

Marian BROŻEK<sup>x)</sup>  
Wiktor PUDŁO<sup>x)</sup>  
Stanisława SANAK-RYDLEWSKA<sup>x)</sup>

## PORÓWNIANIE WYNIKÓW WIELOSTADIALNEGO WZBOGACANIA SIARCZKOWYCH I UTLENIONYCH RUD Zn-Pb

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano porównanie wyników wzbogacania grawitacyjnego siarczkowych i utlenionych rud Zn-Pb oraz flotacyjnego rud siarczkowych, mieszanych i utlenionych. Porównania wyników wzbogacania grawitacyjnego dokonano, opierając się na dwóch wskaźnikach: zawartość Zn w koncentracie oraz absolutny współczynnik stopnia wzbogacania, podczas gdy efektywność fletacji porównywano głównie na podstawie zawartości metali w produktach wzbogacania oraz ich uzysków.

### 1. WSTĘP

Celem badań prowadzonych w Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH nad wzbogacaniem utlenionych rud cynkowo-olowiowych jest opracowanie metody wstępnego wzbogacania tych rud przed procesem przewalowym, aby ten ostatni stał się procesem rentownym. Jak wykazuje porównanie kosztów procesów przerobowych z kosztami procesu przewalowego [1], zawartość cynku we wsadzie procesu przewalowego musi wynosić 12%, aby powyższy warunek został spełniony. Podobne zawartości wsadów do procesów przewalowych stwierdza się w zakładach zagranicznych przerabiających te rudy [2].

Badania [8-10], m.in. Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach, wskazują na znacznie trudniejsze wzbogacanie rud utlenionych Zn-Pb, niż rud siarczkowych o podobnych zawartościach metali. Ponadto wzbogacalność różnych odmian rud utlenionych jest bardziej zróżnicowana niż siarczkowych [3].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie różnic wyników wzbogacania grawitacyjnego i flotacji między najbardziej reprezentatywnymi odmianami rud utlenionych i siarczkowych.

<sup>x)</sup> Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

## 2. WYNIKI WZBOGACANIA GRAWITACYJNEGO RUD UTLENIONYCH I SIARCZKOWYCH

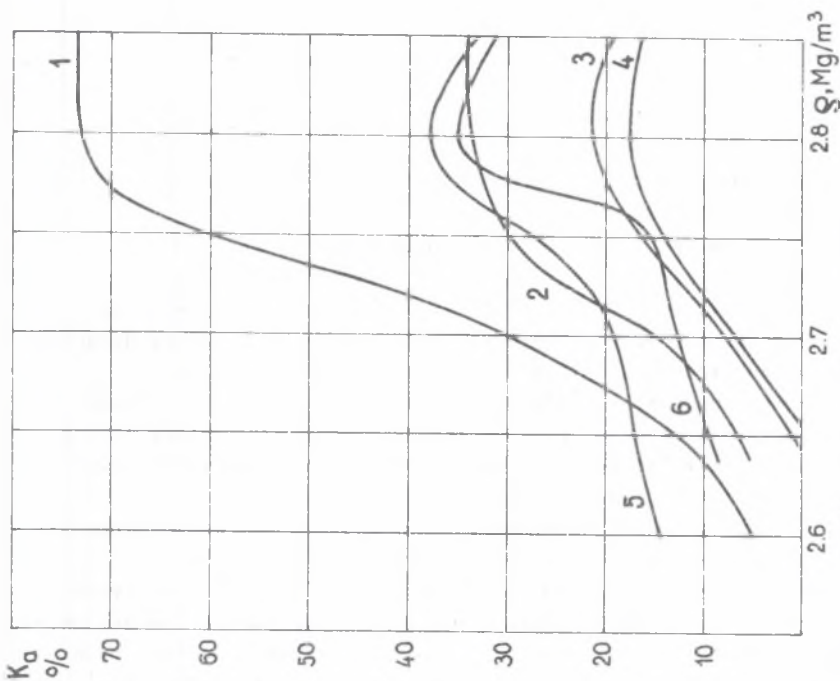
Przedmiotem analizy są wyniki wzbogacania grawitacyjnego w cieczach ciężkich czterech wybranych odmian utlenionych rud cynkowo-olowiowych, pochodzących z kopalń odkrywkowych "Ujków" i "Krażek" w Bukownie oraz rudy siarczkowej z kopalni Pomorzawy. Rudę siarczkową stanowi klasa -20 mm odsiana z rudy surowej przed wzbogacaniem oraz produkt tonący procesu wzbogacania klasy +20 mm we wzbogacalniku zawieszinowym. O takim doborze próbek rudy zdecydowało podobieństwo zawartości cynku i ołowiu w obu typach rudy. Analizowane próbki rudy skruszono poniżej 5-6 mm, odsiano klasę -0,5 mm i rozdzielano w roztworach bromoformu.

Porównania wyników wzbogacania dokonano na podstawie dwóch wskaźników: zawartości cynku w produkcie tonącym  $\beta_{Zn}$  oraz absolutnego współczynnika stopnia wzbogacania. Na rys. 1 przedstawiono zależność zawartości cynku w produktach tonących od gęstości rozdziału  $\beta_{Zn}(\rho)$ . Literą "u" oznaczono rudy utlenione a literą "s" siarczkowe. Podano również zawartość cynku w nadawie -  $\alpha$ .

Z porównania charakterystyk  $\beta_{Zn}(\rho)$  wynika, że na ogół (za wyjątkiem rudy 1) zawartość cynku w produkcie tonącym rośnie ze wzrostem zawartości w nadawie. Zbliżone zawartościami w nadawie ruda utleniona 6 oraz siarczkowa 2 mają podobne charakterystyki dla niższych gęstości rozdziału. Przy wyższych gęstościach rozdziału oba przebiegi wskazują na lepsze uwolnienie minerałów metalonośnych w przypadku rudy siarczkowej. Podobnie dla surowej rudy siarczkowej 1 i rud utlenionych 3, 4 i 5. Przy zbliżonych zawartościach w nadawie otrzymuje się znacznie lepszy koncentrat (ponad 14% Zn) dla rudy siarczkowej. Ponadto, duża stromość tej krzywej świadczy o większej niejednorodności próbki oraz większym stopniu uwolnienia minerałów rudnych. W przypadku obu rud siarczkowych widać, że zwiększenie gęstości rozdziału ponad  $2,8 \text{ Mg/m}^3$  jest niecelowe.

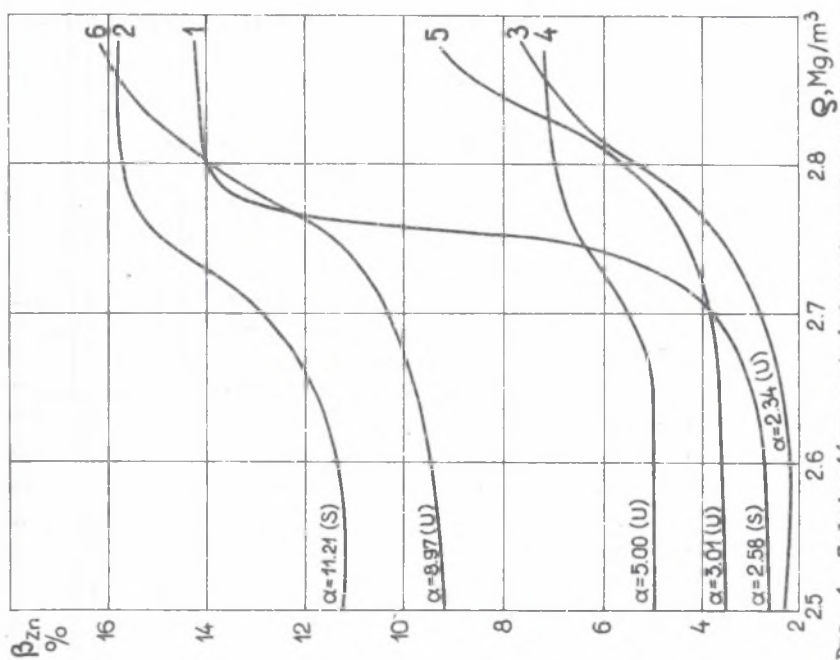
Na rys. 2 przedstawiono wykresy zależności absolutnego współczynnika stopnia wzbogacania od gęstości rozdziału. Z podanych zależności wynika, że współczynnik ten osiąga wartości maksymalne dla gęstości rozdziału  $2,8 \text{ Mg/m}^3$  i jest to optymalna gęstość rozdziału dla wszystkich rozpatrywanych rud. Stwierdzono ponadto, że nie zmienia się ona ze zmianą rozdrobnienia. Wartość tej gęstości pokrywa się z wartością wyznaczoną przy użyciu innych wskaźników. Wartość  $K_a$  dla surowej rudy siarczkowej 1 jest znacznie wyższa, niż dla odpowiadających jej rud utlenionych 3, 4 i 5, co świadczy o lepszej wzbogacalności rud siarczkowych. Ta różnica jest spowodowana słabszym uwolnieniem minerałów rudnych oraz znacznymi zawartościami żelaza (dochodzącymi do 50%) w przypadku rud utlenionych.

Rozpatrywane wyżej wskaźniki wzbogacania zmieniają się różnie dla rud siarczkowych i utlenionych ze zmianą rozdrobnienia. Przy wzroście rozdrobnienia dla optymalnej gęstości rozdziału ( $2,8 \text{ Mg/m}^3$ ) zawartość cynku w koncentracie maleje dla rud utlenionych i rośnie dla rud siarczkowych. Podob-



Rys. 2. Zależność absolutnego współczynnika stopnia wzbogacania od gęstości rozdziálu

Fig. 2. Separation efficiency vs. separation density



Rys. 1. Zależność zawartości cynku w koncentracie od gęstości rozdziálu

Fig. 1. Zinc content in concentrate vs. separation density

nie absolutny współczynnik stopnia wzbogacania rośnie dla rud siarczkowych, natomiast dla rud utlenionych maleje bądź utrzymuje się na stałym poziomie.

### 3. FLOTACJA RUD SIARCZKOWYCH I UTLENIONYCH

Struktura i tekstura utlenionych rud cynkowo-olowiowych jest niezwykle złożona. Minerale użyteczne występują jako bardzo drobne wprysnięcia; ich powierzchniowe własności są podobne do własności skały płonnej, ponadto występują izomorficzne połączenia cynku i żelaza. Ww. cechy powodują duże trudności doboru właściwej metody wzbogacania wspomnianych rud.

W Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych Akademii Górniczo-Hutniczej opracowano złożoną metodę flotacyjno-termochemiczną, dzięki której można z ubogich utlenionych rud cynku i ołowiu otrzymywać koncentraty kolektywne o wysokich zawartościach cynku i ołowiu [4-7]. Metoda ta została opisana szczegółowo we wcześniejszych pracach opublikowanych w kraju i za granicą [5-7].

Nadawa kierowana do wzbogacania tą metodą musi zawierać rozluźnione ziarna minerałów użytecznych i skały płonnej. Z uwagi na drobne okruszczenie składników użytecznych, materiał ten jest zwykle rozdrobniony do ziarn mniejszych niż 0,15 mm, z udziałem klasy  $-70\mu$  około 70% [4, 1], [1, 3].

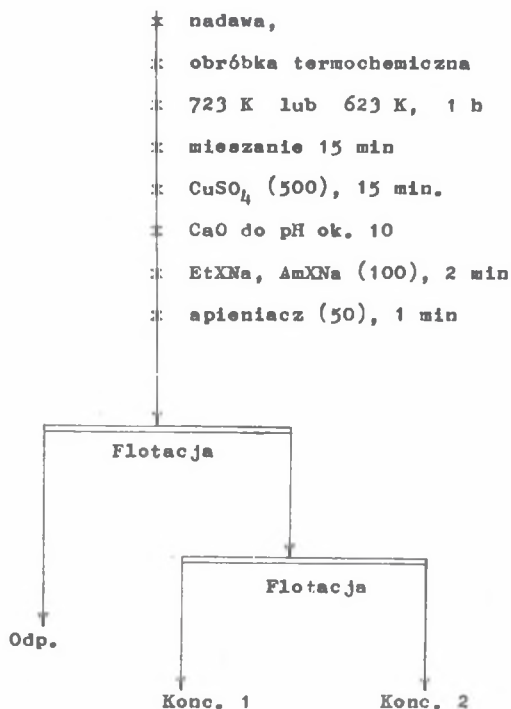
Prezentowane w pracy wyniki flotacji rud Zn-Pb dotyczą wzbogacania rud siarczkowych, mieszanych i utlenionych cynkowo-olowiowych z rejonu olkuskiego.

Ruda siarczkowa zawierała średnio ok. 4,2% Zn, w tym ok. 0,4% Zn utlenionego. Zawartość ołowiu wynosiła 1,3%, w tym ok. 30% to ołów utleniony. Całkowita zawartość żelaza nie przekraczała 7,2-7,5%. Minerale cynku i ołowiu koncentrowały się w najdrobniejszych frakcjach nadawy i dla ich zagregowania podano także wyniki flotacji ww. rud, z udziałem jednego z organicznych polielektrolitów [1]. Flotacje przeprowadzono selektywnie, wydzielając koncentraty galeny i blendy za pomocą odczynników stosowanych w przemyśle. Galenę flotowano amylovym ksantogenianem sodu ( $\text{AmXNa}$ ) w ilościach ok. 800 g/Mg a odczynnikiem pianotwórczym był ADTM+OK w ilości ok. 30 g/Mg. Do odflotowania blendy używano etylowego ksantogenianu sodu ( $\text{EtXNa}$ ) w ilości ok. 100 g/Mg, ok. 600 g/Mg  $\text{CuSO}_4$  i ok. 70 g/Mg ADTM+OK. Odczyn pH mętów regulowano wapnem do pH ok. 10,5 [4].

Ruda siarczkowo-utleniona (mieszana) charakteryzowała się zawartościami metali podanymi w pracy [5]. Wzbogacanie rudy mieszanej prowadzono dwustopniowo, odflotowując najpierw siarczki a następnie utlenione minerale cynku i ołowiu [5-7]. Wyniki wzbogacania tej rudy podano tutaj w celach porównawczych, jako przejście od rud typowo siarczkowych do rud utlenionych.

Trzecią grupę materiału wzbogacanego stanowiły galmany, które były zróżnicowane między sobą zawartością cynku, ołowiu i żelaza [1]. Rudę mie-

szaną i galmany flotowano, po uprzednim osiarczowaniu minerałów utlenionych w 673 lub 723 K z dwuprocentowymi dodatkami masowymi siarki elementarnej. Flotacje wykonywano wg schematu podanego na rys. 3, przy wyborze którego kierowano się wcześniejszymi badaniami [4, 5, 7].



Rys. 3. Schemat flotacji utlenionych rud cynkowo-ołowiowych

Fig. 3. Scheme of flotation of oxidized Zn-Pb ores

Ruda siarczkowa, flotowana odczynnikami podanymi powyżej, pozwala otrzymać produkt galeny o zawartości ok. 7% Pb, przy uzysku 60%. W produkcji blendowym zawartość cynku osiąga wartość ok. 18,4%, przy uzysku ok. 76% (tabl. 1, przykład I). Poprawę jakości produktów można osiągnąć wprowadzając do flotacji organiczny flokulant kationowy, który w ilości 2 g/Mg nadawy powoduje, iż otrzymuje się koncentrat cynku o zawartości ok. 22% Zn, i uzysku ok. 77%. Stanowi to wzrost jakości koncentratu cynku o 4% w porównaniu z flotacją bez dodatku flokulanta [1], zaś uzysk wzrasta o 2% (tabl. 1, przykład II). Podane wyniki flotacji rud siarczkowych dotyczą procesu bez stosowania dodatkowego czyszczenia koncentratów galeny i blendy.

Tabela 1

**Zestawienie wyników flotacji rud:  
siarczkowych, mieszanych i utlenionych cynku i ołowiu**

Warunki wzbogacenia	oznaczenie	y %	% zawartość Me			% uzysk Me		
			Zn	Pb	Fe	Zn	Pb	Fe
ruda siarczkowa flotacja wg schematu 1	N	100,0	4,33	1,61	7,24	100,0	100,0	100,0
AmXNa 80g/Mg	K <sub>PbS</sub>	13,55	4,80	7,12	24,50	15,02	59,92	45,85
ADTM+OK 30g/Mg pH - 7,5	K <sub>ZnS</sub>	17,79	18,33	1,85	10,10	75,31	20,47	24,79
Przykład I	O	68,66	0,61	0,46	3,10	9,67	19,61	29,36
ibid.	N	100,0	4,33	1,61	7,24	100,0	100,0	100,0
dodatek flokul.	K <sub>PbS</sub>	15,18	3,76	6,72	22,66	13,12	60,72	47,31
2 g/Mg 1	K <sub>ZnS</sub>	14,48	22,3	2,57	9,75	77,22	22,26	19,39
Przykład II	O	70,34	0,60	0,41	3,45	9,66	17,02	33,30
galman "Krażek" odsiew - 0,15 mm	N	100,0	4,00	0,45	14,9	100,0	100,0	100,0
723 K, 2% masowe S elem., wg 3	K	80,40	3,78	0,41	13,7	75,98	73,25	77,57
Przykład III	O	19,60	4,90	0,60	19,6	24,02	26,75	22,43
ibid - 0,3 mm 3	N	100,0	8,52	1,36	11,7	100,0	100,0	100,0
	K	82,7	7,05	1,56	10,9	68,43	94,86	77,04
Przykład IV	O	17,3	15,56	0,39	15,5	31,57	5,14	22,96
"Ujkw" produkt niemagn. frakcji +2,81 Mg/m <sup>3</sup>	N	100,0	17,09	10,9	31,43	100,0	100,0	100,0
	K	12,7	6,58	47,67	12,4	4,9	55,5	5,0
	O	87,3	18,63	5,55	34,2	95,1	44,5	95,0
ibid 3 673 K, wg schem. rys. 1	N	100,0	18,63	5,55	34,2	100,0	100,0	100,0
	K	69,0	23,07	3,28	23,69	85,4	40,8	50,54
Przykład V	O	31,0	8,74	10,61	51,6	14,6	59,2	49,46
ibid 3 723 K	N	100,0	18,63	5,55	34,2	100,00	100,00	100,00
	K	84,8	22,24	3,75	28,1	99,8	57,3	70,1
Przykład VI	O	15,2	0,58	15,58	67,1	0,2	42,7	29,9

W wyniku wzbogacania rud mieszanych Zn-Pb [5], otrzymano koncentrat siarczków o zawartości ok. 20% cynku, przy uzysku ok. 46% a z odpadów tej flotacji, po zastosowaniu złożonej metody wg [5, 6], otrzymano produkt kolektywny o zawartości ok. 35% cynku i uzysku ok. 52% oraz 4% ołowiu i uzysku ok. 34% [5, 7].

Kierując się zachęcającymi wynikami zacytowanymi powyżej zaadaptowano metodę flotacji poprzedzonej obróbką termiczną, do wzbogacania rud galmanowych. W materiale tym o najmniej 70% składników użytecznych występuje jako minerały utlenione Zn i Pb [1]. Niekorzystna jest również podwyższona zawartość żelaza (ok. 12-30%), które częściowo występuje w postaci siarczków, częściowo zaś jako krzemiany i izomorficzne związki z cynkiem [1, 4].

Prezentowane w tej pracy galmany stanowią produkty o ziarnistości poniżej 0,15 i 0,30 mm odsiane z rud ze złóż "Krażek" i "Ujków", poddanych operacji samomielenia. Próbki ze złoża "Krażek", poddane wzbogacaniu cytowaną metodą złożoną [5], nie ulegają wzbogaceniu (tabl. 1, przykład III). Rozkład cynku i ołowiu w produktach K i O nie jest zróżnicowany. Ten typ rudy należy uznać za trudno wzbogacalny, głównie z uwagi na wysokie zawartości żelaza i koncentrowanie się składników użytecznych w klasach bardzo drobnych [1].

Zastosowanie tego sposobu wzbogacania dla rudy "Ujków" przynosi efekt dla próbki -0,3 mm. Otrzymano produkt "O", w którym koncentracja cynku wzrosła dwukrotnie (ok. 15%) w stosunku do nadawy ( $\alpha_{Zn} - 8\%$ ), przy uzysku ok. 32% (tabl. 1, przykład IV).

Wzbogacaniu poddano także koncentrat grawitacyjny  $+2,81 \text{ Mg/m}^3$  ze złoża "Ujków", z którego wstępnie wydzielono żelazo metodą separacji magnetycznej [1, 3]. W produkcie niemagnetycznym zawartość cynku wahała się ok. 15-17% oraz 8-10% ołowiu, głównie siarczkowego. Żelazo występowało w ilości ok. 30%. Wstępnie odflotowano ołów siarczkowy i otrzymano produkt o zawartości ok. 48% Pb i uzysku ok. 56%. Odpady z tej flotacji poddano obróbce w 673 lub 723 K z udziałem 2% masowych siarki elementarnej. Flotacja materiału po obróbce w 673 K umożliwia otrzymanie dwóch produktów: jeden wzbogacony w cynk do 23%, przy uzysku 86% (tabl. 1, przykład V) oraz drugi, w którym znajduje się skoncentrowany ołów i żelazo. Wzrost temperatury do 723 K wpływa na znaczne podwyższenie uzysku produktu cynkowego do ok. 99% z 22,3%, zawartością cynku [1]. Natomiast w drugim produkcie wyraźnie wzrasta zawartość ołowiu i żelaza, zaś cynk osiąga zawartość 0,6%, co odpowiada wartości jaka jest osiągana w odpadach z bieżącej produkcji w zakładach cynkowo-olowiowych rejonu olkuskiego.

## LITERATURA

- [1] Pudło W. i in.: Opracowanie metodyki podwyższenia stopnia utylizacji tlenkowych i mieszanych rud Zn-Pb, Inst. Przer. i Wykorz. Sur. Min., AGH, etap I, Kraków 1986, ibid. etap III, Kraków 1989.
- [2] Down R.F., Turner J.: Concentration of Oxide Ores of Tynagh, Min. Eng., 22, no. 10, 1970.
- [3] Brożek M., Kijanka Z., Pudło W.: Analiza porównawcza wyników wzbogacania grawitacyjnego utlenionych rud cynkowo-olowiowych, Gosp. Sur. Mineralnymi, 5, z. 4, 1989 (w druku).
- [4] Praca zbiorowa: Analiza technologii wzbogacania rud Zn-Pb w celu podwyższenia efektywności rozdziału składników użytecznych, Inst. Przer. i Wyk. Sur. Min, AGH, Kraków 1984.
- [5] Stachurski J. i in.: Rudy Metale, R. 26, N. 5, 1981.
- [6] Stachurski J., Sanak-Rydlewska S.: Internationale Fachtagung, Freiberg 1984, DDR.
- [7] Stachurski J., Sanak-Rydlewska S.: Arch. Górń. t. 30, z. I, 1985.
- [8] Sprawozdanie nr 766/61, IMN w Gliwicach. Opracowanie metody wzbogacania utlenionych minerałów cynku z mieszanych rud siarczkowo-utlenionych.
- [9] Molicka-Haniawetz A. i in.: Sposób flotacji trudno wzbogacalnych rud ołowiu. Pat. PRL, kl. B 03D 1102, nr 93034, zgł. 22.01.1974, opubl. 15.11.1977.
- [10] Sprawozdanie nr 469/57, IMN, Gliwice. Badania nad flotacyjnym wzbogacaniem galmańców.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОСТАДИАЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ И ОКИСЛЕННЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД

Р е з ю м е

В работе показано сравнение результатов гравитационного обогащения сульфидных, смешанных и окисленных руд. Сравнение результатов гравитационного обогащения сделано на основе двух параметров: содержания цинка в концентрате и абсолютного коэффициента степени обогащения, в то время как эффективность флотации сравнено прежде всего на основе содержания металлов в продуктах обогащения и их извлечении.

COMPARISON OF MULTI-STAGE BENEFICIATION RESULTS OF SULFIDE AND OXIDIZED Zn-Pb ORES

S u m m a r y

In the paper comparison of the results of gravity concentration of sulfide and oxidized Zn-Pb ores, as well as, flotation of sulfide, mixed and oxidized Zn-Pb ores are presented.

For the comparison of the gravity concentration results two indices were used: zinc content in the concentrate and separation efficiency, whereas, the flotation was compared on the basis of content of metals and their recoveries in the products of flotation.