

مشکلات موجود در آرایش کانه‌های مس پرفیری

دکتر حسین نعمت‌اللهی

دانشیار دانشکده فنی

چکیده

بخش بزرگی از مس تولیدی در جهان از منابع پرفیری تأمین می‌شود. مشخصات کلی این منابع ذخیره زیاد، عیار کم، ابعاد بیشتر کانسار در جهت افقی تا در جهت قائم، همراهی با توده‌های نفوذی استوک مانند، جانشینی پراکنده در توده‌های پرفیری یا سنگهای همبر آن، سرسیتیزاسیون و به طور موضعی سیلیسیفیکاسیون شدید است. روش آرایش کانه‌های مس پرفیری، فلوتاسیون است. مشکلات عمده‌ای که در فلوتاسیون این کانه‌ها پدید می‌آید عبارت است از: وجود نرمه، وجود پیریت بیش از حد، وجود پیریت اکسیده شده، حضور کانیهای اکسیده و اکسید شده مس، حضور انواع مختلف کانیهای سولفور مس در سنگ معدنی، تغییرات سنگ معدنی در نقاط مختلف معدن و سرانجام پارامترهای عملیاتی.

مقدمه

قسمت عمده مس دنیا از منابع پرفیری به دست می‌آید، به طوری که از حدود ۸/۵ میلیون تن تولید جهانی مس در سال، ۳/۵ میلیون تن آن از کانسارهای پرفیری است. با توجه به اهمیت کانسارهای مس پرفیری در تولید مس، در این مقاله مسائل و مشکلات آرایش این نوع کانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- مشخصات کانسارهای مس پرفیری

مشخصات اولیه کانسارهای مس پرفیری به شرح زیر است (۱)، (۲):
- بیضوی شکل و یا به شکل استوانه‌ای و همچنین سفره مانند با ابعاد بیشتر از یک کیلومتر،
- عیار کم (چند دهم درصد مس و چند صدم مولیبدن)،
- ذخیره زیاد (چند صد میلیون تن)،
- همراهی با توده‌های نفوذی استوک مانند از نوع کوارتز-مونزونیت، کوارتز-دیوریت،
- جانشینی پراکنده در توده پرفیری یا سنگهای همبر آن،
- کانیهای اولیه مشابه،
- سرسیتیزاسیون و به طور موضعی سیلیسیفیکاسیون شدید،
- کم و بیش غنی سازیهای سوپرژن توسعه یافته.
- قابلیت استخراج در مقیاس بزرگ و با هزینه کم.
۲- مشکلات موجود در فلوتاسیون کانه‌های مس پرفیری
هر چند کانه آرائی هر سنگ معدنی مشکلات خاص خود را دارد و باید آن را بطور مستقل بررسی کرد، لیکن

مشکلات عمده‌ای که در فلوتاسیون پرفیرهای مس بروز می‌کنند ناشی از عوامل زیر هستند:

- تنوع کانیهای تشکیل دهنده سنگ معدنی و اختلاف خواص آنها،
- مشکلات ناشی از نارسا بودن روش آرایش پیش‌بینی شده،
- کیفیت آب مصرفی،
- شرایط جوی.

الف - رسها و نرمه‌ها

بخشی از نرمه که بصورت اولیه در سنگ معدنی وجود دارد قابل کاهش نیست، حال آنکه مقدار نرمه‌ای که در طی مراحل خرد کردن حاصل میشود، با اصلاح روش خرد کردن قابل کاهش است.

مشکلاتی که رسها و سایر نرمه‌ها در محیط پدید می‌آورند عبارتند از:

- چسبیدن بر روی سطح کانیهای سولفور،
- نامناسب کردن خواص فیزیکی پالپ،
- تغییرات در ترکیب یونی پالپ و جذب مواد شیمیایی مورد مصرف.

میزان تأثیر سوء نرمه بر روی فلوتاسیون بستگی به میزان خرد کردن سنگ معدنی و نوع کانیهای کانگ دارد (۳). اثر نرمه‌های سرسپیت کمتر از کائولینیت و اثر هر دو آنها کمتر از رسهای مونت موریلونیتی است. نرمه‌ها به ویژه کائولینیت و رسهای مونت موریلونیتی باعث افزایش غلظت و ویسکوزیته پالپ میشوند. رسها تمایل به جذب آب و کواگولاسیون دارند. مقدار آب جذب شده، برای کائولینیت ۵۰٪ و برای مونت موریلونیت ۷۰٪ وزن آنهاست. افزایش ویسکوزیته باعث کاهش تحرک ذرات در محیط و همچنین

کاهش حبابهای هوای ورودی به پالپ در ماشین‌های فلوتاسیون میشود.

مشخصات محیط نیز ممکن است باعث افزایش بیشتر ویسکوزیته محیط شود. به عنوان مثال اگر pH محیط، نزدیک نقطه بار صفر کانی تشکیل دهنده نرمه باشد، در اثر کواگولاسیون ذرات نرمه، ویسکوزیته محیط افزایش می‌یابد. همچنین افزایش یون آلومینیوم و همچنین کلرور آهن به محیط، باعث کواگولاسیون نرمه میشود. با افزایش بعضی مواد شیمیایی مثل سیلیکات سدیم و سولفور سدیم می‌توان به تفرق ذرات و کاهش ویسکوزیته پالپ کمک کرد. لازم به یادآوری است که بعضی از متفرق کننده‌ها از قبیل دکستروزین، نشاسته و هگزامتافسفات باعث بازداشت سولفورهای مس می‌شوند و لذا برای این کار مناسب نیستند (۴)، هر چند در یکی از معادن برزیل استفاده از نوعی دکستروزین مشتق شده از ذرت، تأثیری به مراتب بیشتر از سیلیکات سدیم در تفرق و بازداشت کانگ داشته است (۵).

بر مبنای مطالعاتی که گروتسکی (۳) انجام داده است، با افزایش قسمتی از بخش دانه درشت باطله به پالپ ورودی به سلول‌های فلوتاسیون میتوان عیار و بازده محصول پر عیار شده را بهبود بخشید.

یکی از مشکلات ناشی از وجود نرمه‌ها، جذب شدید کلکتور مصرفی است، به طوری که حتی با افزایش خیلی زیاد کلکتور در محیط نیز نمی‌توان میزان جذب شده بر روی نرمه‌ها را جبران کرد، بلکه این امر منجر به احتمالاً "فلوکولاسیون غیر انتخابی نرمه‌ها و کاهش بازیابی مس می‌شود. این امر با افزایش طول زنجیر کربوری کلکتور مصرفی، تشدید می‌شود. لذا در آرایش کانه‌های مس حاوی

می‌شود که آهک، بازدارنده خوبی برای پیریت است. تأثیر آن بر روی کالکوپیریت نیز مشابه است ولی شدت آن تفاوت دارد.

به روش فلوتاسیون معکوس نیز میتوان پیریت اضافی را حذف کرد. بعنوان مثال، در کانه‌ای از مس، سرب، روی و نقره، ابتدا پیریت و پیروتین به روش فلوتاسیون از سنگ معدنی جدا شده‌اند (۸).

پیریت اکسیده و یا فعال شده

جدا کردن انتخابی کانیهای سولفور مس و پیریت از یکدیگر در بسیاری از حالات به علت اکسیده شدن پیریت و سپس فعال شدن آن توسط یونهای مس و یا فعال شدن پیریت غیر اکسیده دشوارتر می‌شود. با افزایش عمق معدن، مشکل فعال شدن پیریت کاهش می‌یابد. از میان روشهای مختلفی که برای مقابله با این مشکل وجود دارند، مؤثرترین آنها عبارتند از:

- استفاده از سولفور سدیم برای کاهش سطح اکسیده و دفع یونهای مس اضافی،

- هوادهی ممتد پالپ برای کاهش فعالیت پیریت در فلوتاسیون مس و جدا شدن ژپیس از پیریت در فلوتاسیون پیریت،

- آرایش جداگانه ماسه‌ها و نرمه‌ها. در جدایش نرمه‌ها، بیشتر کانیهای اکسیده و نرمه‌های اولیه ممکن است به بخش نرمه منتقل شوند. در این حالت الزاماً باید هر یک از دو بخش را جداگانه آرایش داد، زیرا نوع مواد شیمیایی برای هر یک از دو بخش متفاوت خواهد بود.

د- کانیهای اکسیده و اکسید شده مس

چنانکه گفته شد مشکل کانیهای اکسیده تقریباً همیشه در بخشهای فوقانی کانسار وجود دارد. البته به طور قاطع

رسها، کلکتورهای (گزنتات) با زنجیر کربوری کوتاه (متل اتیل گزنتات و پروپیل گزنتات) (۶) کارآیی بیشتری دارند (۳).

افزایش مقدار زیادی سولفور سدیم به محیط، تأثیر قابل توجهی بر روی کاهش اثرات مضر رسها در فلوتاسیون مس دارد. نقش سولفور سدیم را می‌توان جذب بر روی نرمه‌ها و ممانعت از جذب کلکتور بر روی این نوع ذرات دانست.

تجربه‌های آزمایشگاهی نشان داده‌اند که پلی‌اکریلاتهایی با وزن مولکولی خیلی کم مؤثرترین بازدارنده‌های نرمه‌های کلسیت و دولومیت هستند. نقش اصلی این پلیمرها، جذب بر روی ذرات نرمه و جلوگیری از جذب کلکتور بر روی این ذرات است.

ب- پیریت بیش از حد

مشکل فلوتاسیون سنگهای معدنی حاوی کالکوپیریت - پیریت، نزدیکی شرایط فلوتاسیون این دو کانی است. برای دستیابی به محصول پرعیار شده‌ای با عیار زیاد لازم است غلظت باقیمانده قابل توجهی از آهک همراه با سیانور و یا سیانور به تنهایی در محیط وجود داشته باشد. همچنین باید درجه حرارت را در سلول‌های شستشوی نهایی افزایش داد. بازداشت پیریت برای افزایش عیار مس در محصول پرعیار شده باعث افزایش مس در محصول میانی و در نتیجه افزایش بار در گردش می‌شود. این امر باعث کاهش فعالیت فلوتاسیون کانیهای مس می‌شود. در حضور پیریت، کانیهای مس تمایل به اکسید شدن دارند. اثر بازدارندگی پیریت بر روی کانیهای مس، پس از آرایش در محیطی حاوی آهک زیاد تشدید می‌شود (۷). بر مبنای آزمایشهای انجام شده، بازیابی کالکوپیریت و کالکوزین در حضور پیریت کاهش می‌یابد. کاهش بازیابی در صورت مصرف آهک برای بازداشت پیریت، بیشتر می‌شود. با جمع‌بندی نتایج، مشاهده

آبهای زیرزمینی حمل شده‌اند، با کالکوپیریت و پیریت ترکیب می‌شوند و تشکیل کانیهای ثانویه مس را می‌دهند.

تغییر در ترکیب کانیهای مس در کانه، معمولاً بر روی سینتیک فلوتاسیون و بنابراین بازیابی و عیار محصول پرعیار شده تأثیر می‌گذارد. هر چه میزان کانیهای مس ثانویه در کانه بیشتر باشد، عیار محصول پرعیار شده نیز بیشتر خواهد بود.

در بیشتر از ۹۰٪ از کارخانه‌های آرایش مس از گزنتات‌ها استفاده می‌شود. این امر به علت کارآیی خوب و قیمت کم این گروه از کلکتورها برای انواع کانیهای سولفور مس است. در بعضی موارد استفاده توأم از دو کلکتور نتیجه کار را بهبود می‌بخشد. رایجترین گزنتات‌ها، بوتیل گزنتات است که تقریباً در ۵۰٪ موارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. کلکتورهای رایج دیگر ایزوپروپیل گزنتات، آمیل گزنتات، Z-200, S-3302 و آیروفلوتها هستند.

و- قابلیت تغییر نوع کانه

مشخصات کانه شامل ترکیب مینرالوژیکی، عیار اولیه، درجه اکسیداسیون و ابعاد کانیهای مس در سنگ معدنی ممکن است تغییر کنند. این تغییرات در درجه اول بر روی مشخصات محصول پرعیار شده تأثیر می‌گذارد. پارامترهای مهم در سنگ معدنی، درجه آزادی و میزان نسبی فلوتاسیون دانه‌های آزاد و مخلوط است. متغیرهایی که می‌توانند باعث افزایش یا کاهش میزان فلوتاسیون نسبی کانیهای سولفور مس شوند آنهایی هستند که:

- مشخصات شیمیایی پالپ را کنترل می‌کنند،

- مشخصات فیزیکی کف را کنترل می‌کنند،

با توجه به اینکه متغیرهای زیادی می‌توانند بر روی مشخصات محصول پرعیار شده تأثیر بگذارند، کنترل روش فلوتاسیون برای دستیابی به نتایج بهینه امری اساسی است.

نمی‌توان گفت که مشکل کاهش بازیابی در آرایش کانه‌های اکسیده و اکسید شده تنها ناشی از حضور خود این کانیهاست و یا اینکه ناشی از وجود نرمه و سایر عوامل جنبی می‌باشد. در بعضی از موارد این کانیها تشکیل بخش عمده مس موجود در کانه را می‌دهند. هر چند معمولاً توجه زیادی به بازیابی این کانیها نمی‌شود، لیکن می‌توان از روشهای زیر برای بازیابی آنها استفاده کرد:

- سولفوراسیون و سپس فلوتاسیون با گزنتاتها (۹)،

- استفاده از اسیدهای چرب برای فلوتاسیون کانیهای اکسیده و کربناته (۱۰)،

- استفاده از کلکتورهای کاتیونی (آمینها) برای فلوتاسیون کانیهای اکسیده و اکسید شده (۱۱)،

- استفاده از کلتان‌ها به عنوان کلکتور (۱۲)،

- حرارت دادن پالپ با افزایش گوگرد در محیط احیاءکننده که باعث سولفوراسیون سطحی کانیهای اکسیده می‌شود و سپس فلوتاسیون توسط گزنتاتها (۱۳).

از بین روشهای موجود برای آرایش کانه‌های اکسیده مس، از روش سولفوراسیون و سپس فلوتاسیون توسط کلکتورهای سولفیدریل، استفاده گسترده‌تری شده است. واکنشهای هتروژن بین محلول سولفور سدیم و کانیهای اکسیده، مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۴)، (۱۵). کنترل میزان مصرف سولفور سدیم مسئله مهمی است.

ه- حضور کانیهای مختلف سولفور مس در کانه

کانی اولیه کانسارهای مس پرفیری، کالکوپیریت است. با این وجود، بعلافت فرسایش و اکسیداسیون شدید، معمولاً کانیهای ثانویه مس (کالکوزین، برنیت، کولین) نیز تشکیل می‌شوند. با توجه به اینکه میزان آهن ناحیه اکسیده نمی‌تواند تغییر کند، یونهای مس دو ظرفیتی که به پایین تر از سفره‌های

فلوتاسیون دانه‌های میانی، نسبت دانه‌های درگیر تعیین کننده بازیابی است. دانه‌های درگیر با ابعاد یکسان حاوی مقادیر مختلفی از کانیهای با ارزش در سطح نیز با سرعتهای متفاوت فلوت می‌شوند. هر چه سرعت فلوتاسیون کمتر باشد، بازیابی نیز کمتر خواهد بود. در بیشتر حالات خرد کردن مجدد بخش میانی تنها راه برای افزایش بازیابی نهایی است. در هر صورت، در اثر عوامل زیر ممکن است تغییر میزان خرد کردن لازم باشد.

- آسیا کردن کانه‌های ترد و هوازده تولید مقدار زیادی نرمة ثانویه می‌کند.

- آسیا کردن کانه‌های نسبتاً سخت که نیاز به انرژی زیادتری برای خرد شدن دارند، ممکن است باعث شود که کانه به درجه آزادی مناسب نرسد،

- قابلیت خرد شدن متفاوت کانیهای سولفورس و آهن منجر به توزیع غیر عادی این کانیها در بار اولیه فلوتاسیون می‌شود.

جداسازی ماسه و نرمة و آرایش جداگانه آنها در طی مرحله فلوتاسیون اولیه و یا پس از این مرحله یکی از موفق‌ترین روشها برای رفع مشکلات فوق بوده است.

سینتیک فلوتاسیون

سینتیک فلوتاسیون کانیهای اولیه در یک کانه مس پرفیری (کالکوپیریت، پیریت و گانگ غیر سولفورس) به طور مشخص با یکدیگر متفاوت است. به نظر لینچ^۱ (۱۶) کالکوپیریت در هر دو مرحله فلوتاسیون (فلوتاسیون اولیه و شستشو) سریعتر از پیریت فلوت می‌شود. این خاصیت را محققان دیگری نیز قبلاً بیان کرده‌اند. بنابراین به طور نظری قسمت عمده پیریت را می‌توان به باطله انتقال داد. با وجود

انحرافهای کوچک و منظم در مشخصات کانه را می‌توان به سادگی با سیستم‌های "feed backward" اصلاح کرد که در آن یک سیستم کنترل اتوماتیک در مسیر فلوتاسیون پیش بینی شده است. با وجود این، چنین سیستم‌هایی نمی‌توانند تغییرات زیاد را در مشخصات کانه قبول کنند و برای این کار لازم است از یک مدل فلوتاسیون دینامیکی استفاده شود. مهمترین نتیجه استفاده از چنین مدلی قابلیت آن در تشخیص طبیعت تغییرات در مشخصات کانه به طور کمی است که نیاز به اصلاح دارد.

ز- پارامترهای عملیاتی

دانه بندی

با توجه به اینکه کانه به دست آمده از نقاط مختلف یک معدن ممکن است از نظر میزان خردایش لازم برای دستیابی به درجه آزادی مناسب، متفاوت باشند، خرد کردن یکسان کانه‌های استخراج شده از قسمتهای مختلف نتایج یکسانی به دست نخواهند داد. لذا بار اولیه بخش فلوتاسیون ممکن است به طور نامناسب خرد شده باشد که این امر منجر به کاهش بازیابی می‌شود. پیش‌بینی روش سریع و دقیقی برای اندازه‌گیری درجه آزادی نیز مقدور نیست.

بازدهی فلوتاسیون به ابعاد دانه‌ها بستگی دارد. در مورد کانیهای سولفورس دانه بندی مناسب به خوبی شناخته شده است. در محدوده ابعاد ۱۰ تا ۷۵ میکرون بازدهی ماکزیمم است. معمولاً در ابعاد خارج از این محدوده، بازدهی کاهش می‌یابد. ابعاد ماکزیمم قابل فلوت شدن ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون هستند که در ابعاد بزرگتر از آن دانه‌ها نمی‌توانند به راحتی فلوت شوند. بنابراین با در نظر گرفتن ابعاد بار ورودی به مسیر آسیا کردن، ابعاد خروجی، درجه آزادی و قابلیت

ماکزیمم برسند، تغییرات در ترکیب کانیهای تشکیل دهنده کانه است (۱۷). یکی از روشهای عملی برای از بین بردن تأثیر این تغییرات، کنترل مواد شیمیایی و بهینه سازی میزان افزایش آنهاست.

شرایط آسیاکردن

شرایط آسیاکردن ممکن است با دو مکانیزم بر روی آرایش کانه‌های مس تأثیر بگذارد. یکی از این مکانیزم‌ها فرسایش الکتروشیمیایی سطح در اثر برقرار شدن جریان الکتروسیسته بین کانیهای سولفور و آهن و مکانیزم دیگر ایجاد شکاف و در نهایت متلاشی شدن دانه‌های کانیها و در نتیجه تولید مقدار زیادی نرمة است. اگر خردکردن کانه بطور کامل توسط آسیای خود شکن انجام شود، مشکل واکنش بین سطح کانیهای سولفور و محیط وجود نخواهد داشت. لیکن همه کانه‌ها را نمی‌توان با آسیاهای خود شکن خرد کرد. در مراکز تحقیقاتی مشاهده شده است که آسیاکردن کانه در محیطی عاری از آهن منجر به افزایش بازیابی می‌شود.

فلوشیت غیر قابل انعطاف

در عمل فلوشیت باید به نحوی طراحی شده باشد که برای مشخصاتی از ماده مورد نظر که در آرایش آن اهمیت دارند و در محدوده‌ای که آن مشخصات تغییر می‌کنند مناسب باشد. لذا در چنین فلوشیتی در محدوده تغییرات پیش‌بینی شده می‌توان آن را اصلاح کرد لیکن اگر تغییرات بیشتر از محدوده پیش‌بینی شده باشند، آن فلوشیت نمی‌تواند بازدهی لازم را داشته باشد.

کافی نبودن طبقه بندی

پس از مرحله آسیاکردن، مرحله‌ای که دارای کمترین بازدهی می‌باشد، مرحله طبقه بندی است. رایج‌ترین نوع کلاسیفایر در آرایش کانه‌های پرفیری مس، هیدروسلیکون

این، کانیهای گانگ یعنی پیریت و کانیهای غیر سولفور به صورت دانه‌های درگیر و دانه‌های حمل شده توسط کف به محصول آراسته منتقل می‌شوند. میزان گانگ سیلیکاته منتقل شده به محصول آراسته تقریباً متناسب با میزان آب موجود در این بخش است. به علاوه سینتیک فلوتاسیون به خصوص کالکوپیریت و پیریت ممکن است در طی مراحل تهیه کانه (شامل انبار کردن، آسیاکردن و حمل و نقل کانه) در اثر تغییرات سطحی تغییر کند. دانه‌هایی که سطح آنها آلتزه شده است ممکن است، در مسیر فلوتاسیون خواص متفاوتی از خود نشان دهند و باعث تغییر عیار و بازیابی محصول آراسته شوند. پاره‌ای از عوامل ممکن است بر روی سینتیک فلوتاسیون تأثیر بگذارند و باعث سریعتر شدن سینتیک فلوتاسیون پیریت و کندتر شدن سینتیک فلوتاسیون کالکوپیریت شوند. مهمترین این عوامل عبارت‌اند از:

- قابلیت خرد شدن،

- توزیع دانه بندی،

- میزان نرمة،

- شرایط اکسیداسیون - احیای محیط،

- حضور یونهای فلزات سنگین.

در چنین حالتی فلوتاسیون پیریت و یا کالکوپیریت ممکن است بدون استفاده از فعال‌کننده‌ها و یا بازدارنده‌های قوی بسیار دشوار باشد.

مواد شیمیایی بهینه نشده

هرچند تعداد مواد شیمیایی مورد مصرف در فلوتاسیون کانه‌های مس پرفیری بسیار محدود و ترتیب استفاده از آنها نیز ساده و روشن است، با وجود این رعایت این ترتیب اهمیت زیادی در دستیابی به بازدهی ماکزیمم دارد. یکی از علل اساسی اینکه کارخانه‌های صنعتی نمی‌توانند به بازیابی

را در آسیا وارد می‌کنند تا آماده سازی در طول مدت زمان آسیا کردن انجام گیرد. این آماده سازی نامناسب است و در صورتی که آماده سازی در مرحله‌ای مجزا صورت پذیرد، بازیابی عملیات افزایش می‌یابد. در مواردی نیز که از سولفور سدیم برای سولفوراسیون استفاده شده است که آماده سازی طولانی باعث کاهش بازیابی مس شده است.

است. در نتیجه بازدهی کم طبقه‌بندی، به خصوص در حالت کانه‌های حاوی نرمة، ممکن است نیاز به دو مرحله طبقه‌بندی باشد.

آماده سازی

یکی از عواملی که در مورد کانه‌های مس پرفیری کمتر بررسی شده است، زمان آماده سازی است. اکثراً، کلکتور

فهرست منابع:

- 1- BATEMAN, A.M.; " Economic Mineral Deposits" , John Wiley & Sons, New York, 1950, 486 pp.
- 2- SUTULOF, A.; "Copper Porphyries" , The University of Utah Printing Services, Salt Lake City, UT, 1974, 53pp.
- 3- GORODETSKI, M.I.; et al. "Increase in Flotation Recovery of Porphyry Copper Ores at the Balkhash Concentrator", Proceedings, 10th International Mineral Processing Congress, London, 1973, Paper 42.
- 4- MALGHAN, S.G.; Treatment Methods for Difficult - to - float Copper Porphyry Ores, Mining Engineering, Vol. 38, No.9, 1986,pp. 905-910.
- 5- PEREIRA, C.E; ALVARES DA SILVA, M.L.F.; PERES , A.E.C; The Utilization of a Corn Starch Derivative as a Gangue Depressant in Sulfide Copper Flotation ,XVI International Mineral Processing Congress, Stockholm, 1988, pp.1255-1265.
- 6- NEMATOLLAHI, H.; "Treatment Methods of Copper Ores", Memoirs of the Faculty of Engineering, No. 53, 1993, pp. 149-155.
- 7- PORFIREVA, N.I.; et al., "Improving the Flotation Technology for copper-Pyrite Ores From the Kal'makyr Deposit", Tsvetnye Metally/Non-ferrous metals, UDC 622. 765-343, pp. 75-76.
- 8- NEUMANN,G.W.; "Upgrading Brunswick's Concentrates" Engineering and Mining Journal, Vol. 171, No.5, 1970, pp.78-79.
- 9- REY, M.; "Memoirs of Mining and Process Metallurgy: 1- Flotation of Oxidized Ores", Transactions, Institute of Mining & Metallurgy, 1979, pp. C245 -C250.
- 10- DE CUYPER, J.; "Flottation of copper Oxides Ores" , Erzmetall., Vol. 30, 1977, pp.88-94.
- 11- ROBERT, D.; "Flottation de la Malachite aux Amines sans Deschlammage", Industrie Minerale, Mineralurgie, No.3, 1973, pp.179-191.

- 12- NAGARAY, D.P.; SOMASUNDARAN, P.; "Commercial Chelating Extractants as Collectors for Flotation of Copper Minerals Using LIX Reagents", Paper Presented at the SME-AIME meeting, Atlanta, 1977.
 - 13- STOCHURSKI, J.; "Flotation of Oxidized Minerals of Zinc and Lead after Heat Treatment of Ores", Arch. Gom., Vol.22, No.4, 1977, pp. 427-441.
 - 14- CASTRO, S.; GOLDFRAB, J.; LASKOWSKI, J.; "Sulfidizing Reactions in the Flotation of Oxidized Copper Minerals, I. Chemical Factors in the Sulfidization of Copper Oxide; II. Role of the Adsorption and Oxidation of Sodium Sulfide in the Flotation of Chrysocolla and Malachite", International Journal of Mineral Processing, Vol.1, No.2 1974, pp. 141-149, 151-161.
 - 15- JONES, M.H.; WOODCOCK, J.T.; "Evaluation of a Sulfideion Selective Electrode for Control of Sodium Sulfide Additions During Laboratory Flotation of Oxidized Ores", Transaction, Institute of Mining & Metallurgy, Sec. C, Vol. 87, 1978, pp. C99-C106.
 - 16- LYNCH, A.J.; et al, "Mineral and Coal flotation Circuits-Their Simulation and Control", Elsevier Scientific Publishing Co. , 1981, 21pp.
 - 17- ABRAMOV, A.A.; et al. , "Investigation of the Action of Reagents and Optimization of their Concentration in the Flotation Pulp", Proceedings, 10th International Mineral Processing Congress, London, 1973, Paper 27.
-