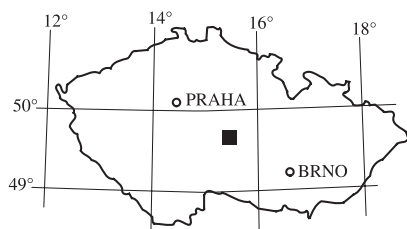


CORDIERITICKÉ RULY VELMI BOHATÉ TITANOHEMATITEM Z ORLÍKU U HUMPOLCE**Cordierite gneiss very rich in titanohematite from Orlík near Humpolec**

VÁCLAV PROCHÁZKA

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Albertov 6, 128 43 Praha 2

(23-21 Havlíčkův Brod)



Key words: hematite, ilmenite, cordierite, paragneiss, Fe distribution, dealkalization, Moldanubicum

Abstract: The several km long magnetic anomaly E from Humpolec (ZEMÁNEK 1964) is probably caused by Ti-hematite, 1–2 % content of which in cordierite-rich paragneisses from the hill Orlík is documented. The portion of exsolved ilmenite in the hematite exceeds 35–40 %, which indicates a minimum crystallization temperature > 550–600 °C. Other major minerals include quartz, basic oligoclase, sillimanite, minor biotite and locally K-feldspar. Despite its anhedronal forms, Ti-hematite is older than the silicates. The main evidence is as follows: 1. cordierite penetrates into Ti-hematite in cracks, 2. Ti-hematite contains numerous inclusions, among which paragonite and corundum occur, not found in the rock otherwise. There is also a minor hematite without detectable Ti, which is younger than the Ti-hematite. The lack of alteration of biotite and feldspar excludes a late import of Fe (+Ti) by a fluid. The Fe/(Fe + Mg) molar ratios of both biotite and cordierite are low (on average 0.45 and 0.29, respectively). The rock may have been formed by recrystallization of a very fine-grained to glassy matrix with Ti-hematite, which had been a product of an impact event; the shock-metamorphism may have also caused the loss of alkalis.

Díky informaci od J. Páší o hojném ilmenitu v oblasti vrchu Orlík východně od Humpolce zde bylo odebráno několik vzorků pro výzkum opakních minerálů. Ve třech ze čtyř nově zhotovených výbrusů dosahuje opakní minerál – převážně titanohematit – obsahu 1–2 %, takže již nemůže být označen za akcesorii.

Oblast Orlíku je podle geologické mapy ČR 1 : 50 000, list 23-21 Havlíčkův Brod (ŠTĚPÁNEK 1995), tvořena cordieritickými migmatity, které jsou jen zřídka proniknuty pegmatity. SUK (1964) označuje zdejší horniny jako cordierit-biotitické „rohovcovité“ pararuly, převážně flebiticky migmatizované. Podle leteckého měření (a rovněž pozemního v oblasti Orlíku) je část území součástí magnetické anomálie, táhnoucí se v délce cca 7 km přibližně ve směru ZJZ-VSV, v níž magnetická indukce dosahuje až přes 400 nT; jako původce této anomálie určil ZEMÁNEK (1964) „hybridní ruly“ bohaté „magnetitem“. Vysoký podíl (2,8 %) opakních minerálů, označených jako magnetit a

ilmenit, uvádí SUK (1964) též v modální analýze podobné ruly jz. od Humpolce; také v tomto území podle ZEMÁNKY (1964) tyto ruly tvoří silné magnetické anomálie, ale plošně méně rozsáhlé.

Výbrus č. 1 byl zhotoven ze vzorku odebraného ze skalky s. od vrcholu; horninu lze s ohledem na konvence označit jako flebit-stromatitický migmatit. Výbrusy č. 2–4 pocházejí ze vzorku odebraného na j. svahu, který obsahuje vyrostlice K-živce. Je ovšem sporné, zda aspoň část hmoty hornin krystalizovala z taveniny, jak název „migmatit“ naznačuje. Přestože křemen a plagioklas (event. i K-živec) tvoří pásy poněkud chudší na tmavé minerály, jejich malé rozměry činí vznik tavením spíše nepravděpodobným. Vyskytují se i polohy s centimetrovými krystaly K-živce, v těch však zase chybí plagioklas, takže připomínají spíše pegmatitové žilky.

Mineralogie

Hlavními minerály jsou cordierit, křemen, biotit, oligoklas (An 20-29) a sillimanit. Ve vzorku č. 3 k nim přistupuje mikroklin a rovněž muskovit (srov. tab. 1), který se v ostatních vzorcích vyskytuje v podstatě jen jako produkt alterace biotitu nebo jako sericit spolu s jílovými minerály v cordieritu. Akcesoricky se vyskytují chlorit, apatit, monazit, zirkon, xenotim. Biotit i přes nepravidelné tvary jen vzácně jeví známky alterace – v každém vzorku je postižena, většinou jen částečnou ztrátou K, méně než čtvrtina, prakticky nulová je alterace plagioklasů. Biotit se sillimanitem tvoří foliaci. Porfyroblasty cordieritu dosahují velikosti až 2–3 cm.

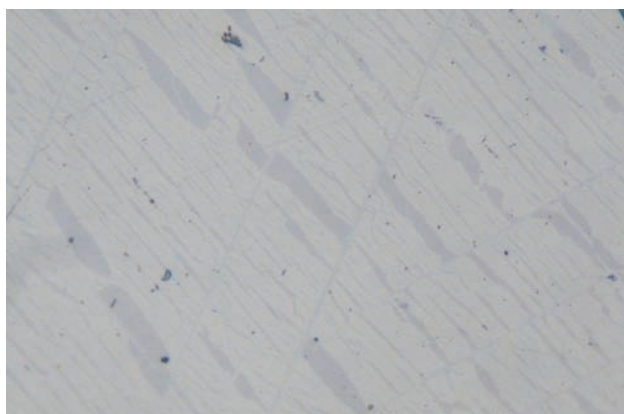
Opakní minerál má v odraženém světle podobu bílých xenomorfních zrn velkých až 5–6 mm, s tmavšími lamelami, které mají v každém zrnu jen jeden směr. Rovněž v odražených elektronech jsou lamely tmavší a podle složení jde o ilmenit, zatímco světlejší minerál je hematit. Hematit obsahuje příměsi dalších trojmocných kovů (nejvyšší zjištěné obsahy 0,55 % Al₂O₃, 0,85 % V₂O₃, 0,85 % Cr₂O₃). V krystalech s ilmenitovými lamelami vždy obsahuje i Ti (> 10 % TiO₂) a někdy je měřitelný i Mn. Nejspíše tedy hematit i na úrovni < 1 μm obsahuje příměs ilmenitu; stejně tak ilmenit má vždy nadbytek Fe, což lze vysvětlit přítomností hematitové složky. Pro ilmenit je rovněž charakteristický obsah Mn. Podstatně méně významné jsou tenké lamely rutilu (obr. 1).

Opakní minerál v této podobě je typickou ukázkou odmíšení pevného roztoku hematitu a ilmenitu (HAGGERTY 1991) a lze jej označit jako titanohematit. Celkové zastoupení ilmenitové složky ve směsi lze odhadnout na 30–40 %, což znamená teplotu krystalizace původně ho-

Tabulka 1. Přibližné modální složení hornin z nových výbrusů z Orlíku

vzorek	modální složení (%)								X(Fe)	X(Fe)
	křemen	plagioklas	K-živec	biotit	muskovit	cordierit	sillimanit	oxidy Fe-Ti	biotit	cordierit
1	25	10	0	2,5	< 5	60	3–5	1,6	0,45	0,29
2	30	0	0	1,5	< 5	65	3–5	0,17	0,44	0,29
3	20	10	10–15	3	< 5	50–55	< 5	1,8	0,46	0,29
4	25–30	< 1	0	4,5	< 1	60	5	1,1		
Orlík (M. Suk)	22,0	24,4	2,7	30,6	3,23	11,3	4,26	1,18	0,53	0,36
jiné cord. ruly	27,75	37,25	6,5	12,75	1,5	15,25	0,5	0,75	0,63	0,41

obsahy Ti-hematitu a biotitu upřesněny obrazovou analýzou v programu Quick Photo View) a X(Fe) biotitu a cordieritu podle elektronové mikrosondy; pro srovnání modální analýzy a X(Fe) separovaného biotitu a cordieritu ve vzorku z Orlíku a průměr z dalších čtyř cordieritických rul moldanubika (FEDIUK 1971; SUK 1964)



Obr. 1. Hematit s lamelami ilmenitu (nepravidelné šířky, probíhají jedním směrem) a tenkými lamelami rutilu (ve dvou směrech). Snímek v odraženém světle, délka 0,15 mm.

mogenní fáze vyšší než asi 520–600 °C (BURTON 1984). Pro určení minimální teploty jsou podstatné hlavně vyšší hodnoty, protože nižší příměs ilmenitu znamená spíše jen lokální deficit Fe^{II} nebo Ti (jinak by musel být přítomen i ilmenit s odmišleným hematitem).

Ilmenitové lamely někdy přecházejí ve fázi TiO₂ – nejspíše rutil, který vznikl při oxidaci ilmenitu na hematit. Tento jev je mnohem častější ve vzorku z jižního svahu. Rutil obsahuje příměs Nb, Si, pravděpodobně i Al, Fe.

Titanohematit se vyskytuje v různých pozicích, častěji spíše mezi jednotlivými zrny silikátů. Zajímavý je určitý antagonismus mezi Ti-hematitem a biotitem.

Titanohematit obsahuje hojně a zároveň drobné (velikost zpravidla do 15 μm) uzavřeniny: muskovit bohatý Na až paragonit, fáze Al₂SiO₅, méně často křemen, muskovit, biotit, vzácný zirkon, korund, K-živec, albit. Zatímco paragonit a korund nebyly nalezeny jinde než v titanohematitu, mezi uzavřeninami chybí cordierit, který naopak někdy proniká do Ti-hematitu po trhlinách. Uzavřeniny v Ti-hematitu naznačují ještě větší nadbytek Al v době jeho krystalizace než v současné hornině.

Bylo pozorováno i usměrnění protáhlých zrn nebo seřazení sousedních zrn Ti-hematitu podle foliace; výraznějšímu usměrnění brání zřejmě jen tvary zrn. Byl nalezen i deformovaný Ti-hematit uzavřený v nedeformovaném biotitu.

Kromě titanohematitu se vyskytuje (zvláště ve vzorcích 2–4) i hematit bez detekovatelné příměsi Ti. Tvoří menší zrna do 1 mm, jen zřídka s uzavřeními křemene nebo plagioklasu. Kromě vzácných případů, kdy tento hematit vznikl zjevně z původního Ti-hematitu a je asociován s rutilem, nebyly zjištěny ani proniky cordieritu do „čistého“ hematitu.

Magnetická susceptibilita – laboratorní měření

Ve vzorku z j. svahu byly na jediné ploše plně vyhovující pro měření magnetické susceptibilita zjištěny hodnoty 12,5–14,3 · 10⁻³ SI. Měření v dalších dvou orientacích ukázala nižší hodnoty (8,22–13,6 · 10⁻³ SI), což je částečně způsobeno již nedostatečnou plochou, ale také anizotropií. V každém případě jde o hodnoty na podobné horniny značně vysoké (J. Dohnal, os. sdělení).

Distribuce Fe

Celkový obsah Fe v hornině lze podle modálního složení odhadnout asi na 5–7 % FeO_{tot}, což jsou hodnoty zcela běžné. Ani obsah Fe₂O₃ není příliš vysoký: stechiometrie cordieritu z mikrosondových analýz ukazuje nepřítomnost Fe^{III} a jen díky titanohematitu (+ biotitu) může hornina obsahovat max. 1,5 % Fe₂O₃. Horniny jsou ochuzeny o Na a zvláště K (vzorek č. 3 může obsahovat max. 2 % K₂O, ostatní max. 0,5 %). SUK (1964) uvádí z oblasti východně od Humpolce 3 silikátové a planimetrické analýzy rul a migmatitů, včetně vzorku ze západního svahu Orlíku (tab. 1), v němž byl zjištěn vysoký obsah 3,68 % Fe₂O₃. Vzorky M. Suka však mají ve srovnání se zde popsány více biotitu (30–35 %), v němž je nejspíš obsažen i přebytek Fe^{III}, a méně cordieritu; na rozdíl od většiny ostatních vzorků z moldanubika jsou ve dvou modálních analýzách výslovně uvedeny „magnetit a ilmenit“.

X(Fe) – molární poměr Fe/(Fe + Mg) – je v biotitu podle mikrosondových analýz v každém vzorku značně variabilní (nealterovaný biotit 0,35–0,52), ale průměrné hodnoty ze tří výbrusů jsou si velmi podobné (tab. 1). V cordieritu se X(Fe) pohybuje od 0,25 do 0,36.

V separovaném biotitu i cordieritu ze vzorku odebraného M. Sukem z Orlíku (FEDIUK 1971) je $X(\text{Fe})$ vyšší než ve zde popsaných vzorcích (tab. 1); tento rozdíl může být jen z malé části způsoben uzavřeninami v separovaných minerálech (udávaná kontaminace max. 1 %). Je zřejmé, že koncentrace Fe v biotitu ani cordieritu v horninách bohatých Ti-hematitem nejsou nijak zvýšené, dokonce jsou spíše podprůměrné. Další 4 vzorky cordieritických pararul z moldanubika (FEDIUK 1971 včetně převzatých dat) mají poměr $\text{Fe}^{\text{II}}/\text{Mg}$ v separovaném biotitu i cordieritu vyšší a $X(\text{Fe})$ stejné nebo vyšší než vzorek z Orlíku (tab. 1). Naproti tomu obsahy Fe_2O_3 v biotitu (4,54 %) a cordieritu (2,46 %) z Orlíku (FEDIUK 1971) lze považovat za vysoké, oxidovanost železa tak může jeho poměrně nízký obsah v silikátech částečně vysvětlit. Podle krystalochemických přepočtů (FEDIUK 1971) je v biotitu Fe^{III} skutečně v krystalové struktuře, zatímco v cordieritu je možný vliv uzavřenin. Pararula obsahující 30 % biotitu, což je běžné, tak může mít i bez oxidických minerálů stejný obsah Fe_2O_3 jako ruly s Ti-hematitem.

Diskuse a závěr

Vzorky bohaté Ti-hematitem jsou zároveň bohaté cordieritem a chudé biotitem. Zároveň byl uveden přímý důkaz, že titanohematit je starší než cordierit; rovněž ZEMÁNEK (1964) považuje „magnetit“ za jeden z nejstarších minerálů. Hematit, a dokonce i cordierit, může vzniknout z biotitu hydrotermální alterací i za vysokých teplot (HELLNER a EULER 1957), není však popsán vznik hematitu z biotitu následkem pT podmínek v hloubce. Také aktivita silně oxidovaného fluida ve velké hloubce je problematická. Nicméně byl dokumentován vznik magnetitu nebo hematitu (ENGELHARDT et al. 1969) a rovněž ilmenitu (FELDMAN 1990) z biotitu při šokové metamorfóze. V takovém případě někdy vznikají jen velmi jemnozrnné útvary. Mohlo však dojít k rekrystalizaci na větší zrna s homogenní krystalografickou orientací (kterou dokládá jednotná orientace lamel ilmenitu); tato rekrystalizace by musela proběhnout při teplotě > 550–600 °C (viz výše). Pro krystalizaci z jemnozrnné směsi by mohly svědčit i hojné drobné inkluze v Ti-hematitu.

Nereálný je přínos Fe (+ Ti) fluidem zvenčí vzhledem k rozsahu výskytu popsaných hornin (pravděpodobně odpovídá magnetické anomálii s rozměry v km). Velmi malá

intenzita alterace biotitu a živců vylučuje výraznou fluidní aktivitu od jejich krystalizace. Chemicky se horniny vyznačují nízkým obsahem K, vzorky SUKA (1964) spíše vysokým obsahem Fe_2O_3 . Uzavřeniny paragonitu a korundu by mohly znamenat, že předchozí asociace byla ještě chudší draslíkem a později bylo trochu K přineseno fluidy. Hojný cordierit (až 40 %) v rulách chudých alkáliemi zmínil již SUK (1973). Zajímavý je častý výskyt shluků sillimanitu až 30 cm velkých na Orlíku. LOSERT (1968) vysvětluje vznik sillimanitových nodulí dealkalizací, stejně jako RAJLICH (2004), který přičítá nerovnoměrnou ztrátu alkálií šokové metamorfóze.

Silikáty nejspíše původně tvořily jemnozrnnou až sklovitou hmotu ochuzenou o K a poměrně chudou na Fe, které již bylo pevně vázáno v titanohematitu. Rovněž hematit bez Ti je mladší než titanohematit.

Poděkování patří Jiřímu Dohnalovi za změření susceptibility, prof. M. Sukovi za cenné informace ze starších výzkumů a Lukášovi Ackermanovi za pomoc s analýzou obrazu.

Literatura

- BURTON, B. (1984): Thermodynamic analysis of the system $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-FeTiO}_3$. – Phys. Chem. Mineral., 11, 132–139.
- ENGELHARDT, W. v. – STÖFFLER, D. – SCHNEIDER, W. (1969): Petrologische Untersuchungen im Ries. – Geol. Bavarica, 61, 229–295.
- FEDIUK, F. (1971): Cordierite in the Moldanubian gneisses. – Krystalinikum, 7, 183–204.
- FELDMAN, V. I. (1990): Petrologija impaktitov. – Nakl. Moskevské univ., 297 s.
- HAGGERTY, S. E. (1991): Oxide textures – a mini-atlas. – Reviews in Mineralogy, 25, 129–219.
- HELLNER, E. – EULER, R. (1957): Hydrothermale und röntgenographische Untersuchungen an gesteinsbildenden Mineralien. I. Über ein geologisches Thermometer auf Grund von Untersuchungen an Biotiten. – Geochim. Cosmochim. Acta, 12/1, 47–56.
- LOSERT, J. (1968): On the genesis of nodular sillimanitic rocks. – Proc. 23. Inter. geol. congress, 109–122.
- RAJLICH, P. (2004): Geologie mezi rozpínáním Zeměkoule a Čechami. – Petr Rajlich, Praha, 234 s.
- SUK, M. (1964): Material characteristics of the metamorphism and migmatization of Moldanubian paragneisses in central Bohemia. – Krystalinikum 2, 71–105.
- SUK, M. (1973): Látkový vývoj metamorfovaných hornin českomoravské části moldanubika. – MS Čes. geol. služba. Praha.
- ŠTĚPÁNEK, P., red. (1995): Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 23-21 Havlíčkův Brod. – Čes. geol. úst. Praha.
- ZEMÁNEK, V. (1964): Interpretace magnetických anomálií v oblasti Chýnova a Humpolce. Kandidát. disert. práce. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.