

MINERALÓGIA, GEOCHÉMIA, LOŽISKÁ

GALINA HALAHYJOVÁ-ANDRUSOVOVÁ*

O ŠTRUKTÚRACH Ni—Co—Fe SULFOARZENIDOV A ARZENIDOV Z DOBŠINEJ (SPIŠSKO-GEMERSKÉ RUDOHORIE)

(Tab. XXII—XXVI, ruské resumé)

V článku sa mienime zaoberať niektorými štruktúrami Ni—Co—Fe sulfoarzenidov a arzenidov typických pre druhú Ni—Co arzenidovú prínosovú periódu, vyvinutú na niektorých rudných žilách v Dobšinej. Článok nadväzuje na doteraz publikované práce (Goll, 1937; Halahyiová, 1955, 1959), preto tu nebudeme podávať obsírnú geologicko-mineralogickú charakteristiku ložísk v okolí Dobšinej.

Rudné žily sa nachádzajú na území severne od Dobšinej. Vznikli počas troch prínosových období. Najtypickejšia pre ne je druhá perióda — Ni—Co arzenidová s minerálnou asociáciou — gersdorffit, arzenopyrit, chloantit, paramelsbergit, nikelin, löllingit, pyrit, markazit — sprevádzanou kremennom a turmalínom. Vyskytuje sa aj kobaltín, ktorý je produktom rekryštalizácie a najstarším členom ďalšej, tretej Cu-sulfidickej periódy.

Prístupná mineragrafická literatúra sa pomerne stručne zaoberá zonárnosťou minerálov. Zvlášť pre Ni—Co minerály je zonárnosť významná (Ramdohr, 1960; Edwards, 1954; Betechtin a iní 1958).

Pre niektoré minerály je zonárnosť typická a viditeľná podľa rozdielu farby, tvrdosti alebo ďalších rozdielných fyzikálnych a chemických vlastností jednotlivých zón. U iných minerálov je zonárnosť viditeľná až po pôsobení chemickými činidlami.

Podstata zonárnosti býva rôzna: u zmesných kryštálov je zonárnosť výsledkom podmienok vylučovania v binárnom systéme. Väčšina minerálov však nepredstavuje zmesné kryštály a podstata ich zonárnosti je v prerušovanej kryštalizácii, v periodickej zmene pórovitých a kompaktných častí alebo zón, s uzavreninami a bez nich (Ramdohr, 1960).

Zonárnosť ako dôsledok rastu s intervalmi prerušenia a obnovovania kryštalizácie, ktorá je vždy spojená s čerstvým prínosom roztokov, nazýva Edwards (1954) oscilačnou zonárnosťou. Vcelku bežná zonárnosť je znakom rýchleho rastu za nízkych teplôt a v zložitých roztokoch. Zriedkavo zonárnosť zaniká v dôsledku difúzie pri dlhotrvajúcom preteplení alebo účinkom kontaktnej metamorfozy.

Zvláštnym problémom je zonárnosť Ni—Co—Fe sulfoarzenidov a arzenidov. Zonárnosťou vynikajú chemicky najzložitejšie Ni—Co minerály — gersdorffit a skupina chloantit—smaltín. Podrobne zhŕňa poznatky o tomto i o iných problémoch Ni—Co rúd vo svojej obsírnej práci Krutov (1959). Z hľadiska chemického zloženia ide o kolísanie obsahu prvkov Ni—Co—Fe. Z hľadiska genetického sú viaceré príčiny vzniku zonárnosti: 1. zvláštne podmienky rytmického

* G. Halahyiová-Andrusovová, C. Sc., Katedra mineralógie a kryštalografie Prírodovedeckej fakulty UK, Gottwaldovo nám. 2, Bratislava.

uloženia kryštalickej fázy z roztokov menlivého zloženia, 2. proces nahradzovania, 3. rozpad pevných roztokov, 4. rekryštalizácia zmesí arzenidového gélu.

V skupine chloantit-smaltín najčastejším spôsobom vzniku zonárnosti je rekryštalizácia arzenidového gélu a tiež kolísanie Ni a Fe, ktoré vyvolávajú zmeny v štruktúrnej mriežke kolísaním hodnôt a_0 od 8,19 do 8,31 Å. Rozmedzie kolísania je ohraničené, čo sa prejavuje v striedaní zón s rôznymi fyzikálno-chemickými vlastnosťami. U gersdorffitu ide obyčajne o zonárnosť, ktorá vznikla pri rytmicom uložení kryštalickej fázy z roztokov menlivého zloženia.

Z prítomnej asociácie Ni-Co minerálov na rudných žilách v Dobšinej vyniká zonárnosťou najmä gersdorffit a chloantit. Ostatné minerály nie sú zonárne, alebo iba zriedkavo. Je nutné bližšie prediskutovať charakter zonárnosti, genetickú príčinu týchto minerálov a identitu jednotlivých zón.

1. Na prvý pohľad rovnorodý gersdorffit (prevládajúci Ni minerál dobšinských rudných žíl) už pri zväčšení 100× (mikroskop MIN-6, $F = 33,1$, 10× okulár) je zreteľne zonárny. Jasne možno študovať zóny, ich optické vlastnosti so zväčšením 353–475× (imerzia, obj. $F = 4,02$ a $F = 5,09$, okulár 15× a 20×).

Zonárnosť sa prejavuje pravidelným striedaním vrstvičiek rôznej mocnosti, odlišujúcich sa farebným odtieňom pri jednom nikole. Pravidelne sa striedajú zóny biele a sivofialové (v porovnaní s etalónom bielej farby pre odrazené svetlo). Zonárnosť je výrazná iba na okrajoch gersdorffitových idiomorfných zŕn šesťuholníkovitého prierezu a ich úlomkoch. K okrajom zŕn sa šírka jednotlivých zŕn zmenšuje (tab. XXVI, obr. 1).

Podstatné prehĺbenie v štúdiu zonárnosti dobšinského gersdorffitu prinieslo použitie fázového kontrastu na univerzálnom mikroskope MeF Reichert. Tu vyniká zonárnosť do najmenších detailov. Vidieť, že kryštáliky a zrná gersdorffitu prekonávali už počas kryštalizácie tlaky a nepatrné pohyby. Zonárne zrná, ich úlomky a pukliny sú tmelené zonárnymi vrstvičkami toho istého minerálu. Vrstvičky sú hlavne na okrajoch veľmi jemné.

Zonárnosť gersdorffitu sa dá rozlíšiť i chemickou cestou – štruktúrnym leptaním.

Vykonalí sme značné množstvo štruktúrnych leptaní, pričom sa najlepšie osvedčilo leptanie s HNO_3 1:1, ponorením do činidla na 2–5 sekúnd na hodinové sklíčko. Po uplynutí tejto doby sme nábrus umyli destilovanou vodou a pozorovali sme naleptané zóny – intenzívne naleptané, čierne, iné slabšie, svetlohnedé. Okrajové zóny zostali poväčšine nenaleptané. V mineragrafickej literatúre uvádzané činidlá, ako H_2O_2 (30 ‰) + H_2SO_4 (konc.) v pomere 1:1, KMnO_4 + H_2SO_4 (konc.) v pomere nerovnakých dielov, sa neosvedčili.

Ani voči zatlačovaniu a metasomatóze nie sú zóny rovnako odolné. Zatlačovaniu podliehajú najmä zóny, ktoré po štruktúrnom leptaní ostávajú čierne (intenzívne naleptané). Málo naleptané a nenaleptané zóny zatlačovaniu nepodliehajú, alebo podliehajú pomalšie. Nedotknuté zóny na základe mikrochemických skúšok i mikroskopických vlastností označujeme ako kobaltín, i keď nejde asi o typický kobaltín, ale o gersdorffit s vyšším obsahom Co, prípadne o Co-skutterudit (tab. XXII, obr. 2, 3, tab. XXIII, obr. 4).

Pri štúdiu Ni-Co rúd z Dobšinej J. Goll (1937) vyslovil názor, že zmeny v obsahu As, S, Co a Fe v jednotlivých zónach sú zapríčinené submikroskopickými znečisteninami chloantitu. Z týchto dôvodov sledovali sme problém mineralogickej identity gersdorffitových zón.

J. A. Dunn (1937) uvádza o gersdorffite z ložiska Bawdwin (Burma), že sa vyskytuje vo dvoch varietách: α -gersdorffit a β -gersdorffit. Tento názor potvrdzuje i Ramdohr (1960) štúdiom gersdorffitov z mnohých lokalít.

Na základe mikrochemických skúšok Dunn (1937) dokazuje, že obidve striedajúce sa zóny obsahujú Ni, As a S, lenže α forma má prebytok S a nepatrné množstvo Co. β forma sa pri porovnaní s normálnym gersdorffitom podobá chloantitu.

Pre porovnanie s údajmi Dunnovými a Gollovými sme použili metódu odtlačkov (contact-print) a predovšetkým röntgenometrickú metódu Debey-Schererovu (vykonala pg. E. Šamajová).

Urobili sme niekoľko skúšok na Ni, Co, Fe, As a S podľa metodiky opísanej viacerými autormi: Hiller (1937), Juško (1955), Volynskij (1947). Na získaných odtlačkoch, hlavne na odtlačkoch Ni vidieť, že sa na okrajoch žíliet gersdorffitu striedajú zóny s intenzívnym i slabším sfarbením po nikli. Ostatné prvky sa prejavili menej markantne. Co sa prejavil iba zriedkavo na okrajoch žíliet. Na niektorých nábrusoch vidieť nerovnomerné rozdelenie niklu bez zreteľnej zonárnosti. Podobne sme uskutočnili pokus s oxydáciou gersdorffitu v prostredí nasýtenom maximálne vodnou parou. Nasýtenosť sme kontrolovali vlhkomerom Metra. Po štyroch hodinách sa prejavila zreteľne zonárnosť (tab. XXIII, obr. 1, 3).

Rtg analýza Debey-Schererova ukazuje, že vcelku obe zóny javia zhodu difrakčných línii s tabuľkovými hodnotami gersdorffitu (tab. 1). Línie difrakcie málo naleptaných zón sa zhodujú s údajmi Michejevovými. Iba línie 1,787; 1,519; 1,427; 1,365 sú blízke hodnotám skutteruditu. Ide o zónu označovanú Dunnom ako α forma s charakterom blízkym chloantitu.

Z uvedeného vyplýva, že dve striedajúce sa zóny odpovedajú gersdorffitu. Zóny sa odlišujú menlivým pomerom izomorfných prvkov Fe—Co—Ni a kolisavým zastúpením As—S—Sb. α forma sa blíži niektorými vlastnosťami k chloantitu.

Pokiaľ ide o genézu zonárnych gersdorffitov, ide o oscilačnú zonárnosť v zmysle Edwardsovom, spôsobenú rytmickým uložením kryštalickej fázy z roztokov menlivého zloženia (v zmysle Krutovovom). Priebeh kryštalizácie gersdorffitu bol takýto: počiatočné jadrá viac-menej jednorodého gersdorffitu vznikali pri pomalejšej kryštalizácii. V neskorších fázach kryštalizácia je rýchla, s rýchlou zmenou koncentrácie prvkov v roztoku. Je to nielen rýchle striedanie jemných zón, ale aj vzájomne prerastajúce polyminerálne zmesi Ni—Co minerálov (tab. XXII, obr. 2).

Iba miestami sa nachádza pri mikroskopickom rozbere vzoriek zonárny arzenopyrit z rudných žíl karbonátovo-arzenopyritových (štôľňa Amália). Zonárnosť pozorujeme pri skrížených nikloch pri jasne odlišenom farebnom efekte jadra kryštálu a periférnych zón. Podľa optických vlastností a výsledkov spektrálnych analýz súdime, že okrajové zóny tvoria minerály zo skupiny danaitu (tab. XXVI, obr. 2, tab. XXII, obr. 4).

Zonárnosť, nie síce takú výraznú, môžeme pozorovať aj u ďalších Ni—Co arzenidov, najmä u chloantitu. Najčastejšie býva vetvičkovitý, nepravidelne prerastajúci s ďalšími minerálmi — zmesou izotropných bielych arzenidov. Lemuje okraje obličkovitých útvarov so štruktúrami poukazujúcimi na ich pôvodný koloidný charakter (tab. XXII, obr. 1, tab. XXIV, obr. 1, tab. XXIII, obr. 2).

Časté je striedanie zón pórovitého vzhľadu zatlačovaného ankeritom a belších

Tabuľka 1

Por. čís.	Michejev + NiAsS 133		GAH NiAsS		Gersdorffit tmavá zóna		Gersdorffit svetlá zóna		Poznámky
	d (tab (kX))	I/I_0	d (tab (kX))	I/I_0	d_m (kX)	I_m	d_m (kX)	I_m	
1	3,163	4							
2	2,847	6	2,83	06	2,83	07	2,846	07	
3	2,557	8	2,53	1	2,53	10	2,541	10	
4	2,332	6	2,31	083	2,31	10	2,318	10	
5	2,020	4	2,01	016	1,997	04	2,006	04	
6	1,892	2	1,90	008	1,887	01	1,895	?	
7					1,794	01	1,787	?	
8	1,725	8	1,715	1	1,701	10	1,715	10	
9	1,641	2			1,636	02	1,636	02	
10	1,582	8	1,55	016	1,568	06	1,580	06	
11	1,524	6	1,518	033			1,519	07	
12					1,416	05			
13					1,413	?	1,427	02	
14					1,336	?	1,365	?	
15	1,270		1,270	005	1,268	03	1,273	02	
16	1,249	4	1,249	016	1,233	04	1,242	04	
17	1,218	2	1,208	03	1,206	03	1,213	03	
18	1,170	4			1,153	01	1,162	02	
19	1,148								
20	1,115	2			1,105	01	1,095	07	
21	1,100	6							
22					1,087	04			
23	1,061	6			1,061	06	1,058	07	
24	1,044	4			1,033	03	1,039	04	
25	1,011	6			1,007	06	1,003	04	
26					0,948?	02	0,944	02	
27					0,934?	02	0,934	02	
28					0,922	04	0,922	04	
29					0,900	?	0,90	01	

ullmanit 1,78/8, skutterudit 1,828/9, chloantit 1,78/2

linie skutteruditu sú veľmi blízko
linie skutteruditu sú veľmi blízko
linie skutteruditu sú veľmi blízko

+ uvedená analýza NiAsS:
45,95 % As
26,97 % Ni
18,98 % S
8,22 % Fe

zón celistvejšieho charakteru. V oboch zónach sú drobučké uzavreniny gersdorffitu. I paramamelsbergit miestami tvorí zóny radiálne lúčovitých zrn a myrmetických zrastov s bielymi arzenidmi. Všetky tieto štruktúry a niektoré iné, ako napríklad štruktúra „Iadových kvetov“ nikelinu (Volynskij, 1949), svedčia o ich koloidnom pôvode (tab. XXIV, obr. 2).

Zložité zonárne štruktúry, nerovnorodý charakter chloantitu i ďalších s ním sa prerastajúcich Ni minerálov nasvedčujú, že ide o rekryštalizáciu zmesi arzenidového gélu.

Veľká rôznorodosť zonárnej stavby dobšinských Ni–Co–Fe sulfoarzenidov a arzenidov svedčí o zložitosti genézy Ni rúd.

Predovšetkým išlo o kryštalizáciu z roztokov pri kolísavom pomere jednotlivých prvkov. Menej zastúpený chloantit s typickými zonárnymi štruktúrami pre rekryštalizované gélové zmesi arzenidov býva mineralogicky spojovacím článkom medzi skutteruditom a zložitým systémom chloantit–smaltín. Na vznik

gélových arzenidových zmesí iste vplývala i okolitá bázičná hornina; z nich sa čiastočne mobilizovala časť Ni a Co pri prenikaní hydrotermálnych roztokov, asi v stave koloidnom.

To, čo sme uviedli, ako aj skutočnosť, že prevládajúcim žilným minerálom sú karbonáty a sprevádzajúca minerálna asociácia Cu a Bi sulfidov, svedčí o postmagmatickom zrudnení Ni rúd Dobšinej pri nízkych teplotách.

Neskoršie intenzívne tektonické pohyby, ktoré pôsobili v celej oblasti Dobšinej, odrazili sa nielen na rozdrobených štruktúrach a brekciách, ale i na lokálnej rekryštalizácii niektorých Ni-Co minerálov.

LITERATÚRA — ЛИТЕРАТУРА

ASTM, 1945: First supplement X-ray diffraction data cards. ASTM, Philadelphia. — Betehtin A. G. a kol., 1958: Textury i struktury rud. Gostechizdat, Moskva. — Dunn J. A., 1937: A microscopical study of the Bawdwin ores. Burma, Records of the Geol. Surv. India 7, 3. — Edwards A. B., 1954: Textures of the ore minerals and their significance. Melbourne, Austr. Inst. M. M. — Goll J., 1937: Metallografická štúdie o niklových rudách od Dobšine. Rozpravy II. tř. Čs. Akad. XLVII, 2, Praha. — Godovikov A. A., 1959: O zavisimosti parametra rešetki mineralov grupy skutterudita ot chimičeskogo sostava. Trudy min. muzeja AN SSSR, vyp. 10, Moskva. — Halahyiová-Andrusovová G., 1957: O mineralógii a paragenéze rudných žíl v Dobšinej. Sprievodca X. sjazdu Čs. spol. min. geol. — Halahyiová-Andrusovová G., 1961: Mineralogické a paragenetické štúdium rudných ložísk v okolí Dobšinej (kandidátska dizertačná práca). Archív Katedry mineralógie a kryštalografie, Bratislava. — Harcourt G. A., 1942: Tables for the identification of ore minerals by X-ray powder patterns. The Am. Min. 127, 2. — Hiller Th., 1957: Sur l'application de la méthode des empreintes à la détermination des minéraux opaques en section polie. Schweiz. Miner. u. Petrogr. Mitt. 17, 1. — Juško S. A., 1955: Metódy skúmania rúd pod mikroskopom v odrazenom svetle (preklad G. Halahyiová), SAV, Bratislava. — Krutov G. A., 1959: Mestoroždenija kobałta. Gosgeolizdat, Moskva. — Michejev V. I., 1951: Rentgenometričeskoe issledovanie jestestvennyh tri- i diarsenidov. Trudy Fedorovskoj naučnoj sesiji v sborníku „Kristalografija“, Ugletechizdat. — Ramdohr P., 1960: Die Erzminerale und ihre Verwachsungen, 3. vydanie, Akademie-Verlag, Berlin.

Do tlače odporučil K. Paděra.

Vysvetlivky k mikrofotografiám

Tab. XXII

Obr. 1. Dedičná štôlna, Tešnáky. Obličkovité, koncentrické útvary Ni-Co arzenidov a sulfoarzenidov (nikelín, pararamelsbergit, chloantit, gersdorffit, kobaltín, löllingit, arzenopyrit) v ankerite (An). Zväčš. 6×. Foto L. Osvald. Nábrus 296, uložený v archíve Katedry min. a kryšt. PF UK.

Obr. 2. Dedičná štôlna, Tešnáky. Okraje obličkových útvarov tvoria lemy kobaltínu (Co) a löllingitu (L). Zväčš. 220×. Foto L. Osvald. Nábrus 470, uložený v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 3. Dedičná štôlna, žila Martini. Po leptaní gersdorffitu s HNO₃ konc. objavujú sa nenaleptané žilky kobaltínu (Co). Zväčš. 136×. Foto L. Osvald. Nábrus 468. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 4. Terézia štôlna, Dedičná. Zrná a úlomky gersdorffitu (čierne) tmelí arzenopyrit (biely). Zväčš. 69×. Foto L. Osvald. Nábrus 288. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Tab. XXIII

Obr. 1. Dedičná štôlna, žila Martini. Zonárne žilky gersdorffitu. Zonárnosť viditeľná po oxydácii nábrusu v prostredí nasýtenom vodnou parou po dobu 4 hod. Zväčš. 69×. Foto L. Osvald. Nábrus 435. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 2. Dedičná štôlna, Tešnárký. Ni-Co sulfoarzenidy tvoria „zonárne“ agregáty intenzívne zatlačované ankeritom. Okraje tvorí kobaltín (?) a löllingit. Zväčš. 69×. Foto L. Osvald. Nábrus 469. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 3. Dedičná štôlna, žila Martini. V priestoroch medzi agregátmi gersdorffitu sú vyvinuté drobné idiomorfne kryštáliky zonárne po leptaní HNO_3 1:1. Zväčš. 136×. Foto L. Osvald. Nábrus 435. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 4. Dedičná štôlna, žila Martini. Selektívna metasomatóza gersdorffitu ankeritom. Leptané HNO_3 konc. Zväčš. 14×. Foto L. Osvald. Nábrus 132. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Tab. XXIV

Obr. 1. Dedičná štôlna, Tešnárký. Vetvičkovitý chloantit v ankerite.

Foto L. Osvald.

Obr. 2. Dedičná štôlna, Tešnárký, 1. sledná. Nikelín (sivý) obrastá idiomorfne zrná gersdorffitu (G) a koroduje ich. Foto L. Osvald. Nábrus 296. Uložené v archíve mineralógie a kryštalografie PF UK.

Tab. XXV

Obr. 1. Dedičná štôlna, Tešnárký, 1. sledná. Hrubo zrný allotriomorfný agregát pararamelsbergitu pri skrížených nikoloch. Foto L. Osvald. Nábrus 296. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 2. Dedičná štôlna, Tešnárký. Lištovité zrná pararamelsbergitu roztrúsené i miestami zonárne usporiadené v bielom izotropnom Ni-mineráli. Nikoly skrížené. Foto L. Osvald. Nábrus 296. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Tab. XXVI

Obr. 1. Dedičná štôlna, pole Martini. Fázový kontrast, Hg-lampa, zelený filter.

Zonárny gersdorffit pozorovaný s fázovým kontrastom. Pôvodné kryštáliky (jadro) s málo výraznou zonárnosťou, porušené a opäť tmelené zonárnym gersdorffitom. Zväčš. 400×. Foto L. Osvald.

Obr. 2. Štôlna Mária-Wolf, SV svah Gugla. Čiastočne idiomorfne zrná arzenopyritu (As) s periférnou zónou danaitu (?). Zväčš. 136×. Foto L. Osvald. Nábrus 142. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

Obr. 3. Dedičná štôlna, Tešnárký. Striedanie pórovitých a celistvých zón chloantitu. V celistvých zónach uzavreniny gersdorffitu. Zväčš. 220×. Foto L. Osvald. Nábrus 470. Uložené v archíve Katedry mineralógie a kryštalografie PF UK.

ГАЛШИНА ГАЛАГИЯ-АНДРУСОВА

О СТРУКТУРАХ Ni - Co - Fe СУЛЬФОАРСЕНИДОВ И АРСЕНИДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОБШИНА (СПИШКО-ГЕМЕРСКОЕ РУДОГОРЬЕ)

(Табл. XXII—XXVI)

Рудные жилы, находящиеся севернее г. Добшина, возникли в результате трех стадий минерализации. Самой типичной для этих жил является вторая, Ni—Co арсенидовая стадия с минеральной ассоциацией герсдорфит, арсенопирит, хлоантит, парараммельсбергит, никелин, леллингит, пирит и марказит в сопровождении кварца и турмалина. Встречается также кобальтин (?) — ранний член третьей Cu-сульфидной стадии, — который представляет собой продукт перекристаллизации.

Автор описывает различные типы зональности никель-кобальтовых сульфоарсенидов и арсенидов добшинских рудных жил, рассматривает вызвавшие ее генетические причины и химико-минералогический характер отдельных зон.

1. Чрезвычайно характерна зональность герсдорфита, одного из наиболее часто встречающихся сульфоарсенидов месторождения Добшина. Проявляется она правильным чередованием зон двух компонентов, белого и серо-фиолетового, различной толщины. Зональность наблюдается лишь на периферических участках зерен и кристаллов герсдорфита. Ясно различима под микроскопом при увеличении в 100 раз (сухой объект) и в 353—475 раз (иммерсия). К краям зерен и кристаллов герсдорфита толщина зон уменьшается. Пользуясь универсальным микроскопом МеФ Рейхерта и применяя метод фазового контраста, можно изучить характер зональности во всех деталях. Это дало возможность установить, что уже во время кристаллизации происходили незначительные подвижки.

Зональность изучалась и химическими методами. Четко выявились зоны после структурного травления HNO_3 1 : 1. После 2—5 секунд травления одни зоны протравлились очень интенсивно (черные), другие менее интенсивно (светло-коричневые), некоторые же совсем не протравлились. Интересно отметить закономерность между травлением и замещением более поздними минералами: те зоны, которые интенсивно травятся HNO_3 , легче претерпевали и замещение, остальные зоны, устойчивые при травлении, другими минералами не замещались.

Наиболее устойчивая при травлении зона представляет собой кобальтин, вернее герсдорфит с повышенным содержанием Co, отклоняющийся в сторону кобальтина. Изучение производилось также методом отпечатков.

Так как при изучении Ni руд Добшины Я. Голл (1937) высказал предположение, что в некоторых зонах герсдорфита имеются выделения хлоантита, была сделана попытка идентифицировать зоны герсдорфита. Идентификация опиралась прежде всего на рентгенометрический анализ методом Дебая-Шеррера. Анализ подтвердил, что оба компонента являются герсдорфитом. Одна зона, обозначаемая Данном (1937) как форма α , отклоняется к хлоантиту.

Что касается возникновения зональности, то установлено, что это результат особых условий ритмического отложения кристаллической фазы из растворов переменного состава (по Крутову 1959), так называемая „осцилляционная“, зональность Эдвардса (1955).

2. Весьма интересные структуры и зональность наблюдаются и у других Ni-Co арсенидов, чаще всего у хлоантита. Хлоантит, раммельсбергит, изредка никелин со смесью белых изотропных Ni-Co арсенидов (неопределимых) образуют типичные для коллоидов структуры (радиально-лучистый парараммельсбергит, мirmekитовые прорастания и др.), часто чередующиеся в зонах. Чередование пористых и компактных зон видно главным образом у хлоантита.

Структуры характерные для данной группы Ni минералов образовались в результате перекристаллизации коллоидных растворов.

Все сказанное выше, а также тот факт, что преобладающими нерудными минералами являются карбонаты, а сопровождающей минеральной ассоциацией сульфиды Cu и Bi говорят в пользу постмагматического низкотемпературного оруденения добшинских никелевых руд.

Тектонические движения, имевшие место во всей области Добшины, проявились не только структурами дробления и брекчиями, но и локальной перекристаллизацией некоторых минералов Ni и Co.

Пояснения к табл. XXII—XXVI

Табл. XXII

Рис. 1. Штольня Дедична, Тешнарки. Почковидные концентрические образования Ni—Co арсенидов и сульфоарсенидов (никелин, парараммельсбергит, хлоантит, герсдорфит, кобальтин, деллингит, арсенопирит) в анкерите (An). $\times 6$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 296, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 2. Штольня Дедична, Тешнарки. По краям почковидных образований видны каемки из кобальтина (Co) и деллингита (L). $\times 220$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 470, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 3. Штольня Дедична, жила Мартини. После травления герсдорфита конц. HNO_3 выступают непротравленные жилки кобальтина (Co). $\times 136$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 468, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 4. Штольня Терезия-Дедична Зерна и обломки герсдорфита (черное) сцементированы арсенопиритом (белое). $\times 69$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 288, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета.

Табл. XXIII

Рис. 1. Штольня Дедична, жила Мартини. Жилки зонального герсдорфита. Зональность обозначилась после 4-часового окисления полированного шлифа в среде, насыщенном водяным паром. $\times 69$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 435, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 2. Штольня Дедична, Тешнарки. Ni—Co сульфоарсениды образуют „зональные“, агрегаты, интенсивно замещенные анкеритом. Края образованы кобальтином (?) и деллингитом. $\times 69$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 469, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 3. Штольня Дедична, жила Мартини. Между агрегатами герсдорфита развиты мелкие идиоморфные кристаллики, на которых после травления HNO_3 1 : 1 выявилась зональность. $\times 136$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 435. — Рис. 4. Штольня Дедична, жила Мартини. Избирательное замещение герсдорфита анкеритом. Протравлено конц. HNO_3 . $\times 14$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 132, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета.

Табл. XXIV

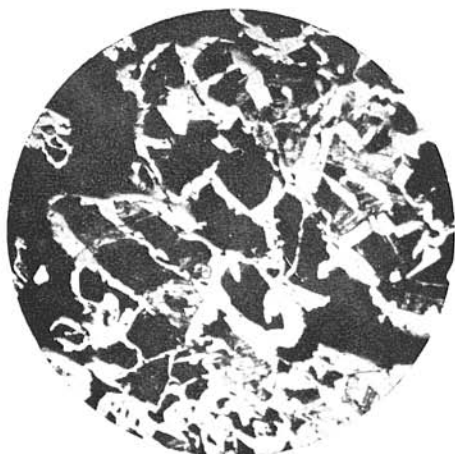
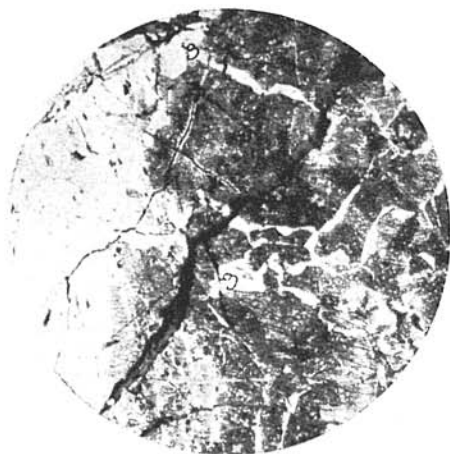
Рис. 1. Штольня Дедична, Тешнарки. Деидриновый хлоантит в анкерите. Фото Л. Освальда. — Рис. 2. Штольня Дедична, Тешнарки, штрек 1. Никелин (серое) обрастает и корродирует идиоморфные зерна герсдорфита (Г). Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 296, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета.

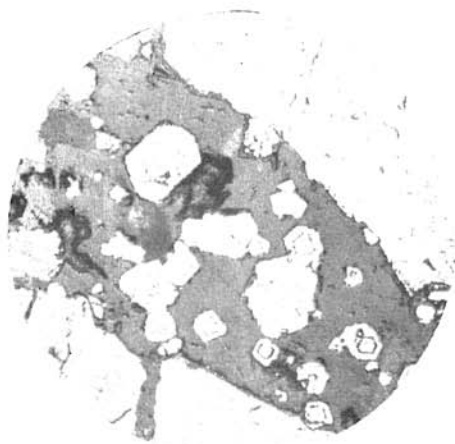
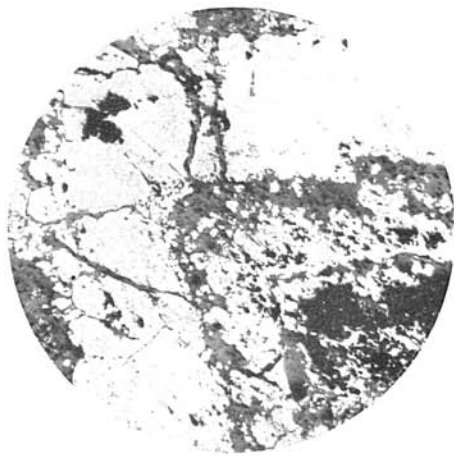
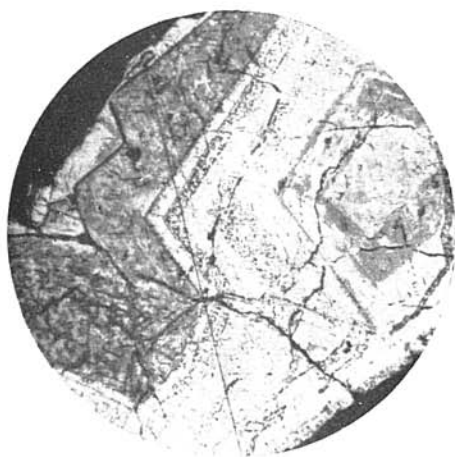
Табл. XXV

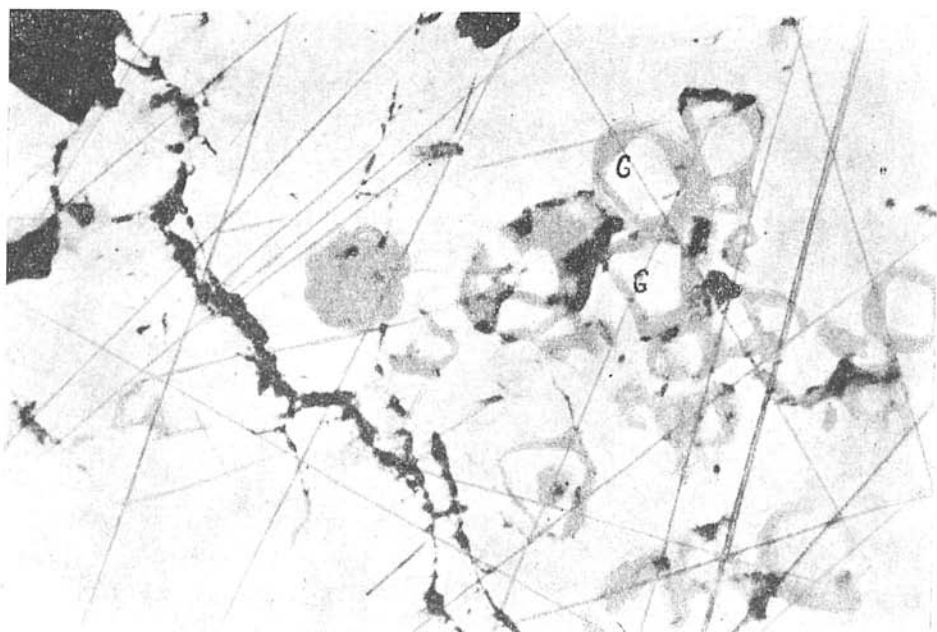
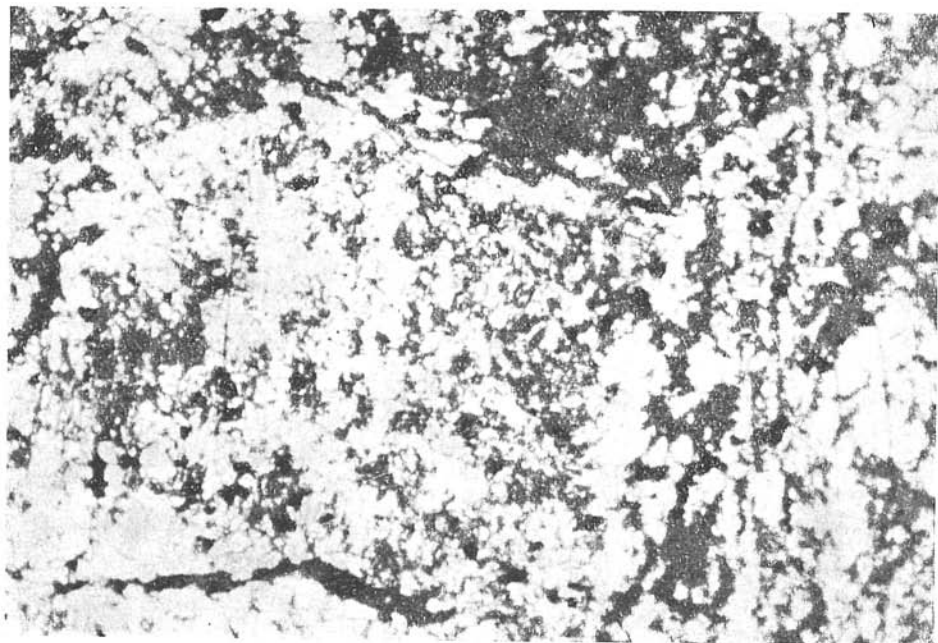
Рис. 1. Штольня Дедична, Тешнарки, штрек 1. Грубозернистый аллотрипоморфный агрегат парараммельсбергита. Николи $\times$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 296, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 2. Штольня Дедична, Тешнарки, штрек 1. Пластинчатобразные зерна парараммельсбергита рассеяны и местами зонально расположены в белом изотропном Ni-минерале. Николи $\times$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 296, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета.

Табл. XXVI

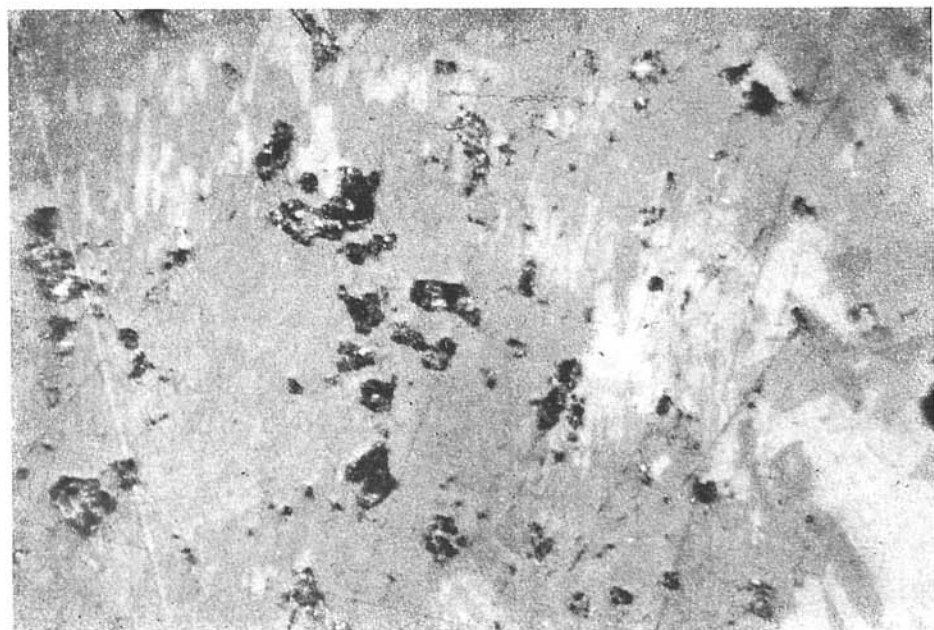
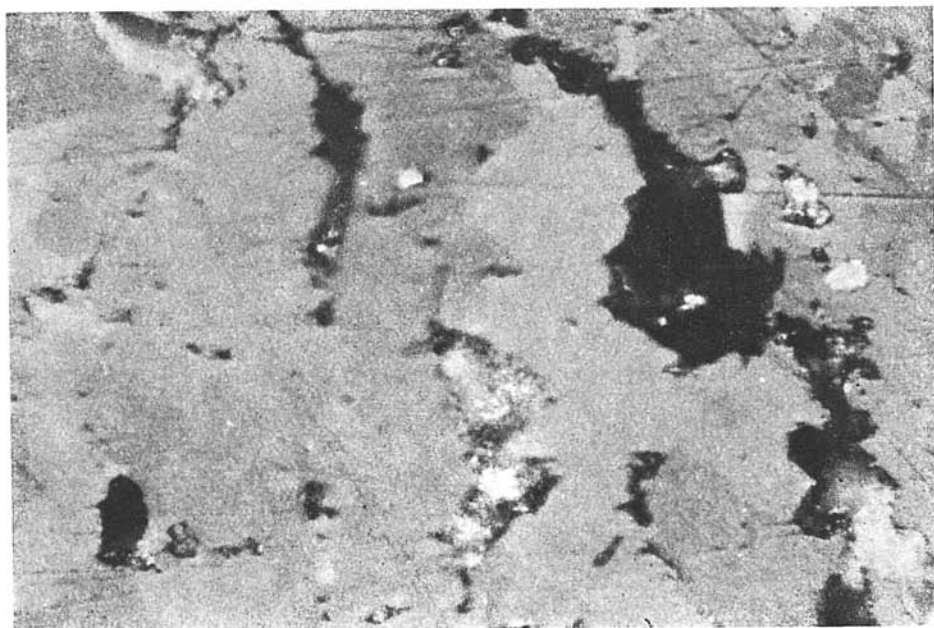
Рис. 1. Штольня Дедична, поле Мартини. Зональный герсдорфит. Первоначальные кристаллики (в центре) с неясно выраженной зональностью нарушены мелкими трещинками и вновь сцементированы герсдорфитом. Фазовый контраст, Нг-лампа, зеленый фильтр. $\times 400$. Фото Л. Освальда. — Рис. 2. Штольня Мария-Вольф, северный склон холма Гугл. Частично идиоморфные зерна арсенопирита (As) с периферической зоной дананта (?) $\times 136$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 142, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета. — Рис. 3. Штольня Дедична, Тешнарки. Чередование пористых и компактных зон хлоантита. В компактных зонах видны включения герсдорфита. $\times 220$. Фото Л. Освальда. Полированный шлиф № 470, хранящийся в архиве Кафедры минералогии и кристаллографии Братиславского университета.







Tab. XXV



Vysvetlivky pozri na str. 91

