. - Houdková, Z. - Vaňková, V. - Krešl, M. [1984]: Chemismus a radioaktivita jihočeských granulitů. — Korelace proterozoických a paleozoických stratiformních ložisek (VII), 171–200. Ústř. úst. geol. a Úst. geol. věd přírodověd. fak. Karl. univ. Praha.
- Fiala, J. - Lang, M. - Obrda, J. - Pivec, E. - Ulrych, J. [1982]: Petrology of some garnet-kyanite-K-feldspar leptinites of the Czech Moldanubicum (Czechoslovakia). — Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd, 92, 5, 85. Praha.
- Fišera, M. - Vrána, S. - Kotrba, Z. [1982]: Orthopyroxene-garnet granulites in the Podolsko complex. — Věst. Ústř. Úst. geol., 57, 321–328. Praha.
- Frejvald, M. - Jakeš, P. [1964]: The Tábor Massif in the Central Bohemian Pluton as an example of the genesis of rocks of the syenite-granite series. — Guide Azopro. Čs. akad. věd. Praha.
- [1966a]: Charnockitické horniny. — Čas. Mineral. Geol., 11, 475–483. Praha.
- [1966b]: Tábořský masív — příklad geneze hornin charnockitového charakteru na jv. okraji středočeského plutonu [M-33-90-C]. — Zpr. geol. Výzk. v Roce 1965, 18–20. Praha.
- Havlena, V. - Pouba, Z. [1955]: Perspektivy geologického výzkumu podloží křídových uloženin v Českém masívu. — Geol. Průzk., 3, 66–69. Praha.
- Hejtman, B. [1962]: Petrografie metamorfovaných hornin. — Academia. Praha.
- Hibsch, J. E. [1903]: Geologischer Aufbau des Böhmisches Mittelgebirges. — In: Führer für die Exkursionen in Österreich. Herausgegeben von dem Organisationskomitee des IX. IGC. Wien.

- [1904]: Geologische Karte des Böhmisches Mittelgebirges, Blatt 4 [Aussig], nebst Erläuterungen. — Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., 23, 4. Wien.
- Hibsch, J. E. - Irgang, G. - Pelikan, A. - Seeman, F. (1917): Geologische Karte des Böhmisches Mittelgebirges, Blatt 8 [Salesel]. — Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., 31. Wien.
- Hibsch, J. E. - Seeman, F. (1913): Geologische Karte des Böhmisches Mittelgebirges, Blatt 9 [Leitmeritz - Triebisch], nebst Erläuterungen. — Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., 32, 1—28. Wien.
- Howie, R. A. - Subramaniam, A. P. (1957): The paragenesis of garnet in charnockite, enderbite and related granulites. — Mineral. Mag., 31, 565—585. London.
- Chaloupský, J. (1973): The basement of the Cretaceous and the Permo-Carboniferous of northern Bohemia. — Geol. Rdsch., 62, 581—594. Stuttgart.
- Irgang, G. (1909): Geologische Karte des Böhmisches Mittelgebirges, Blatt 12 [Lobositz]. — Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., 28, 1—76. Wien.
- Klein, V. (1963): Podloží křídového útvaru v severozápadní části Polomených hor a v českolipském zlomovém poli. — Věst. Ústř. Úst. geol., 28, 419—434. Praha.
- Klein, V. - Opletal, M. (1966): Podloží křídý na listu Ústě (M-33-53-B). — Čas. Mineral. Geol., 14, 3—4, 259—265. Praha.
- Köhler, A. - Raaz, F. (1951): Über eine neue Berechnung und graphische Darstellung von Gesteinsanalysen. — Neu. Jb. Mineral., Mh., 247—263. Stuttgart.
- Kopecký, L. - Sattler, V. (1966): Buried occurrences of pyrope peridotite and the structure of the crystalline basement in the extreme SW of the České středohoří Mountains. — Krystalinikum, 4, 65—86. Praha.
- Leyreloup, A. (1973): Le socle profond en Velay d'après les enclaves remontées par les volcans néogènes, son thermométamorphisme et sa lithologie: granites et série charnockitique [Massif Central français]. — Dizertace Docteur 3^e cycle. Nantes.
- MacDonald, G. A. - Katsura, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian lavas. — J. Petrology, 5, 82—133. Oxford.
- Matějovská, O. - Vaňková, V. (1980): The concentration of radioactive and trace elements in the granulites from the south-east margin of the Bohemian Massif (Czechoslovakia). — Studia geophys. geod., 24, 285—301. Praha.
- Mielke, P. - Winkler, G. F. (1979): Eine bessere Berechnung der Mesonorm für granitische Gesteine. — Neu. Jb. Mineral., Mh., 471—480. Stuttgart.
- Opletal, M. (1967): Předběžná zpráva o nálezu charnockitických hornin v čedičových horninách Českého středohoří. — Čas. Mineral. Geol., 12, 3, 301—303. Praha.
- (1971): A modified calculation and new graphical representation of the rock analyses. — Acta Univ. Carol., Geol., Hejtman Vol., 1, 2, 109—122. Praha.
- (1967): Geologie a petrografie hornin krystalinika z podloží křídý. In: Shrbený et al.: Základní geologická mapa 1:25 000 list M-33-53-A-a Ústí n. L., M-33-53-A-b Velké Březno, M-33-53-A-c Lovosice, M-33-53-A-d Litoměřice. — MS Ústř. úst. geol. Praha.
- Petrascheck, W. (1910): Über den Untergrund der Kreide und über präcretazische Schichtenverschiebungen in Nordböhmen. — Jb. K.-Kön. geol. Reichsanst., 60, 2, 179—214. Wien.
- Petrascheck, W. - Waldmann, L. - Liebus, A. (1944): Die Sudetenländer. — In: Handbuch der Regionalgeologie, I, 5. Heidelberg.
- Pin, C. - Vielzeuf, D. (1983): Granulites and related rocks in Variscan median Europe: a dualistic interpretation. — Tectonophysics, 93, 47—74. Amsterdam.

- Ryka, W. (1988): The charnockites of the crystalline basement in the north-eastern part of the Polish Lowland. — *Biul. Inst. geol.*, 237, 57—63. Warszawa.
- (1969): Czarnokity z Podlasia. — *Biul. Inst. geol.*, 225, 109—217. Warszawa.
- Šhrbený, O. et al. (1967): Základní geologická mapa 1:25 000 list M-33-53-A-a Ústí n. Labem, M-33-53-A-b Velké Březno, M-33-53-A-c Lovosice, M-33-53-A-d Lito-
měřice. — MS Ústř. úst. geol. Praha.
- Scharbert, H. G. - Kurat, G. (1974): Distribution of some elements between coexisting ferromagnesian minerals in Moldanubian granulite facies rocks, Lower Austria, Austria. — *Tschermaks mineral. petrogr. Mitt.*, 21, 110—134. Wien.
- Smith, J. V. (1974): Feldspar minerals, 2. Chemical and textural properties. — Springer Verlag. Berlin, New York.
- Vachtl, J. (1965): Výsledky strukturně geologického výzkumu české křídý a jejího podloží v letech 1961—1963. — *Sbor. geol. Věd, Geol.*, 9, 7—9. Praha.
- Vejnar, Z. (1973): Petrochemistry of the Central Bohemian Pluton. — *Geochem. Methods and Data*, 2. Ústř. úst. geol. Praha.
- Vrána, S. - Jakeš, P. (1982): Orthopyroxene and two pyroxene granulites from a segment of charnockitic crust in southern Bohemia. — *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 57, 129—143. Praha.

Charnockite xenoliths in the Tertiary volcanites of the České středohoří Mts., northern Bohemia

(Summary of the Czech text)

Mojmír Opletal - Stanislav Vrána

Received February 25, 1986

The crystalline basement of the area of the České středohoří Mts. (Böhmische Mittelgebirge) is extensively covered with Upper Cretaceous sediments. Since the beginning of this century, xenoliths of crystalline rocks in the Tertiary volcanics have been recognized as a source of data on the composition of the crystalline basement — Hibs ch (1903, 1904), Irgang (1909), Hibs ch - Seeman (1913) and Hibs ch et al. (1917). Ebert (1932) published a list of localities, while Petrascheck (1910), Petrascheck et al. (1944) and Ebert (1932) attempted to interpret the crystalline basement on the basis of the data on xenoliths. Studies by Havlena - Pouba (1959), Klein (1963), Vachtl (1965), Kopecký - Sattran (1966), Klein - Opletal (1966), Shrbený - Opletal in Shrbený et al. (1967) and Chaloupský (1973) used increasingly abundant borehole data in addition to information on the xenoliths. The following subsurface geological units are recognized in the area delimited by the towns Ústí nad Labem, Litoměřice and Ústě k (Fig. 1): 1. Permian—Carboniferous sediments plus some basalt sheets 2. Carboniferous quartz porphyry 3. Upper Proterozoic—Lower Paleozoic phyllitic metagreywackes and mica schists with amphibolite encountered by boreholes between Ústě k and Dolní Heřmá nky and outcropping near Malé Žernoseky 4. High-grade rocks of the Krušné hory Mts. crystalline complex 5. Kyanite-garnet acid granulites, granulitic gneisses and associated pyrope peridotite, serpentinite and eclogite in the elevated Ohře River crystalline complex, documented directly below the Upper Cretaceous by drilling near Měrunice and in xenoliths 6. Granitoid rocks, mainly biotite and hornblende-biotite types probably of Hercynian age (biotite K-Ar dating $310 \cdot 10^6$ A) in boreholes south of Velké Březno and in xenoliths 7. Charnockitic rocks of unknown age found as xenoliths and briefly described by Opletal (1967).

The charnockitic rocks in xenoliths. Four main localities or groups of localities have been established in the area among Ústí nad Labem, Litoměřice, Lovečkovice and Velké Březno (Fig. 1). Most of the samples contain orthopyroxene as the single Fe-Mg silicate, but some minor xenoliths of dioritic to gabbroid composition and quartz syenites contain high-Ca clinopyroxene in addition to orthopyroxene. In the following, plutonic rock names are used for simplicity.

Locality 1 — Dolní Zálezly: orthopyroxene syenodiorite, pale grey in colour (weakly antiperthitic plagioclase An 46, some K-feldspar, 5 vol. % orthopyroxene, X — pale brownish red, Y pale greenish yellow, Z — bluish green); weakly foliated leucocratic syenite containing up to 3 vol. % of partly altered orthopyroxene and abundant mesoperthite which replaces antiperthitic plagioclase plus some alkali feldspar phenocrysts; pyroxene syenite similar to the previous type, but containing 5 vol. % high-Ca clinopyroxene. This group of localities corresponds to places from which H i b s c h (1904) described his "Augitgranit".

Locality 2 — south and south-east of Velké Březno: pale grey, finer-grained and weakly foliated strongly alkaline pyroxene granite and syenite. Both high-Ca clinopyroxene and orthopyroxene, often strongly altered, are present. At the localities near Sulečice the xenoliths are up to 20 cm long (analysis 10 in Table 2). Basic types are represented by orthopyroxene diorite and clinopyroxene gabbrodiorite.

Locality 3 — north and north-west of Ústěk: a single find of orthopyroxene granodiorite near Lovečkovice and gabbroid rocks from Levín and Kravaře, including norite, augite and hornblende gabbro, hyperite and olivine gabbro. The last rock type has pyroxene-spinel reaction rims between olivine and plagioclase. Relation of these basic rocks to the charnockites is uncertain, but they may represent members of the charnockite complex.

Locality 4 — Myštice: a basalt dyke exposed in a quarry carries abundant charnockite xenoliths up to 30 cm long. Weakly foliated orthopyroxene granitoids grey and brown in colour, some carrying alkali feldspar phenocrysts, are associated with streaky, fine-grained charnockitic gneisses.

Comparative petrological study of charnockitic rocks from all the localities indicates that all the rock types, including pyroxene syenites, belong to a single rock assemblage. Orthopyroxene plus some high-Ca clinopyroxene, mesoperthite and antiperthitic plagioclase are typical throughout the series. The microscopic textures are largely metamorphic, with abundant plastic to brittle deformation plus recrystallization, heterogranular fabric and a streaky arrangement of components, suggesting a regime of ductile deformation under high temperatures,

although megascopically the granitoid aspect of the rocks is fairly well preserved.

The chemical composition of the rocks is represented by 10 analyses in Table 2, which give somewhat uneven coverage; sampling is limited to localities with unweathered xenoliths. Table 1 shows calculated mineral compositions after Mielke - Winkler (1979) modified for the presence of orthopyroxene. The trace element contents in six samples are shown in Table 3. The calculated mineralogical compositions are plotted in the APQ diagram (Fig. 2) for classification of plutonic rocks. The petrochemical properties of the rocks are shown in Figs. 3 and 4, using Köhler - Raaz (1951) calculations modified by Opletal (1971); two samples of two-pyroxene mafic granulite and one analysis of felsic garnet-ferrohypersthene granulite from the Lišov granulite massif, southern Bohemia, and one analysis of biotite-orthopyroxene melasyenite from the Tábor massif, central Bohemia, are shown for comparison. Fig. 2 shows that the samples analyzed range from granite poor in K-feldspar, through granodiorite and quartzmonzodiorite to monzodiorite, while the sample from Sulečice corresponds to quartz syenite. Because of restricted sampling the analyses do not cover the whole variation range of the charnockitic rocks. Thin sections of additional xenoliths, which are either too small or too weathered, show that pyroxene diorites to gabbros, pyroxene granites rich in K-feldspar and pyroxene quartz syenites are also abundant.

Correlation and discussion. We have no information on the depth position of the charnockite complex sampled by the Tertiary volcanites. Completely analogous rocks are unknown from the crystalline complexes of the Bohemian Massif, although, owing to the Cadomian and Hercynian tectogenic events the massif exhibits highly variable levels of exposure of the crustal segments. For correlation, we consider significant the following geological, petrological and geochemical features of the charnockites:

- any relic minerals from previous evolution stages are absent,
- mineral assemblages reflect but a single T/P regime; amphiboles and biotite are completely absent,
- total absence of garnet in the whole series of rock compositions indicates relatively low pressure conditions of crystallization, probably below 0.5 GPa. This is a major distinction from the felsic and mafic orthopyroxene and two-pyroxene granulites of the Moldanubicum, which are usually garnetiferous [Barvíř 1897, Scharbert - Kurat 1974, Fediuková 1978, Vrána - Jakeš 1982, Fišera et al. 1982],
- relatively primitive K/Rb ratio (Fig. 6) makes the charnockites also

distinct from the granulites of the Moldanubian type in the Bohemian Massif (Matějovská - Vaňková 1980, Fiala et al. 1984).

Felsic kyanite-garnet granulites associated with pyrope peridotites and eclogites constitute a Moldanubian type granulite complex in a shallow crustal position directly below the Tertiary volcanics in the central and western part of the České středohoří Mts. This complex is documented by drilling (Kopecký - Sattler 1966) and by xenoliths. At Myštica (locality 4), where the charnockite xenoliths are most abundant, no Moldanubian-type granulite xenolith was recorded.

Pin and Vielzeuf (1983) defined two groups of granulitic rocks in the Hercynides of Europe: group I — relatively high pressure granulites of the Moldanubian type, associated with eclogites and pyrope peridotites, and incorporated in the Hercynian nappe structure; group II — segments of granulitic crust uplifted along major lineaments of the Alpine fold belt (Ivrea zone, southern Calabria) and sampled by neovolcanics (Central Massif in France, Eifel). The second group is interpreted as associated with a late Hercynian thermal anomaly, reflecting processes in the upper mantle.

We compared the charnockites also to somewhat similar rocks from the geographically nearest occurrences in the Precambrian on the East European Platform, i.e. Byelorussia-Lithuania elevation in north-east Poland (Ryka 1968, 1969). These rocks, associated with the rapakivi plutonism, show significantly higher variability in mineral assemblages and rock type associations, compared to our charnockites.

We may conclude that data in this paper prove the existence of a charnockite complex at some unknown subsurface level of the České středohoří Mts. With the information available, we cannot closely correlate this complex with any of the charnockite or granulitic complexes in the adjacent parts of Europe. The continuing work is directed toward geochronologic and thermometric data.

Přeložil S. Vrána

Explanation of tables

Table 1. Mineralogical composition of charnockites calculated from chemical analyses (mass %).

Sample localities: 1 — Myštica quarry, xenolith f — pyroxene granite; 2 — Myštica, xenolith c — pyroxene granite; 3 — Myštica, xenolith z — pyroxene granodiorite; 4 — Myštica, xenolith w — pyroxene granodiorite; 5 — Myštica, xenolith x — pyroxene quartzmonzodiorite; 6 — Myštica, xenolith y — pyroxene quartzmonzodiorite; 7 — Myštica, xenolith e — pyroxene quartzmonzodiorite; 8 — Myštica, xenolith a — pyroxene granodiorite (samples 1–8 contain orthorhombic pyroxene), 9 — Myštica, xenolith d — pyroxene monzodiorite (orthorhombic + monoclinic

pyroxene); 10 — Sulečice-Byňov — leucocratic quartzsyenite (orthorhombic pyroxene).

Table 2. Analyses of charnockites.

For localities and rock types see explanation to Table 1. Analysts: analyses 1–6 — M. Huka et al., laboratory of Ústřední ústav geologický, 1984; analyses 7–10 — V. Štastný, laboratory of Ústřední ústav geologický, 1987.

Table 3. Trace elements contents in charnockites.

For localities and rock types see explanation to Table 1. Analysts: laboratory of Ústřední ústav geologický, 1985.

Explanation of text-figures

1. Localities of xenoliths in the Tertiary volcanic rocks of the České středohoří Mts. 1–3 — charnockitic rocks: 1 — granite and granodiorite, 2 — quartzmonzodiorite to diorite, 3 — syenite; 4 — other granitoids, 5 — carbonatized granitoids, 6 — kyanite-garnet granulites, 7 — gabbrodiorite and gabbro, 8 — peridotite, 9 — selected boreholes which penetrated into the crystalline basement below the Cretaceous.
2. Mineralogical composition of charnockites calculated from the chemical analyses in the QAP diagram. Sample localities are given in Table 1.
Large numerals denote the following fields: 3* — granite, 4 — granodiorite, 7* — quartzsyenite, 9* — quartzmonzodiorite, 9 — monzodiorite.
3. Charnockite analyses in Köhler-Raaz diagram modified by M. Opletal [1971].
Sample localities are given in Table 1. Also shown are two analyses of two-pyroxene mafic granulite from Lišov, southern Bohemia (*dashed arrows*), ferrohypersthene felsic granulite from Lišov, southern Bohemia (*dotted arrow*), and biotite-orthopyroxene melasyenite from the Tábor massif (Z. Vejnar 1973) (*dot-and-dash arrow*).
4. Relations of mafic components and feldspar components, after M. Opletal [1971]. The analyses plotted are the same as in Fig. 3.
5. Charnockite analyses plotted in the AFM diagram. *Dot-and-dash line* — contour between calc-alkaline and tholeiite fields, *dashed line* — Hawaii alkaline trend after G. A. MacDonald - T. Katsura [1964], *full lines* — trends for granitoids of the Central Bohemian Pluton (Z. Vejnar 1973).
6. K/Rb ratio in charnockitic rocks from the České středohoří Mts. [analyses numbered 1–6] compared to K/Rb values for separated feldspars from the felsic granulites from southern Bohemia (J. Fiala et al. 1982).

Explanation of plates

Pl. I

1. Partly melted biotite granite xenolith, 1.5 mm from the contact with basalt. Relic plagioclase crystal overgrown by newly formed skeletal feldspar, and relic garnet. The matrix consists of newly formed skeletal feldspar intergrown with carbonate. Zubrnice. One polarizer. True width of the area shown 2.5 mm.
2. Coronitic texture in olivine-pyroxene metagabbro. Reaction rims of pyroxene and pyroxene-spinel symplectite around the central olivine. Plagioclase grains (light-coloured) along margins. Levín. One polarizer. True width of the area shown 1.5 mm.

Photos by M. Opletal

Pl. II

1. Coronitic olivine-pyroxene metagabbro. Pyroxene-spinel-plagioclase symplectite and pyroxene reaction rims around olivine, on the left. Large plagioclase below the centre. Levin. One polarizer. True width of the area shown 2.5 mm.
2. Minor orthopyroxene crystals in charnockite (dark grey, high relief) in a feldspar aggregate, composed largely of plagioclase. The opaque mineral is ilmenite. Myštica, xenolith v. One polarizer. True width of the area shown 2.5 mm.

Photos by M. Opletal

Pl. III

1. An orthopyroxene crystal rimmed by alteration products and devitrified glass, in a plagioclase — K-feldspar aggregate (pale grey). Myštica, xenolith f. One polarizer. True width of the area shown 0.7 mm.
2. A strongly vitrified charnockite xenolith with relic orthopyroxene (centre), relic quartz (white oval grains) and abundant aggregates of newly-formed pyroxene in a violet brown glass (grey). Myštica, xenolith u. One polarizer. True width of the area shown 2.5 mm.

Photos by S. Vrána

Pl. IV

1. Charnockite texture. Large oval porphyroclasts of plagioclase (top left and centre), large orthopyroxene in a fine-grained matrix of plagioclase and K-feldspar (below). Myštica, xenolith x. One polarizer. True width of the area shown 7 mm.
2. Charnockite texture. Orthopyroxene aggregates (medium grey), feldspars — mainly plagioclase (pale grey) and minor lobate portions of glass near the top and bottom. Myštica, xenolith w. One polarizer. True width of the area shown 2.5 mm.

Photos by S. Vrána

Ксенолиты чарнокитовых пород в вулканитах Чешского Среднегорья

В представленной работе подведены итоги геологического, петрологического и петрохимического изучения чарнокитовых пород, встречающихся в виде ксенолитов в третичных вулканитах Чешского Среднегорья в области между городами Усти н. Л. и Литомержице. Выделены две группы пород: 1. бедные калиевым полевым шпатом граниты, гранодиориты, кварцевые монцодиориты до монцодиоритов; 2. кварцевые сиениты. Породы содержат обыкновенно ортопироксен в качестве единственного Fe-Mg-силиката, только монцодиорит и кварцевый сиенит содержат также Са-клинопироксен. Чарнокиты обладают обликом гранитоидных пород, невыразительной до выразительной параллельной текстурой и характеристическими признаками деформации и высокотемпературной перекристаллизации. От гранулитов молданубского типа они отличаются отсутствием граната, амфибола и биотита, а в геохимическом отношении выразительно более высокими значениями K/Rb. Обсуждается отношение этих чарнокитов к двум типам гранулитовых пород в герцинидах Европы и к некоторым докембрийским чарнокитам Восточноевропейской платформы. Полученными результатами доказывается присутствие в области Чешского Среднегорья чарнокитового комплекса, связанного, по всей вероятности, с более глубокой частью земной коры.

Přeložil A. Kříž