

rodem *Engelhardtia*, hojná je myrika, zejména ve spektech polské části pánve (*Myricaceipoll. rurensis* a *M. myricoides*). Společným rysem spekter jsou stále hojné olše (*Alnus*), místy až v masových výskytech (polská část) a četné frekvence rodu *Carya* (*Caryapollenites simplex*). Velmi hojně jsou rozšířené *Fagaceae*, inclusive *pseudocingulum* typů (sensu KOHLMAN-ADAMSKA - ZIEMBIŃSKA-TWORZYDLO 1998) a *Quercopoll. henrici*. Charakteristickým prvkem v obou částech pánve jsou *Araliaceae/Cornaceae – Araliaceopollenites edmundi* a *Araliaceopoll. sp. div.*, *Symplocos – Symplocoipoll. vestibulum*, *Sapotaceae* (četnější v české části pánve), *Cyrtaceae/Clethraceae* (v polské části až v masových výskytech). Ke svrchním partiím slojí ještě přibývá jehličin čeledi *Pinaceae*. Z doprovodných bylinných prvků je možno uvést *Oenotheraceae – Corsiniopoll. oculus noctis*, náležející k tzv. bog-elementům, pravidelně přítomným v Podkrušnohorských pánvích, *Cyperaceae* a *Lythraceae*.

Podrobný seznam taxonů mikrofosilií z různých úrovní sedimentačních etap jsme sestavily do korelačních tabulek (1998), které jsme v letošním roce (1999) doplnily o nové taxony nebo nová data v jejich rozšíření. Jsou podkladem pro regionální korelaci v rámci pánve i pro srovnání s ostat-

ními pánvemi, pokud byly v posledních letech mikropaleontologicky sledovány.

Výzkum je součástí mezinárodní spolupráce mezi Českou a Polskou Republikou. (Výzkumný záměr Geologického ústavu AV ČR CEZ: Z 3013912).

## Literatura

- BŮZEK, Č. - KONZALOVÁ, M. (1983): Fertile Lygodium from the Cypris Formation of the Cheb Basin (West Bohemia, Czechoslovakia). – Čas. Mineral. Geol., 28, 31–39. Praha.
- KASINSKI, J. R. - PANASIUK, M. (1987): Geneza i ewolucja strukturalna niecki zytawskiej. – Biul. Inst. Geol., 357, 5–35. Warszawa.
- KOHLMAN-ADAMSKA, A. - ZIEMBIŃSKA - TWORZYDLO, M. (1998): Mikrostruktura powierzchni ziaren pyłku obserwowana w SEM - cecha diagnostyczna botanicznego pokrewieństwa kopalnych gatunków. – Działalność Naukowa, PAN, 6, 158–161. Warszawa.
- KONZALOVÁ, M. - ZIEMBIŃSKA-TWORZYDLO, M. (1999): Nová data pro stáří bazální sedimentace v nejvýchodnější části oherského riftu z území české a polské části žitavské pánve. – New data on basal sedimentation in the easternmost part of the Ohře river rift (Polish and Czech part of the Zittau Basin). – Research Rep. for the year 1998, 102–103. Praha.
- VÁCL, J. (1967): Závěrečná zpráva k úkolu Žitavská pánve. – MS, Geoindustria. Praha.
- ZIEMBIŃSKA-TWORZYDLO, M. (1992): Lower Miocene succession of plant communities in Turów (Poland). – Proc. Pan - European Palaeobot. Conference, 251–256 (J. Kovar - Eder ed.). Vienna.

## ÚLOHA ČERNÝCH BŘIDLIC PŘI VZNIKU LOŽISEK CÍN-POLYMETALICKÝCH RUD V OBLASTI DACHANGSKÉHO RUDNÍHO REVÍRU V JIŽNÍ ČÍNĚ

### Roles of black shales in the origin of tin-polymetallic deposits in the Dachang ore district, south China

JAN PAŠAVA - BOHDAN KRÍBEK - PETR DOBEŠ - IVAN VAVŘÍN - KAREL ŽÁK

Český geologický ústav, Klárov 3/131, 118 21 Praha 1

**Key words:** Tin-polymetallic ores, Black shale, Inorganic and organic geochemistry, Mineralogy, Petrology, Isotopes, Fluid inclusions, Dachang, China

**Abstract:** Economic tin deposits of the Dachang tin field are hosted in a sedimentary sequence containing significant concentrations of organic-matter in the form of Lower Devonian calcareous black shales, that together with the younger granite intrusion actively participated in the formation of Sn-polymetallic deposits. Field observations coupled with the new petrologic, mineralogical, inorganic and organic geochemical, stable isotope and fluid inclusion data from the Dafulou, Huile and Kangma stratabound and stockwork type cassiterite-sulfide deposits have confirmed that black shales have played several important roles in their origin. They became a source of S and partially of Sb, Co, Pb, V, and Fe during depositional period. Black shales have also played an important role controlling remobilized and epigenetic Sn-sulfidic vein- and replacement-type mineralization that occurred in connection with granitoid intrusions. Calcareous facies acted most likely as a geochemical barrier for metal-rich hydrothermal solutions that precipitated minerals in zones of lithologically and structurally controlled permeability. Bacteriogenic sulfides of black shales were also a dominant source of sulfur for epigenetic (vein and replacement) mineralization at the Huile and Kangma

deposits. At Dafulou and Huile, oxidized organic matter have played a major function, in the origin of ore-bearing and post-ore carbonates. Black shales represented an important control of ore forming capacity of magmatic ore system associated with the emplacement of the Longxianggai granite through keeping sufficiently low  $fO_2$  in the exocontact. This resulted in the accumulation of  $Sn^{2+}$  in residual melt and in the formation of high-calcareous black shale/carbonate - replacement tin-sulfide ores in a longer distance from the intrusion.

## ÚVOD

V září 1997 byla v rámci programu KONTAKT poskytnuta Ministerstvem školství ČR dotace na podporu řešení projektu „Úloha černých břidelic při vzniku ložisek cín-poly-metalických rud v oblasti Dachangu v jižní Číně“. Jednalo se tříletý projekt, jehož hlavní cíle lze shrnout do následujících etap:

### 1997

- předběžné studium izotopického složení síry ze vzorků získaných z hlavních ložisek dachangského rudního revíru

- zajištění a příprava terénních prací plánovaných počátkem r. 1998

**1998**

- terénní práce v oblasti dachangského rudního revíru (odběry vzorků)
- příprava vzorků na analytické práce a provedení analytických prací ve vybraných laboratořích
- předběžné zhodnocení získaných analytických výsledků

**1999**

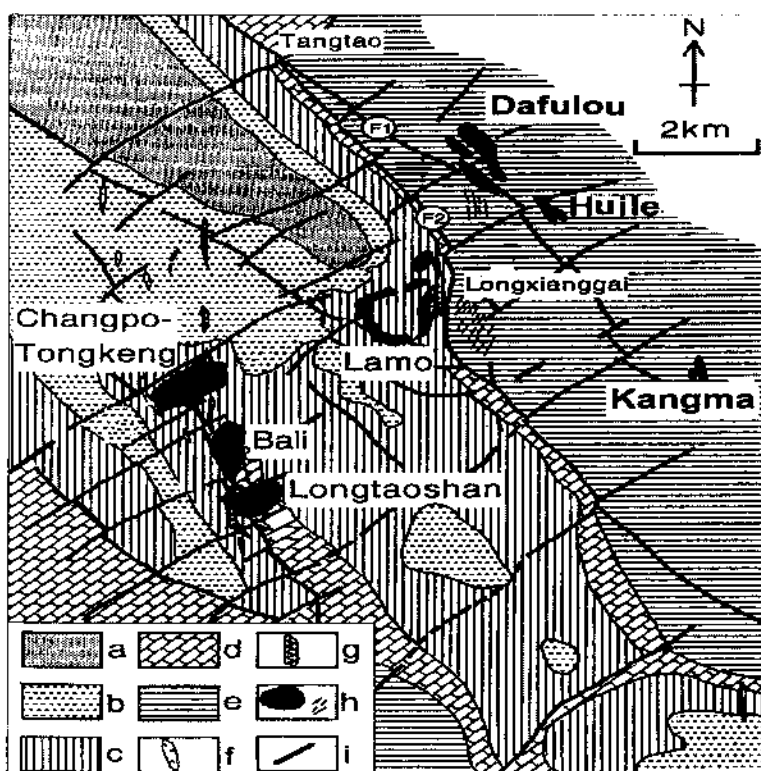
- dokončení veškerých analytických prací
- interpretace výsledků a finální editace společné publikace posuzující úlohy černých břidlic při vzniku cín-poly-metalických ložisek v oblasti Dachangu
- prezentace výsledků projektu na mezinárodní konferenci v Londýně

V oblasti dachangského rudního revíru byly ověřeny zásoby asi 100 mil. tun rudy s obsahem Sn = 1%, čímž se řadí k jednomu z největších světových producentů cínu. Oblast rudního revíru se nachází v Nandan County v autonomní oblasti Guanxi v jižní Číně a zahrnuje Cu-Zn (Sn) skarnová ložiska Lamo a Longxianggai, vázaná na bezprostřední exokontakt longxianggaiského granitu (a. 91 Ma), dále Sn-Zn-Cu (Pb) převážně stratiformní ložiska, vázaná na silicifikované útesové vápence svrchně devonského stáří (Tongkeng, Changpo, Longtaoshan a Gaofeng), a dále ve východní části revíru žilníky a stratabound tělesa kasiterit-sulfidické mineralizace těžené na ložiskách Dafulou, Huile a Kangma, která jsou litologicky spjata s výskyty středně devonských vápničných černých břidlic (obr. 1).

**METODIKA**

Terénní práce v Číně proběhly v době od 23. 2 do 16. 3. 1998 za účasti čtyř českých a čtyř čínských geologů. V jejich průběhu byla hlavní pozornost soustředěna na geologicko-strukturální studium a odběry vzorků na ložiskách Dafulou, Huile a Kangma ve východní části dachangského rudního revíru. Celkem bylo odebráno a dopraveno do České republiky 137 vzorků (100 kg), reprezentujících typické nemineralizované horniny, jakož i vzorky z bezprostředního okolí mineralizovaných poloh a rudní tělesa (oba typy – stratiformní i žilníkovité). V západní části revíru byly pak odebrány srovnávací vzorky z typicky skarnového ložiska Longxianggai vyskytující se na kontaktu nodulárních vápenců a longxianggaiské granitové intruze křídového stáří.

Vzorky byly homogenizovány v laboratořích Českého geologického ústavu v Praze. Současně s probíhajícími chemickými stanoveními v laboratořích ČGÚ (AAS, HGAAS, XRF, Rock Eval, RTG, ap.) a Ekochemu, s. r. o. (ICP MS), byla rovněž provedena speciální analytická stanovení v USA (stanovení izotopů O v křemenu a H v silikátech), Francii (výzkum organické hmoty prostřednictvím laserového Ramanu) a Japonsku (LAB-ICP-MS stanovení v kombinaci s elektronovou mikrosondou a PIXE). Stanovení minerálních paragenéz v rudách, změn ve složení organické hmoty, jakož i stanovení izotopického složení síry v sulfidech a dále studium fluidních inkluzí v křemenech, karbonátech, příp. i některých rudních minerálech (kasiterit a fluorit) proběhly v laboratořích ČGÚ v Praze.



Obr. 1. Geologická mapa dachangského rudního revíru (podle Penga et al. 1997).

a – perm (vápence, pískovce a křemité horniny), b – karbon (dolomitické vápence), c – svrchní devon (vápnité černé břidlice a silicity), d – střední devon (vápence), e – spodní devon (vápnité černé břidlice a pískovce), f – yanshanský diorit, g – yanshanský granit, h – projekce rudních těles, i – zlomy.

## VĚDECKÉ VÝSLEDKY

### Ložisko Dafulou

Sn-Fe-Zn-Cu rudní polohy mají stratiformní i žilníkovitý charakter. Detailně bylo ovzorkováno ve 4 profilech stratiformní rudní těleso 22 (orebody 22), včetně nadloží i podloží na úrovních 45 m n. m., 65 m n. m., 80 m n. m. a dále okolní horniny na úrovni 30 m n. m. Kromě toho byly získány i vzorky spodnodedovských hornin a typické rudní vzorky z těžného žilníku (0 orebody) z úrovně 374 m n. m.

### Ložisko Huile

Sn-Fe-Zn-Cu rudní polohy mají stratiformní i žilníkovitý charakter. Detailně bylo ovzorkováno ve 3 profilech žilníkovité i stratiformní těleso včetně nadloží i podloží na nejspodnějším těžebním patře na úrovni 100 m n. m.

### Ložisko Kangma

Sn-Fe-Zn (Pb) rudní polohy tvoří pouze žilník (systém paralelních převážně křemenných, a křemen-karbonátových, místy i karbonátových žil a žilek). Detailně byl ovzorkován systém paralelních rudních žil včetně spodnodedovských nadložních i podložních černých břidlic na těžební úrovni 200 m n. m.

### Ložisko Longxianggai

Zn-Cu (Sn) skarny jsou typickým příkladem metasomatických rud vyvinutých v exokontaktu longxianggaiského granitu v drobně nodulárním vápenci. Detailně bylo ovzorkováno rudní těleso společně s okolními granity a vápenci a kontaktně-metamorfovanými rohovci.

### Geologická a metamorfní pozice

Všechna tři zájmová ložiska - Dafulou, Huile a Kangma jsou vázána na spodnodedovské černé břidlice s proměnlivou příměsí karbonátu. V průběhu indočínské (140–150 Ma) a yanshanské (120–70 Ma) orogeneze byly horniny postiženy velmi slabou anchimetamorfózou. Kontaktní metamorfóza, spjatá s intruzí longxianggaiského granitu (91 Ma) se projevila pouze na ložisku Huile vznikem kontaktních rohovců.

### Strukturní pozice

Na základě strukturních měření, provedených během terénních prací je zřejmé, že se ložiska Dafulou, Huile a Kangma liší strukturní pozicí. Žilné struktury ložiska Kangma jsou vázány na extenzní struktury křehkého charakteru, které se vyvíjely současně nebo bezprostředně před vznikem mineralizace. Žilné struktury ložiska Dafulou a Huile vznikaly na zlomových strukturách, které jsou výsledkem tektonických procesů v průběhu indočínské a yanshanské orogenetické fáze, a které byly reaktivovány při vzniku zrudnění.

Stratiformní polohy ložiska Dafulou a Huile vznikly metasomatickým zatlačením poloh bohatších karbonátem, přičemž zlomové struktury sloužily jako přírodní dráhy roztoků.

### Mineralogie

Minerální složení ložisek Dafulou, Huile a Kangma je velmi podobné. Mineralizace probíhala ve třech mineralizačních stadiích, která jsou nejlépe vyvinuta na ložisku Dafulou. Na ložisku Kangma je pouze v malé míře zastoupeno I. mineralizační stádium a v III. mineralizačním stádiu jsou zastoupeny nejmladší Sb minerály. Na ložisku Huile je v malé míře zastoupeno I. mineralizační stádium bez kasiteritu a pouze zde byla zjištěna porudní zeolitová mineralizace označená jako stádium IV.

**I. stádium mineralizace** je vyvinuto podřízeně ve formě hydrotermálních, zčásti metasomatických impregnací v černých břidlicích, protínaných žilami a rudními tělesy kasiterit-sulfidické mineralizace II. stadia. Převažuje impregnační pyrotinové zrudnění s arzenopyritem, doprovázené křemen-turalínovou mineralizací, příměsí apatitu, mikroskopického kasiteritu I. ojedinelého rutilu, monazitu, allanitu a titanitu.

**II. stádium mineralizace** silně převažuje. Nejčastěji je vyvinuto ve formě křemenných žil, vzácně s akcesorickou příměsí sericitu, adularu a Fe chloritu, kalcitových žil a rudních těles s kolísavě zastoupenou kasiterit-sulfidickou mineralizací až monominerálních sulfidických poloh s převahou pyrotinu. Hlavním Sn minerálem je kasiterit, doprovázený vzácnějším staninem a výjimečně herzenbergitem. Wolframová mineralizace je zastoupena akcesorickým scheelitem a výjimečně hüberitem. Ze sulfidů je podstatně zastoupen pyrotin, arzenopyrit a sfalerit, lokálně je hojnější pyrit, markazit a chalkopyrit

**III. stádium mineralizace** je zastoupeno akcesoricky v sulfidech II. stadia, hlavně v arzenopyritu, řídkěji v pyrotinu a sfaleritu v podobě jemných vtroušenin, méně často složitě prorostlých čočkovitých až žilkovitých agregátů několika minerálů vel. do 1 mm. Hlavní složkou je ryzí bismut, galenit, bismutin, elektum a zlatnaté stříbro, akantit, sulfosoli Pb, Bi, Sb, (Cu, Ag), sulfosoli Pb, Bi, Sb, Fe, sulfosoli Bi, Pb, Sb, Ag a freibergit.

### Geochemie stopových prvků

Vztahy mezi  $C_{org}$  a  $S_{ot}$  indikují vznik černých břidlic v normálním mořském prostředí s výraznými euxinickými periodami. U vzorků s vyššími obsahy síry je možné předpokládat její dodatečný přínos prostřednictvím hydrotermálních fluid.

Výsledky studia distribuce stopových prvků ukazují na možnou významnější roli organické hmoty při vzniku koncentrací vanadu na ložisku Dafulou a antimonu a kobaltu na ložisku Huile. Dále byla zjištěna výrazná afinita síry s bizmutem, mědí a zinkem na ložisku Huile a rovněž vysoká pozitivní korelace síry s mědí i bizmutem na ložisku Dafulou. Tyto výsledky jsou v dobrém souladu s mineralogickými zjištěními.

Výrazné obohacení nemineralizovaných vápnných černých břidlic LREE oproti mineralizovaným faciím a rudním tělesům souvisí s přítomností monazitu, allanitu, apatitu a titanitu, které byla zjištěny v průběhu mineralogického studia.

Porovnání obsahů Sr, Ba, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sn, Pb, As, Sb a Bi v průměrně slabě mineralizované černé břidlici normalizovaných vzorkem typické nemineralizované vápňité břidlice z oblasti Dachangu ukázalo na jednotný původ rudonosných fluid na ložiskách Dafulou, Huile a Kangma.

### Studium organické hmoty

Ze studia grafitizace organické hmoty černých břidlic vyplývá silné kontaktně-metamorfní postižení ložiska Huile. Stupeň grafitizace v horninách ložiska Kangma je minimální a nezávislý na vzdálenosti od rudních struktur. Rovněž na ložisku Dafulou je stupeň grafitizace nízký, podobně jako na ložisku Kangma, významně se však zvyšuje v blízkosti rudních poloh a v zónách alterace.

Výsledky pyrolyzní chromatografie organické hmoty na ložisku Dafulou ukazují, že množství pyrolyzátu získaného z hornin ložiska je nižší ve srovnání s množstvím pyrolyzátu získaného z nezrudněných devonských hornin. V obou případech je pyrolyzát tvořen alifatickými uhlovodíky v rozsahu  $nC_{12}$ – $nC_{18}$ . Tyto výsledky ukazují, že organická hmota byla významně teplotně postižena v průběhu rudonosných procesů.

### Fluidní inkluze

Fluidní inkluze v rudních i doprovodných minerálech ložisek rudního revíru Dachang byly studovány metodou optické mikrotermometrie. Výsledky studia ukázaly přítomnost čtyř typů primárních fluidních inkluzí:

1. Multifázové inkluze s dceřinými minerály, kde plynná fáze tvoří asi 30 vol.%, ve které může být obsaženo malé množství  $CO_2$ - $H_2O$  inkluzí,
2.  $H_2O$  –  $CO_2$  – NaCl – fluidní inkluze o nízké salinitě a nízké hustotě  $CO_2$ ,
3.  $H_2O$  –  $CO_2$  + pevné fáze – fluidní inkluze obsahující dceřinné minerály, které svědčí o nasycenosti vodného roztoku,  $CO_2$  má opět nízkou hustotu,
4.  $H_2O$  + pevné fáze – inkluze nasyceného roztoku.

Složení fluidních inkluzí svědčí o komplikovaném vývoji fluidního systému, kde hrály roli pravděpodobně vysoká salinita fluid, nemísitelnost vodou bohaté a  $CO_2$  bohaté fáze, kolísání tlaku. Teplotní rozmezí v hlavním sulfidickém stádiu (stádium II – křemen-kalcit-kasiterit-sulfidy) bylo mezi 380–400 °C a tlak 0,6 kba. Výsledky výpočtů fugacity kyslíku na základě dat z Ramana ukazují, že fugacita kyslíku byla  $10^{-31}$  při teplotě 350 °C v průběhu mineralizačního stádia II.

### Izotopické výzkumy

Výzkumy ukázaly, že na ložisku Huile docházelo k mísení biogenní síry (z okolních devonských černých břidlic) a magmatické síry odvozené od granitové intruze longxianggai svrchněkřídového stáří. Významnější negativní posun v hodnotách  $d^{34}S$  v sulfidech ze žilných a stratiformních kasiterit-sulfidických těles z ložisek Dafulou a Kangma indikuje převažující podíl biogenní síry v sulfidech nad hlubinným zdrojem.

Izotopická stanovení O a H v křemen-kasiteritových párech z ložisek Dafulou a Huile indikují teploty vzniku 270–280 °C.

Studium izotopů C a O v karbonátech bylo prokázáno, že černé břidlice byly v důsledku oxidace organické hmoty zdrojem  $CO_2$  pro rudní a porudních karbonátů.

### Závěrečné shrnutí

Získané výsledky z oblasti petrologie, mineralogie, organické a anorganické geochemie, stabilních izotopů a fluidních inkluzí prokázaly, že černé břidlice hrály při vzniku Sn-polymetalických rud ve východní části Dachangského rudního revíru následující důležité úlohy:

- vápňité černé břidlice byly velmi vhodným hostitelským prostředím pro vznik metasomatických rud
- černé břidlice byly zdrojem biogenní síry, železa a některých dalších prvků jako V, Sb a Co v rudách
- černé břidlice vyvinuté v kontaktu granitu udržovaly, prostřednictvím probíhající oxidace organické hmoty ve vnitřní části kontaktně-metamorfní aureoly longxianggaiského granitu fugacitu kyslíku hydrotermálního systému dostatečně nízkou a zabránily tak precipitaci kasiteritu v blízkosti granitu s tím, že došlo k delšímu transportu  $Sn^{2+}$  směrem od intruze a vzniku ložiskových těles převážně ve vápňitých černých břidlicích
- černé břidlice byly v důsledku oxidace organické hmoty zdrojem  $CO_2$  pro rudní a porudních karbonátů.

### ZÁVĚR

Vědecké výsledky byly v r. 1999 mezinárodně prezentovány na dvou významných konferencích – konferenci SGA-IAGOD (Mineral Deposits: Processes to Processing) v Londýně, Velké Británii (PAŠAVA et al. 1999) a dále na konferenci ECROFI (European Current Research on Fluid Inclusions) v Potsdami, Německu (DOBEŠ et al. 1999). Dále byl předložen abstrakt shrnující výsledky grantu ME-133 sympóziu 11–3 Mineral Deposits Associated with Black Shales, které je součástí vědeckého programu 31. Světového Geologického Kongresu (6.–17.8.2000 Rio de Janeiro, Brazílie).

Vědecké výsledky grantu budou využity čínskou stranu při ověřování pokračování a vyhledávání nových rudních těles v oblasti Dachangského rudního revíru.

Za uvedenou práci obdrželi řešitelé od vedení Geologického institutu Čínské akademie věd pamětní medaili IG CAS.

### Literatura

- DOBEŠ, P. - PAŠAVA, J. - KŘÍBEK, B. - VAVŘÍN, I. - ŽÁK, K. - FAN DELIAN - ZHANG, TAO (1999): Tin - polymetallic deposits in the eastern part of the Dachang tin field, South China: Fluid inclusion and stable isotope study. In: V. Lüders, R. Thomas, eds., ECROFI XV. – Abstract and Program, European Current Research on Fluid Inclusions, Potsdam, June 21–24, Terra Nostra 99/6, 83–85, Berlin.
- PAŠAVA, J. - FAN DELIAN - ZENTILLI, M. (1997): Involvement of sulfur

from black shales in the formation of tin deposits of the Dachang tin field: Evidence from sulfur isotope study. In: H. Papunen (ed.), Mineral Deposits: Research and Exploration - where do they meet?, pp. 91-94, A.A.Balkema, Rotterdam.

PAŠAVA, J. - KRÍBEK, B. - DOBEŠ, P. - VAVŘÍN, I. - ŽÁK, K. - FAN DELIAN - ZHANG, TAO (1999): The role of black shales in the formation of tin-polymetallic deposits in the eastern part of the Dachang tin field (south China). In: Stanley, Ch. J. et al. eds, Mineral Deposits Proceedings of the SGA-IAGOD Conference in London, 263-266, A. A. Balkema, Rotterdam.

PAŠAVA, J. - KRÍBEK, B. - DOBEŠ, P. - VAVŘÍN, I. - ŽÁK, K. - FAN DELIAN - ZHANG TAO (submitted): The importance of black shales in the origin of tin-polymetallic ores in the Dachang ore district, South China. Submitted to the 31st IGC, Rio de Janeiro, Brazil, August 6-17, 2000, Symposium 11-3 (Mineral Deposits Associated with Black Shales).

PAŠAVA, J. - KRÍBEK, B. - DOBEŠ, P. - VAVŘÍN, I. - ŽÁK, K. - FAN DELIAN - ZHANG, TAO (in preparation): Involvement of black shales in the formation of tin-polymetallic deposits in the eastern part of the Dachang tin field (South China): Evidence from mineralogical, geochemical, isotopic and fluid inclusion studies. Mineralium Deposita.

## LITOLOGIE A GEOCHEMIE SILURSKÝCH GRAPTOLITOVÝCH BŘIDLIC V KARNSKÝCH ALPÁCH (RAKOUSKO)

### Lithology and geochemistry of Silurian black graptolitic shales of the Carnic Alps (Austria)

JAN PAŠAVA<sup>1</sup> - HANS PETER SCHÖNLAUB<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Český geologický ústav, Klárov 3, 118 21 Praha 1

<sup>2</sup>Austrian Geological Survey, Rasumofskygasse 23, Vienna

*Key words:* Silurian, Black shale, Lithology, Geochemistry, Carnic Alps

**Abstract:** The distribution of major and trace elements in Silurian graptolitic shales of the Carnic Alps suggests important changes of depositional environment. With the beginning of the Silurian transgression and progressing subsidence, mostly chemically mature "siliceous" shales with generally higher Zr values were deposited in normal marine environment. The character of sedimentation has rapidly changed during Wenlock when chemically less mature calcareous shales together with carbonates dominated. The termination of basinal subsidence in Upper Silurian (Ludlow-Přídolí), has resulted in the deposition of chemically well mature graptolitic shales. Sulphidic graptolitic shales were mostly deposited in restricted marine environment (low O<sub>2</sub> concentrations) with local periods of inhospitable bottom conditions (little or no O<sub>2</sub> was present and H<sub>2</sub>S may have been continually or intermittently present). These facies can be classified as metalliferous black shales and represent a potential environmental harm especially in areas where carbonate lithology is missing.

Jedním z cílů IGCP 429 „Organics in Major Environmental Issues“ (1998-2002) je studium environmentálních aspektů kovonosných černých břidlic, jejichž výchozové partie jsou hojné v řadě oblastí celého světa. Tyto sulfidické facie mohou způsobovat prostřednictvím uvolňování kovů, kyselých vod a radioaktivních plynů vážné škody v oblasti životního prostředí. Karnské Alpy jsou klasickou oblastí výskytu silurských graptolitových černých břidlic, které byly v minulosti předmětem intenzivního litologického a paleontologického studia. V následujícím textu jsou uvedeny první výsledky geochemického studia těchto facií, jejich geochemická klasifikace, i porovnání s obdobnými výskyty z pražské pánve (ČR), severovýchodního Bavorska (SRN) a Armorického masívu (Francie). Tyto práce byly uskutečněny v rámci bilaterální vědecké spolupráce mezi rakouským a českým geologickým ústavem.

### VÝVOJ SILURU V KARNSKÝCH ALPÁCH

Silurská transgrese v oblasti Karnských Alp začala počátkem llandovery. V rámci silurských sedimentů rozlišil WENZEL (1997) 4 hlavní faciální vývoje, které odrážejí různé hloubkové a energetické podmínky vzniku:

1. Plöckenská facie – středně hlubokovodní sedimentace zahrnuje pelagické sedimenty formace Kok, Cardiola a dále vápence formace Alticola-Megaerella. Klasický profil v oblasti Cellonetta dosahuje mocnosti 60 m.
2. Wolayerská facie – zřetelně mělkovodnější sedimentace reprezentovaná zejména fosiliferními vápenci se zbytky nautiloidů, trilobitů, mlžů, malých brachiopodů, gastro-podů ap. Mocnost této facie je 10-15 m.
3. Bischofalmská facie – sedimenty hlubokovodního (stagnantního) prostředí zahrnují 60-80 m mocné polohy černých křemitých břidlic, černých silicitů a typických černých graptolitových břidlic (typ alum shale). JAEGER (1975) dále rozčlenil tuto facii na spodní, střední a svrchní bischofalmské břidlice.
4. Findenigská facie – reprezentuje přechodný člen mezi mělkovodním a stagnantním prostředím a obsahuje vedle černých graptolitových břidlic rovněž vápnné prachovce a polohy tmavých vápenců. Při bázi této facie se lokálně vyskytuje křemitý pískovec.

Tyto 4 facie tedy odrážejí různá stádia vývoje silurského bazénu. V období od llandovery do začátku ludlow charakter sedimentace naznačuje pokračující výrazné prohlubování bazénu s transgresním režimem, které bylo ukončeno asi během přídolí a následováno periodou ukládání poloh vápenců. Zároveň s tím došlo i ke změně charakteru sedimentace v rámci bischofalmské facie, kde sedimentace spodních bischofalmských typických černých graptolitových břidlic byla nahrazena uložením středních bischofalmských zelenavých a šedavých břidlic. Od počátku devonu do konce období Lochkov došlo ke znovuoživení hlubokovodní sedimentace a k uložení typických černých graptolitových břidlic (SCHÖNLAUB 1993).