

УДК 622.485:622.012

# ПОДГОТОВКА ОБОРОТНОЙ ВОДЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ НИКОЛАЕВСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

**К. М. АРУСТАМЯН<sup>1</sup>**, зав. лабораторией новых методологий во флотационном процессе, [K\\_Arustamyan@rivs.ru](mailto:K_Arustamyan@rivs.ru)  
**С. А. РОМАНЕНКО<sup>1</sup>**, ведущий инженер-технолог

<sup>1</sup> ЗАО «НПО «РИВС», Санкт-Петербург, Россия

## Введение

Как известно, на многих обогатительных фабриках применяется оборотное водоснабжение. Значение оборотной воды в технологическом процессе является весьма существенным; ее химический состав зависит от применяемой технологической схемы, вещественного состава перерабатываемых руд, обусловлен номенклатурой и расходом применяемых реагентов. Проблема подбора требуемого состава оборотной воды является весьма актуальной для горно-обогатительных предприятий [1–7]. Именно по этой причине ЗАО НПО «РИВС» уделяет большое внимание подготовке оборотной воды.

Ниже рассматриваются исследования, выполненные компанией на Николаевской обогатительной фабрике (НОФ). Предприятие перерабатывает полиметаллическую руду Артемьевского месторождения и медно-цинковую руду Юбилейно-Снегирихинского месторождения; в последнее время вовлекается в переработку медная руда еще с одного объекта.

## Методика и результаты исследований

Разработанной ЗАО НПО «РИВС» технологией обогащения руд текущей добычи предусматривается следующий порядок использования оборотной воды хвостохранилища в технологическом процессе: 100%-ный водооборот при обогащении медно-цинковой и медной руд и 95%-ный водооборот при переработке полиметаллической руды (в отдельные технологические операции направляется свежая вода).

**Таблица 1. Состав оборотной воды НОФ по сезонам**

Время года	рН	СаО, мг/л	Жесткость, мг-экв/л	Содержание, мг/л						
				Сu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	BtX
Зима 2013–2014 гг.	12,5	364–1000		0,45	0,79		557	24,3	2077	
Зима 2014–2015 гг.	12	560–750	36,2	0,43	1,66		716	6,99	1660	2,65
Лето 2013 г.	9,8	84		0,29	0,04		364	1,22	2090	
Лето 2014 г.	11,6	134	25,4	0,05	0,14		495	7,55	2077	6,31
Весна 2015 г. (апрель)	12,6	658	29,4	0,03	0,29	0,78	583	4,17	1617	6,05

Рассматривается способ подготовки оборотной воды с оптимизацией ее солевого состава, что позволяет повысить сквозное извлечение металлов на обогатительной фабрике.

**Ключевые слова:** оборотная вода, флотация, водоподготовка, система автоматического контроля, нейтрализация, комплекссообразование, биметаллическая пара, электрохимический потенциал.

**DOI:** [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.11](https://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.11)

Оборотная вода, сформированная в ходе эксплуатации обогатительной фабрики, содержит высокие концентрации минеральных комплексов, таких, как [Fe(OH)X]X<sup>-</sup>, [Zn(OH)X]X<sup>-</sup>, которые являются носителями ксантогената и в случае распада на стадии обогащения нарушают селективность технологического процесса [8].

На достижение технологических показателей влияет и сезонный фактор, который напрямую связан с электрохимическими процессами, протекающими в хвостохранилище, в зависимости от периода времени года.

Усредненный сезонный состав оборотной воды за период 2013–2015 гг. приведен в **табл. 1**. Разный солевой состав оборотной воды НОФ в холодный и теплый периоды времени года по содержанию свободного СаО, Кх, Сu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> и других ионов, негативно влияющих на технологические процессы, связан со скоростью протекания окислительно-восстановительных реакций; так, в холодный период времени скорость их протекания значительно ниже, чем в теплый.

Кроме того, из обогащаемых на НОФ руд выщелачиваются ионы соединений — меди, цинка, свинца, железа и др. (**табл. 2**). В ионном составе водной вытяжки (из пробы руды текущей добычи) отмечена достаточно высокая концентрация катионов меди для развития процессов взаимноактивации сульфидных минералов.

**Таблица 2. Ионный состав водной вытяжки полиметаллической руды Артемьевского месторождения**

pH	Жесткость, мг-экв/л	Содержание, мг/л						Сухой остаток
		Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
7,81	1,82	0,016	0,05	0,01	31,98	2,8	198,4	420

**Таблица 3. Химический состав оборотной воды**

pH	CaO <sub>св</sub> , мг/л	Жесткость, мг-экв/л	Содержание, мг/л								
			Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Сухой остаток	VtX
<i>Исходная оборотная вода ОФ</i>											
12,1	644	28,2	0,04	0,35	1,17	0,01	564,3	1,4	1367	4164	3,12
<i>Модифицированная оборотная вода</i>											
11,8	390	28,27	0,07	0,21	0,71	0,01	571,1	5,54	1777	4352	1,9
11,5	260	30,21	0,03	0,19	0,35	0,01	598,6	1,39	2276	4656	1,6
11,1	112	29,1	0,02	0,12	0,3	0,01	571,1	8,32	2385	4820	1,08
9,1	56	34,4	0,01	0,08	0,23	0,01	680,8	5,54	2522	4904	0,89

Химический состав оборотной воды показывает наличие высокой щелочности, остаточная концентрация CaO колеблется в широких пределах от 84 до 1000 мг/л. Высокая остаточная концентрация свободного CaO способствует активации флотации цинковых минералов в голове флотационного процесса, что приводит к повышенным потерям цинка в разноименные концентраты. Высокая щелочность оборотной воды приводит к растворению гидроксида цинка и образованию цинкатов:  $Zn(OH)_2 + OH \rightarrow [Zn(OH)_3]$ . Кроме того, в известковой среде снижается извлечение благородных металлов, таких, как золото и серебро. Высокая остаточная концентрация катиона свинца (от 0,36 до 1,17 мг/л) оказывает негативное действие на технологический процесс при обогащении полиметаллической руды по селективной схеме флотации из-за протекания процессов активации поверхности сфалерита [9, 10].

Возрастание концентрации катиона свинца при увеличении pH связано с тем, что при высокой щелочности образуются комплексы  $Pb(OH)^+$ ;  $Pb(HS)_2^-$ ;  $Pb(HS)_3^-$ , которые не разрушаются в хвостохранилище. Концентрация ксантогената колеблется в широком диапазоне от 1,94 до 8,6 мг/л, повышение содержания ксантогената в оборотной воде связано с разрушением комплексов под воздействием высокой щелочности оборотной воды, а также восстановления диксантогенида до ксантогената и монотиокарбоната согласно модели [11]  $(ROCSS)_2 + 2OH^- = (ROCSS)_2 + ROCOS^- + S^0 + H_2O$ . То есть по причине высокой щелочности оборотной воды ксантогенат не разлагается и аналогично свинцовому катиону поступает в технологический процесс, что также ведет к нарушению селективности процесса и снижению технологических показателей. Дополнительным негативным фактором высокой щелочности оборотной воды является повышенная флотуемость серицитов и хлоритов, что приводит к снижению качества получаемых концентратов [12].

В силу вышеизложенного проблема качества оборотной воды на многих обогатительных фабриках так и остается нерешенной, ибо нейтрализация значительных объемов воды является крайне сложным и дорогостоящим процессом.



**Рис. 1. Технологическая схема сравнительных опытов в открытом цикле флотации медных «головок»**

В ходе исследований изучалось влияние текущей и модифицированной оборотной воды на технологический процесс НОФ. Была поставлена задача — за счет снижения концентрации свободного CaO улучшить ионный состав оборотной воды и показатели флотации. В качестве модификатора применена серная кислота (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Опыты проводили как на исходной оборотной воде с содержанием свободного CaO = 644 мг/л, так и на модифицированной воде с различным его содержанием: 390, 260, 110 и 56 мг/л. Ионный состав подготовительной оборотной воды приведен в табл. 3.

Технологическая схема сравнительных опытов в открытом цикле флотации медных головок приведена на рис. 1. Реагентный режим соответствовал режимной карте НОФ.

Качественные показатели сравнительных опытов на текущей оборотной и модифицированной воде в открытом цикле представлены в табл. 4.

Также для оценки селективности процесса при изменении остаточной концентрации свободного CaO в пульпе рассчитан по-

**Таблица 4. Показатели сравнительных опытов в открытом цикле**

Продукт	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe
<i>Опыт на текущей оборотной воде: CaO<sub>св</sub> — 644 мг/л; pH — 12,57</i>									
Св-«головка» 1+2	6,83	17,37	7,69	6,31	20,46	79,88	51,81	8,87	20,06
I основной Cu-Pb-концентрат	4,22	3,5	8,42	12,23	13,19	9,94	35,04	10,62	7,99
Хвосты Cu-Pb-флотации	88,94	0,17	0,15	4,4	5,64	10,18	13,15	80,51	71,95
Руда	100	1,49	1,01	4,86	6,97	100	100	100	100
<i>Опыт на модифицированной воде: CaO<sub>св</sub> — 390 мг/л; pH — 11,8</i>									
Св-«головка» 1+2	6,93	17,4	6,41	5,81	21,61	84,94	47,6	8,79	13,34
I основной Cu-Pb-концентрат	3,72	2,87	6,92	9,41	10,71	7,51	27,54	7,63	3,55
Хвосты Cu-Pb-флотации	89,35	0,12	0,26	4,29	10,45	7,55	24,86	83,58	83,11
Руда	100	1,42	0,93	4,59	11,23	100	100	100	100
<i>Опыт на модифицированной воде: CaO<sub>св</sub> — 260 мг/л; pH — 11,5</i>									
Св-«головка» 1+2	5,62	20,56	1,88	4,7	24,75	76,86	10,73	5,45	11,35
I основной Cu-Pb-концентрат	4,42	3,4	14,4	9,43	10,79	9,98	64,6	8,6	3,89
Хвосты Cu-Pb-флотации	89,96	0,22	0,27	4,63	11,55	13,16	24,67	85,95	84,76
Руда	100	1,50	0,98	4,85	12,26	100	100	100	100
<i>Опыт на модифицированной воде: CaO<sub>св</sub> — 112 мг/л; pH — 11,1</i>									
Св-«головка» 1+2	6,03	18,67	3,47	4,49	25,85	74,8	20,57	6,2	14,94
I основной Cu-Pb-концентрат	4,02	4,07	15,61	10,66	16,55	10,9	61,73	9,8	6,37
Хвосты Cu-Pb-флотации	89,95	0,24	0,2	4,09	9,13	14,3	17,7	84	78,69
Руда	100	1,51	1,02	4,38	10,44	100	100	100	100
<i>Опыт на модифицированной воде: CaO<sub>св</sub> — 56 мг/л; pH — 9</i>									
Св-«головка» 1+2	6,9	15,53	5,77	6,16	22,89	73,3	38,1	8,3	12,2
I основной Cu-Pb-концентрат	8,3	2,41	5,67	6,09	13,05	13,8	45,5	10	8,4
Хвосты Cu-Pb-флотации	84,8	0,22	0,2	5,52	12,02	12,9	16,4	81,7	79,4
Руда	100	1,45	1,03	5,06	12,85	100	100	100	100

**Таблица 5. Оценка селективности процесса при изменении остаточной концентрации свободного CaO в пульпе**

CaO <sub>св</sub> , мг/л	Sel	Содержание в суммарном концентрате Cu-«головок»	
		Cu	Zn
644	242	17,37	6,31
390	259	17,4	5,81
260	258	20,56	4,7
112	248	18,67	4,49
56	248	15,53	6,16

казатель селективности: Sel = извлечение меди в объединенный концентрат медных «головок» + извлечение меди в концентрат I основной Cu-Pb флотации + суммарное извлечение цинка и железа в хвосты Cu-Pb-флотации (табл. 5).

Из данных табл. 5 следует, что благодаря модификации воды достигнута высокая селективность процесса по содержанию меди и цинка в суммарном концентрате медных «головок». В целом можно считать, что использование модифицированной оборотной

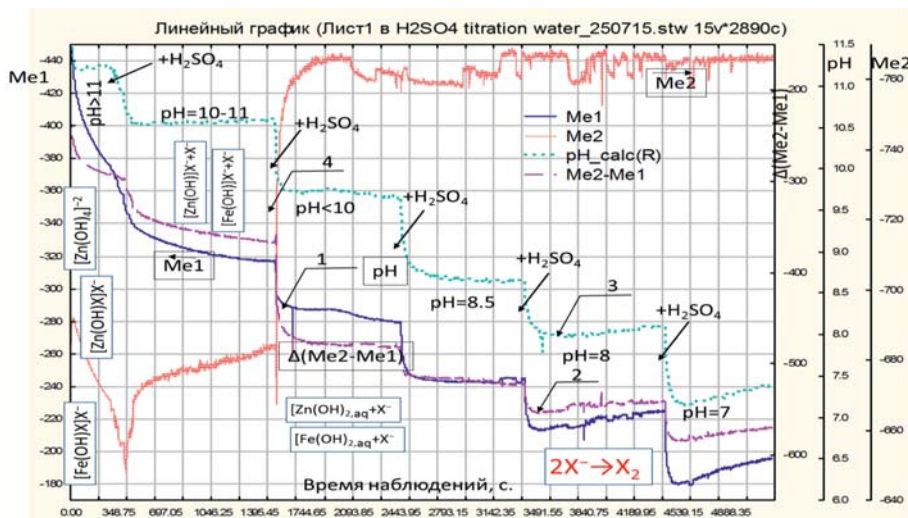
воды с концентрацией свободного CaO на уровне 260 мг/л положительно влияет на качество получаемых медных «головок». Суммарное извлечение свинца в медные «головки» снижается с 51,81 % (текущая оборотная вода с CaO<sub>св</sub> — 644 мг/л) до 10,73 % (модифицированная вода с CaO<sub>св</sub> — 260 мг/л).

Для более глубокого изучения влияния остаточного CaO на технологические показатели по флотационным операциям результаты экспериментальных данных обработаны методом факторного анализа [13].

Он подтвердил факт взаимной активации сульфидных минералов и, как следствие, нарушение селективности процесса при применении оборотной воды с высоким остаточным содержанием свободного CaO (более 300 мг/л).

Для стабилизации технологических показателей необходимо не только обеспечение оптимального солевого состава воды, используемой в технологическом процессе, но и автоматический контроль требуемых параметров при подготовке модифицированной воды.

Учитывая недостатки известных методов контроля ионного состава оборотной воды в промышленных условиях, рассмотрен-



**Рис. 2. Кинетика изменения электродных потенциалов в оборотной воде при ее титровании серной кислотой:** кривая 1 — потенциал электрода Me1, контролирующей электрохимический потенциал пульпы; кривая 2 — разница потенциалов Me2- и Me1-электродов  $\Delta(\text{Me2-Me1})$ ; кривая 3 — pH оборотной воды; кривая 4 — потенциал электрода Me2, выполняющего роль опорного электрода

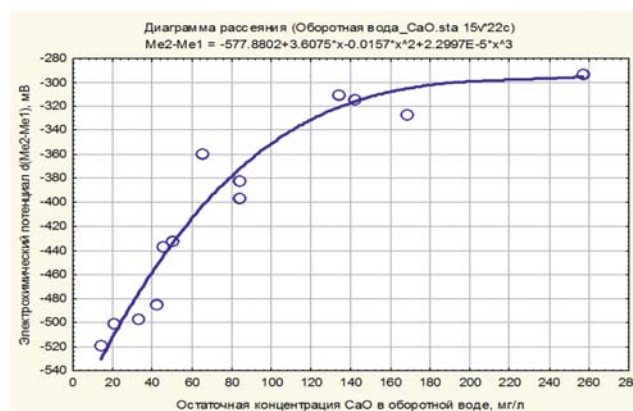
ных в литературе [14–18], авторами был разработан метод контроля, позволяющий обеспечить высокую точность измерений и надежность эксплуатации.

Для подтверждения эффективности работы предложенного метода по контролю дозировки серной кислотой в промышленных условиях выполнено титрование оборотной воды серной кислотой с применением различных электродных систем. Кинетические кривые изменения электродных потенциалов при титровании оборотной воды серной кислотой представлены на рис. 2.

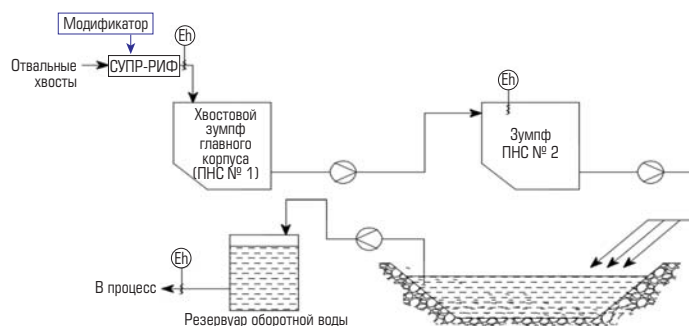
На рисунке значения потенциалов Me1 и Me2 измерены по отношению к вспомогательному хлорсеребряному электроду сравнения. Там же отмечены формы химических соединений, соответствующие различным областям оттитровки серной кислотой.

Важно отметить хорошее соответствие кривых титрования на рис. 2 по параметру водородного показателя pH и электрохимического потенциала, контролируемого электродом Me1 по отношению к насыщенному хлорсеребряному электроду сравнения. Совпадение кривых 1 и 2 подтверждает возможность применения предлагаемого способа корректировки подачи серной кислоты по разности потенциалов биметаллической электродной пары  $\Delta(\text{Me2-Me1})$ , исключающей применение классического хлорсеребряного электрода сравнения. Одновременно отмечена хорошая взаимосвязь остаточной концентрации CaO и показаний биметаллической электродной пары Me2-Me1 (рис. 3). Таким образом, доказывается эффективность применения биметаллической электродной пары Me2-Me1 для контроля электрохимического потенциала оборотной воды.

Предложенная технология водоподготовки оборотной воды для получения оптимального солевого состава положена в основу промышленной реализации на Николаевской ОФ в виде комплекса «КОНТРОЛ-ИОН». Данный комплекс обеспечивает в автоматическом режиме необходимую дозировку модификатора ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), перемешивание реагента в специальном устройстве, контроль и регулирование физико-химических свойств жидкой фазы пульпы и оборотной воды с применением биметаллических пар (АСК-РИФ). На рис. 4 представлена рекомендуемая схема технологической линии подготовки пульпы с указанием на ней



**Рис. 3. Взаимосвязь остаточной концентрации CaO и показаний биметаллической электродной пары Me2-Me1**



СУПР-РИФ — специальное устройство перемешивания реагентов производства СП ЗАО «ИВС»  
 Eh — автоматизированная станция контроля и регулирования физико-химических свойств жидкой фазы пульпы и оборотной воды с применением биметаллических пар (АСК-РИФ)

**Рис. 4. Рекомендуемая схема технологической линии подготовки пульпы в холодный период времени получения оптимального солевого состава оборотной воды**

точек установки автоматизированных станций контроля и регулирования физико-химических свойств жидкой фазы пульпы и оборотной воды.

**Заключение**

Разработанная в ЗАО НПО «РИВС» технология подготовки оборотной воды и новая система электрохимического контроля с помощью

комплекса «КОНТРОЛ-ИОН» позволит успешно решить сегодняшние проблемы на Николаевской ОФ и повысить сквозное извлечение всех металлов, исключая влияние сезонного и других негативных факторов.

**Библиографический список**

1. *Ikumapayi F. K., Makitalo M., Johansson B., K. Hanumantha Rao.* Recycling process water in complex sulphide ore flotation // XXVI International Mineral Processing Congress. (IMPC) : Conference Proceedings. — New Delhi, India, 2012. Book 2. Paper 691. P. 4411.
2. Шумская Е. Н., Поперечникова О. Ю. Разработка технологии обогащения окисленных железистых кварцитов // Горный журнал. 2012. № 10. С. 52–55.
3. Немчинова Л. А., Ткаченко М. И., Алексеева Ю. Б. Совершенствование технологии обогащения медных руд и конвертерных шлаков на обогатительной фабрике ОАО «Святогор» // Горный журнал. 2012. № 10. С. 20–23.
4. Prasad K., Banerjee P. K., Denys M. B. Impact of recycled water hardness on selectivity and kinetics of coal flotation // XXVI International Mineral Processing Congress. (IMPC) : Conference Proceedings. — New Delhi, India, 2012. Book 1. Paper 473. P. 4276.
5. Шумская Е. Н., Соловьева Л. М., Поперечникова О. Ю. Совершенствование технологии обогащения полиметаллической руды Артемьевского месторождения (ТОО «Корпорация Казахмыс», Казахстан) // Горный журнал. 2012. № 10. С. 63–67.
6. Meijiao Deng, Qingxia Liu, Zhenghe Xu. Impact of total Dissolved Solids in Process Water on the Surface Properties of Silica and Sphalerite Minerals. — Englewood : Soc. for mining, metallurgy, and exploration, 2012. Paper 225.
7. Boujounoui K. et al. The influence of water quality on the flotation performance of complex sulphide ores: Case study at Hajar Mine, Morocco // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2015. Vol.115. No.12., P. 1243–1251. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n12a14>
8. Машевский Г. Н., Кокорин А. М. Разработка научных основ совершенствования технологии и создания алгоритмической базы для компьютерного управления флотацией руд месторождения «Эрдэнэтйн-Овоо» с целью улучшения рентабельности производства

// Новые решения в технике, технологии добычи, переработки руды на СП «Эрдэнэт»: сб. докл. науч. конф. — Эрдэнэт: Эрдэнэт концерн, 1998. С. 87–101.

9. Хан Г. А., Габриелова Л. И., Власова Н. С. Флотационные реагенты и их применение. — М.: Недра, 1986. — 271 с.
10. Некрасов Б. В. Курс общей химии — М.: Госхимиздат, 1954. — 971 с.
11. Бочаров В. А., Игнаткина В. А. Технология обогащения полезных ископаемых: в 2 т. — М.: ИД «Руда и Металлы», 2007. Т. 1: Обогащение руд цветных металлов, руд и россыпей редких металлов. — 472 с.
12. Абрамов А. А., Леонов С. Б., Сорочкин М. М. Химия флотационных систем. — М.: Недра, 1982. — 312 с.
13. Милованов Л. В. Очистка и использование сточных вод предприятий цветной металлургии. — М.: Металлургия, 1971. — 384 с.
14. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. Методология и технология современного анализа данных. — 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В. П. Боровикова. — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — 392 с.
15. Кантерев В. М., Казаков А. В., Кулаков М. В. Потенциметрические и титриметрические приборы. — М.: Машиностроение, 1969. — 308 с.
16. Патент US № 3399037 А, кл. 205/778.5; 204/400; G01N27/06. Methods and systems for determining the solute concentration of dilute aqueous solutions / Eckfeldt Edgar L.; Publ. 27.08.1968.
17. Морозов В. В., Топчаев В. П., Улитенко К. Я., Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых. — М.: ИД «Руда и Металлы», 2013. — 512 с.
18. Машевский Г. Н., Петров А. В., Романенко С. В., Суфьянов Ф. С., Балманова А. Ж. Новый подход к регулированию флотационного процесса селективного отделения сульфидных минералов от пирита в известковой среде // Обогащение руд. 2012. № 1. С. 12–16. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 60–64  
DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.11](http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.11)

**Reclaimed water treatment for production data improvement in terms of Nikolaevskaya Processing Plant**

**Information about authors**

**K. M. Arustamyan**<sup>1</sup>, Head of New Flotation Methodology Laboratory, K\_Arustamyan@rivs.ru

**S. A. Romanenko**<sup>1</sup>, Leading Production Design Engineer

<sup>1</sup> RIVS Research and Production, Saint-Petersburg, Russia

**Abstract**

The article addresses the issue of recycling water supply in flotation of complex sulfide ores at Nikolaevskaya Processing Plant.

Chemical composition of reclaimed water used in different seasons for a few years of the processing plant operation is analyzed. It is shown that ion components in reclaimed water are highly variable, which specifically regards cations of heavy metals that violate selectivity of flotation. High residual content of CaO contributes to activation of zinc mineral flotation at the beginning of the processing circuit, which results in elevated zinc loss in bulk concentrate.

With a view to reducing CaO content of reclaimed water, experimental treatment of reclaimed water with sulfuric acid was carried out. Initial reclaimed water (CaO content of 644 mg/l) was compared with modified reclaimed water (CaO contents of 390, 260, 112 and 56 mg/l). It was found the modified reclaimed water with CaO content of 260 mg/l substantially improved flotation selectivity.

Based on the positive experimental results, a technology has been developed for treatment of reclaimed water until optimal composition of salt for commercial application at Nikolaevskaya Processing Plant. The technology includes the automatic control of reclaimed water properties involving a bimetallic pair of electrodes.

**Keywords:** reclaimed water, flotation, water treatment, automatic control system, complexing, bimetallic pair, electrochemical potential.

**References**

1. Ikumapayi F. K., Makitalo M., Johansson B., K. Hanumantha Rao. Recycling process water in complex sulphide ore flotation. XXVI International Mineral Processing Congress. (IMPC) : Conference Proceedings. New Delhi, India, 2012. Book 2, Paper 691. p. 4411.
2. Shumskaya E. N., Poperechnikova O. Yu. Development of the efficient concentration technology of oxidized ferruginous quartzites. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 11. pp. 52–55.
3. Nemchinova L. A., Tkachenko M. I., Alekseeva Yu. B. Improvement of the concentration technology of copper ores and converter slags on the processing plant of "Svyatogor" JSC. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 11. pp. 20–23.
4. Prasad K., Banerjee P. K., Denys M. B. Impact of recycled water hardness on selectivity and kinetics

of coal flotation. XXVI International Mineral Processing Congress. (IMPC) : Conference Proceedings. New Delhi, India, 2012. Book 1, Paper 473. p. 4276.

5. Shumskaya E. N., Soloveva L. M., Poperechnikova O. Yu. Improvement of the concentration technology of polymetallic ore of Artemevskoe deposit (Kazakhmys PLC, Republic of Kazakhstan). *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 11. pp. 63–67.
6. Meijiao Deng, Qingxia Liu, Zhenghe Xu. Impact of total Dissolved Solids in Process Water on the Surface Properties of Silica and Sphalerite Minerals. Englewood : Society for mining, metallurgy, and exploration, 2012. Paper 225.
7. Boujounoui K. et al. The influence of water quality on the flotation performance of complex sulphide ores: Case study at Hajar Mine, Morocco. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115, No.12. pp. 1243–1251. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n12a14>
8. Mashevskiy G. N., Kokorin A. M. Development of scientific basis of improvement of technology and creation of algorithmic base for computer control of Erdenetiyn Ovoo deposit ore flotation for the purpose of production profitability improvement. *New solutions in technics and technology of ore extraction and processing at the Joint Enterprise «Erdenet»: collection of reports of the scientific conference.* Erdenet : Erdenet concern, 1998. pp. 87–101.
9. Khan G. A., Gabriellova L. I., Vlasova N. S. Flotation reagents and their application. Moscow : Nedra, 1986. 271 p.
10. Nekrasov B. V. General chemistry course. State scientific-technical publishing house of chemical literature, 1954. 971 p.
11. Bocharov V. A., Ignatkina V. A. Mineral resources dressing technology : in two volumes. Volume 1: Dressing of non-ferrous metal ores, rare metal ores and placers. Moscow : «Ore and Metals» Publishing House. 472 p.
12. Abramov A. A., Leonov S. B., Sorokin M. M. Chemistry of flotation systems. Moscow : Nedra, 1982. 312 p.
13. Milovanov L. V. Purification and use of waste waters of non-ferrous metallurgy enterprises. Moscow : Metallurgiya, 1971. 384 p.
14. Neural Networks. STATISTICA Neural Networks. Methodology and technology of modern data analysis. Second edition, revised and enlarged. Under the editorship of V. P. Borovikov. Moscow : Goryachaya liniya — Telekom, 2008. 392 p.
15. Kanterev V. M., Kazakov A. V., Kulakov M. V. Potentiometric and titrimetric tools. Moscow : Mashinostroenie, 1969. 308 p.
16. Eckfeldt Edgar L. Methods and systems for determining the solute concentration of dilute aqueous solutions. Patent US, No. 3399037 A, 205/778.5; 204/400; G01N27/06. Published: 27.08.1968.
17. Morozov V. V., Topchaev V. P., Ulitenko K. Ya., Ganbaatar Z., Delgerbat L. Development and application of mineral dressing process control systems. Moscow : «Ore and Metals» Publishing House, 2013. 512 p.
18. Mashevskiy G. N., Petrov A. V., Romanenko S. V., Sufyanov F. S., Balmanova A. Zh. A new approach to regulating the process of sulfide minerals selective flotation separation from pyrite in lime medium. *Obogashchenie rud*. 2012. No. 1. pp. 12–16.