

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА  
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі  
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,  
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері  
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған  
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»  
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

**МАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ**

**Международной научно-практической конференции  
«Эффективные технологии производства цветных, редких и  
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической  
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,  
члена-корреспондента Академии наук РК,  
лауреата Государственной премии Республики Казахстан  
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

**PROCEEDINGS**

**of International scientific and practical conference  
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,  
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy  
science and industry concerns and in memory of well-known scientist  
of metallurgy, Associate Member of the National Academy  
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the  
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

**Алматы 2018**

**УДК 669**  
**ББК 34.3**  
**Э94**

**Ответственный редактор:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

**Жауапты редактор:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

**Редакционный совет:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**Редакциялық алқа:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»:** Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

**«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»:** Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

**ISBN 978-601-323-132-7**

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

**УДК 669**  
**ББК 34.3**

**ISBN 978-601-323-132-7**

© АО «ИМиО», 2018

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНОЙ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.09>

Ли Э.М., Янгитилавова Б.Х., \*Агибаева Н.Д., Нурболатулы А., Буханов А.Б.

Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»  
Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан, \*aiganris\_81@mail.ru

**Аннотация.** Проведенным фракционным анализом в растворах тяжелой жидкости с плотностью 2,70 г/см<sup>3</sup> и 2,90 г/см<sup>3</sup> для классов минус 5+1 мм, минус 1+0,5 мм и минус 0,5+0,1 мм установлено следующее: возможность выделения легкой фракции с выходом 38,43% с отвальным содержанием свинца 0,087%, цинка 0,124%, железа 2,848%, золота 0,52 г/т, серебра 6,62 г/т; повышение содержания металлов по сравнению с исходной рудой: свинца в 1,556 раза (с 0,482% до 0,75%), цинка в 1,51 раз (с 0,686% до 1,036%), золота 1,54 раза (с 3,88 г/т до 5,978 г/т), серебра 1,46 раз (с 24,37 г/т до 35,446 г/т); использование предобогащения позволит сократить фронт флотации до 40 %.

В продолжение исследований представленных в работе [1] предварительное обогащение руды используют для выделения отвальных хвостов, вовлечения в переработку бедных руд и подачи на действующие флотационные фабрики руды с большим содержанием металла, увеличения объемов переработки руды и выпуска концентратов без расширения фронта флотации.

Технологическая проба характеризует сульфидную золотосодержащую свинцово-цинковую руду с содержанием золота 3,65-3,88 г/т, серебра 22,0-25,0 г/т. Золото находится в руде в виде дисперсных образований в основном в пирите. Наряду с золотом, серебром промышленно-ценными минералами являются сфалерит и галенит. Содержание цинка составляет в средней пробе 0,63-0,70%, свинца – 0,40-0,50%. Сопутствующими сульфидными минералами являются пирит, составляющий в средней пробе около 3,0-3,4% и арсенопирит 0,7-0,8%. В знаковых содержаниях присутствуют минералы меди, блеклая руда.

В таблице 1 приведены результаты рационального анализа на золото и серебро.

Таблица 1 - Результаты рационального анализа золота и серебра

Формы ассоциации золота и серебра	Содержание, г/т		Распределение, %	
	Au	Ag	Au	Ag
Свободное и в открытых сростках, цианируемое	3,01	13,36	82,47	53,94
Покрытое пленками гидроксидов железа	0,12	4,99	3,29	20,14
Ассоциированное с сульфидами (II цианирование)	0,456	1,68	12,49	6,78
В пустой породе (ассоциированные с породой и рудными минералами не вскрытые при данной степени измельчения и недоступных растворяющему действию кислот)	0,064	4,74	1,75	19,14
Итого	3,65	24,77	100,0	100,0

По результатам рационального анализа основное количество золота и серебра свободное и в открытых сростках.

Для определения возможности применения предобогащения, пробу руды подвергают фракционному анализу, основной задачей которого является количественная оценка распределения свободных минеральных зерен и сростков по фракциям различной плотности и крупности. Такое распределение характеризует возможность разделения исходной пробы руды на обогащенный и объединенный продукты, качества и выхода которых определяются количеством сростков с различным соотношением в них разделяемых минералов [1].

Для фракционного анализа большое значение имеет гранулометрический состав руды и распределение металлов по классам крупности.

В таблице 2 приведены результаты гранулометрического анализа и распределение свинца, цинка, железа, золота, серебра по классам крупности.

Таблица 2 - Результаты гранулометрического анализа класса минус 5+0 мм

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание, %					Распределение, %				
		Pb	Zn	Fe	Au, г/т	Ag, г/т	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
- 5 + 1	63,76	0,36	0,60	6,156	4,193	20,54	46,68	55,63	64,26	68,90	53,74
- 1+ 0,5	11,67	0,54	0,774	5,93	3,577	31,11	12,79	13,16	11,32	10,76	14,90
- 0,5+0,1	15,51	0,71	0,756	6,115	3,453	25,912	22,47	17,09	15,53	13,80	16,49
- 0,1+ 0	9,06	0,98	1,07	5,99	2,80	40,00	18,06	14,12	8,89	6,54	14,87
Итого	100,0	0,492	0,686	6,11	3,88	24,37	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Из таблицы 2 следует, что с уменьшением крупности классов:

- снижаются выхода классов;
- повышается концентрация свинца, и неравномерная концентрация цинка железа, серебра в выделенных классах крупности;
- снижение концентрации золота;
- распределение элементов происходит в соответствии с выходами классов.

Из результатов гранулометрического анализа следует также, что основное количество свинца, цинка, железа, золота, серебра сосредоточено в классе минус 5+1 мм.

Фракционный анализ проводился в растворах тяжелой жидкости М-45 на фракциях с плотностью 2,70 г/см<sup>3</sup> и 2,90 г/см<sup>3</sup> для классов минус 5+1 мм, минус 1+0,5 мм и минус 0,5+0,1 мм. Результаты фракционного анализа для различных классов крупности приведены в таблице 3.

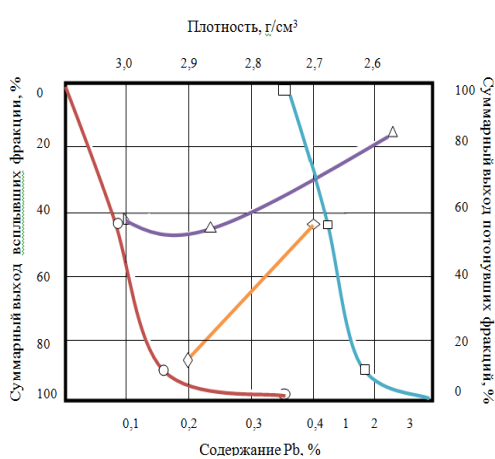
Для наглядности, по данным фракционного анализа на рисунках 1а, 1б и 1в представлены графические интерпретации результатов в виде кривых гравитационной обогатимости классов 1-5 мм, 0,5-1 мм, 0,1-0,5 мм и показывают:

- кривая всплывших фракций, зависимость между суммарным выходом всплывших фракций и содержанием в них свинца;
- кривая потонувших фракций, зависимость между суммарным выходом потонувших фракций и содержанием в них свинца;
- кривая элементарных фракций, распределение свинца по фракциям с различной плотностью.
- кривая плотностей, зависимость суммарного выхода всплывших фракций от их плотности.

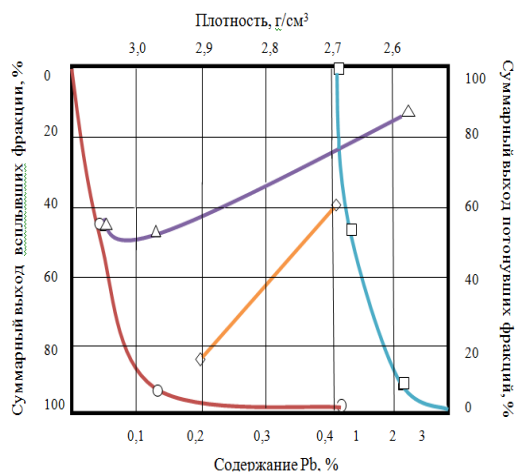
Эти кривые показывают не только о возможности применения обогащения в тяжелых средах, но и решения вопроса использования других методов, например отсадки.

Таблица 3 - Результаты фракционного анализа на пробе руды для различных классов крупности

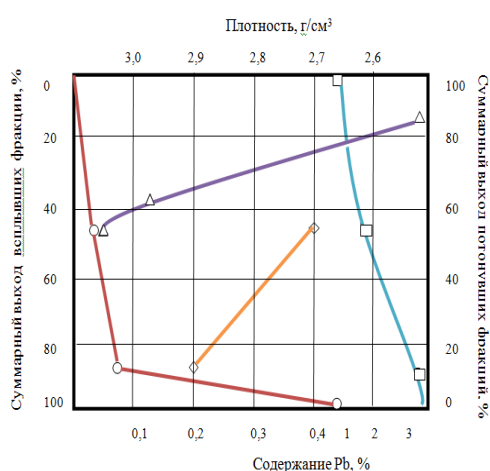
Плотность разделения, г/см <sup>3</sup>	Выход, % от		Содержание, %					Извлечение, % от класса					Извлечение, % от руды				
	класса	руды	Pb	Zn	Fe	Au, г/т	Ag, г/т	Pb	Zn	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
Класс – 5 +1 мм																	
- 2,7	41,34	26,36	0,092	0,12	3,09	0,52	4,70	10,55	8,28	20,74	5,13	9,46	4,92	4,60	13,33	3,53	5,09
- 2,90 +2,7	44,52	28,39	0,222	0,44	5,80	3,13	5,90	27,43	32,70	41,94	33,22	12,78	12,81	18,20	26,96	22,90	6,87
+ 2,90	14,14	9,01	1,58	2,50	16,25	18,29	113,0	62,02	59,02	37,32	61,65	67,76	28,95	32,83	23,97	42,47	41,78
Итого	100,0	63,77	0,36	0,598	6,15	4,193	20,54	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	46,68	55,63	64,26	68,90	53,74
Класс – 1 +0,5 мм																	
- 2,7	41,80	4,88	0,059	0,23	2,32	0,40	15,70	4,58	12,41	16,35	4,67	21,10	0,59	1,63	1,85	0,50	3,14
- 2,90 +2,7	42,60	4,97	0,171	0,31	5,41	2,25	11,70	13,51	17,06	38,87	26,79	16,02	1,73	2,25	4,40	2,88	2,39
+ 2,90	15,60	1,82	2,83	3,50	17,02	15,72	125,40	81,91	70,53	44,78	68,54	62,88	10,47	9,28	5,07	7,38	9,37
Итого	100,0	11,67	0,54	0,774	5,93	3,577	31,11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	12,79	13,16	11,32	10,76	14,90
Класс – 0,5 +0,1 мм																	
- 2,7	46,35	7,19	0,042	0,068	2,32	0,60	7,50	2,74	4,19	17,58	8,05	13,41	0,61	0,72	2,73	1,11	2,21
- 2,90 + 2,7	37,34	5,79	0,134	0,25	5,22	1,20	3,60	7,02	11,90	31,86	12,97	5,19	1,59	2,11	4,95	1,79	0,86
+ 2,90	16,31	2,53	3,94	3,87	18,95	16,72	129,30	90,24	83,91	50,56	78,98	81,40	20,27	14,26	7,85	10,90	13,42
Итого	100,0	15,51	0,71	0,756	6,115	3,453	25,912	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	22,47	17,09	15,53	13,80	16,49
Класс -5+0,1 мм	-	90,94	0,443	0,648	6,12	3,987	22,81	-	-	-	-	-	81,94	85,88	91,11	93,46	85,13
Класс- 0,1 +0 мм	-	9,06	0,98	1,07	5,99	2,80	40,00	-	-	-	-	-	18,06	14,12	8,89	6,54	14,87
Исходная проба	-	100,0	0,492	0,686	6,11	3,88	24,37	-	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



а)



б)



в)

### Условные обозначения

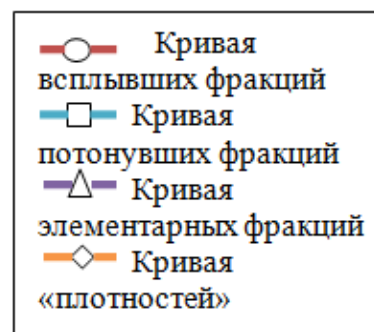


Рисунок 1 – а) Кривые гравитационной обогатимости класса -5+1 мм и б) кривые гравитационной обогатимости -1+0,5 мм, в) кривые гравитационной обогатимости -0,5+0,1 мм

В таблице 4 приведены сводные результаты фракционного анализа, а в таблице 5 – результаты после объединения тяжелой фракции, промпродукта и класса минус 0,1 + 0 мм. Объединенный продукт является питанием флотации.

Таблица 4 – Суммарные показатели легкой фракции, промпродукта и тяжелой фракций

Фракции	Выход, %	Содержание, %					Извлечение, %				
		Pb	Zn	Fe	Au, г/т	Ag, г/т	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
Легкая фракция	38,43	0,078	0,124	2,848	0,52	6,62	6,12	6,95	17,91	5,14	10,44
Пром. продукт	39,15	0,203	0,395	5,665	2,733	6,296	16,13	22,56	36,31	27,57	10,12
Тяжелая фракция	13,36	2,20	2,896	16,87	17,64	117,878	59,69	56,37	36,89	60,75	64,57
Кл. -0,1 +0 мм	9,06	0,98	1,07	5,99	2,80	40,00	18,06	14,12	8,89	6,54	14,87
<b>Исходная руда</b>	<b>100,0</b>	<b>0,482</b>	<b>0,686</b>	<b>6,11</b>	<b>3,88</b>	<b>24,37</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Таблица 5 – Суммарные показатели после объединения тяжелой фракции, промпродукта и класса минус 0,1 + 0 мм

Фракции	Выход, %	Содержание, %					Извлечение, %				
		Pb	Zn	Fe	Au, г/т	Ag, г/т	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
Легкая фракция	38,43	0,078	0,124	2,848	0,52	6,62	6,12	6,95	17,91	5,14	10,44
Питание флотации	61,57	0,75	1,036	8,144	5,978	35,446	93,88	93,05	82,09	94,86	89,56
<b>Исходная руда</b>	<b>100,0</b>	<b>0,482</b>	<b>0,686</b>	<b>6,11</b>	<b>3,88</b>	<b>24,37</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Результаты приведенные в таблице 5 свидетельствуют о том, что преобогащением можно выделить легкую фракцию составляет с содержанием свинца 0,078%, цинка 0,124%, железа 2,848%, золота 0,52 г/т, серебра 6,62 г/т. Потери с легкой фракцией составляют свинца 6,12%, цинка 6,95%, золота 5,14%, серебра 10,44%, при выходе легкой фракции 38,43%;

Тяжелая фракция совместно с промпродуктом и класса минус 0,1 + 0 мм являются питанием флотации. Можно предположить, что в результате использования преобогащения возможно сокращения фронта флотации до 40 %.

*Выводы.* Проведенным фракционным анализом в растворах тяжелой жидкости М-45 на фракциях с плотностью 2,70 г/см<sup>3</sup> и 2,90 г/см<sup>3</sup> для классов минус 5+1 мм, минус 1+0,5 мм и минус 0,5+0,1 мм показано, что: преобогащением можно выделить легкую фракцию выходом 38,43% с отвальным содержанием свинца 0,087%, цинка 0,124%, железа 2,848%, золота 0,52 г/т, серебра 6,62 г/т; - увеличиваются содержания металлов в питании флотации по сравнению с исходной рудой: свинца в 1,556 раза (с 0,482% до 0,75%), цинка в 1,51 раз (с 0,686% до 1,036%), золота 1,54 раза (с 3,88 г/т до 5,978 г/т), серебра 1,46 раз (с 24,37 г/т до 35,446 г/т). В результате использования преобогащения возможно сокращения фронта флотации до 40 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шалгымбаев С.Т., Ниязов А.А., Ли Э.М., Аскарлов А.Ш. Особенности вещественного состава золото-полиметаллической руды месторождения «Гагаринское» // Матер. Межд научно-практ. конф. «Инновации в комплексной переработке минерального сырья. – Караганда, 2018. – С 156-163.

2. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1981.

3. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследования руд на обогатимость. – М.: Недра, 1974.

#### INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF PRE-ENRICHMENT SULPHIDE GOLD-POLYMETAL ORE

**Li E.M., Yangitilivova B.Kh., \*Agibaeva N.D., Nurbolatuly A., Bukhanov A.B.**

State Research and Production Association of Industrial Ecology “Kazmekhanobr”,  
the Branch of the Republican State Enterprise “National Center for Comprehensive  
Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan,  
\*aiganris\_81@mail.ru

**Abstract.** *The fractional analysis was carried out in heavy liquid solutions with a density of 2.70 g / cm<sup>3</sup> and 2.90 g / cm<sup>3</sup> for classes of minus 5 ± 1 mm, minus 1 + 0.5 mm and minus 0.5 ± 0.1 mm, it was established: the possibility of isolating a light fraction with a yield of 38.43% with a leaded lead content of 0.087%, zinc 0.124%, iron 2.848%, gold 0.52 g / t, silver 6.62 g / t; an increase in the metal content compared with the initial ore: 1.556 times lead (0.482% to 0.75%), zinc 1.51 times (from 0.686% to 1.036%), gold 1.54 times (from 3.88 g / t up to 5.978 g / t), silver 1.46 times (from 24.37 g / t to 35.446 g / t); the use of pre-enrichment will reduce the flotation front to 40%.*