

УДК 629.4/5:662.7

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ
ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ РУД ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ****Коростовенко В.В., Стрекалова Т.А., Степанов А.Г.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Институт цветных металлов
и материаловедения, Красноярск, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru*

В настоящей статье представлены результаты исследований, направленных на изучение возможности применения высоковольтных импульсных разрядов для обработки растворов флотации свинцово-цинковых концентратов. В качестве источника силового электрофизического воздействия использовали разрядно-импульсную установку, энергию обработки варьировали в широком диапазоне. Установлено, что в результате мощного электровзрывного воздействия изменяются окислительные свойства воды, повышаются количественные и качественные показатели флотации (в диапазоне энергий обработки от 6 до 12 кДж/дм³). Изучено влияние количества импульсов и материала электродов (сталь и медь) на показатели флотации. Применение данной технологии позволяет повысить извлечение металлов в концентрат: свинца на 5,6%, цинка – на 10,2%, при одновременном росте содержания этих металлов в концентрате.

Ключевые слова: разрядно-импульсная обработка, сульфидная руда, активация пульпы, концентрат, электродный потенциал, флотация, извлечение

**INTENSIFICATION OF POLYSULPHIDE ORES BULK FLOTATION
BY ELECTROPHYSICAL METHOD****Korostovenko V.V., Strekalova T.A., Stepanov A.G.***Siberian Federal University, School of Non-Ferrous Metals and Material Science, Krasnoyarsk,
e-mail: root@gold.sfu-kras.ru*

The present article contains the results of the researches directed on studying the possibility of high-voltage impulse categories use for processing of zinc-lead concentrates flotation solutions. A discharge-impulse installation was used as a source of electrical force effects; the processing energy varied in a wide range. It is found that as a result of powerful electroexplosive influence oxidizing properties of water change, quantitative and qualitative indicators of flotation raise (in the range of processing energies from 6 to 12 kJ/dm³). The impact of impulse quantity and electrodes material (steel and copper) on flotation indicators is studied. Application of this technology allows increasing metals recovery into concentrate: lead for 5,6%, zinc for 10,2%, with a simultaneous growth of these metals content in the concentrate.

Keywords: discharge-impulse processing, sulphide ore, pulp activation, concentrate, electrode potential, flotation, extraction

Эффективность процесса обогащения во многом определяется раскрытием минералов при рудоподготовке. Однако в процессе рудоподготовки не всегда удается достигнуть полного раскрытия всех сростков рудных минералов с нерудными. В первичной переработке сырья минералы в подавляющем большинстве обогащаются флотационными методами. Известные способы повышения эффективности процесса флотации в большинстве случаев не позволяют добиться желаемого раскрытия минералов и обеспечить необходимую степень извлечения ценных компонентов. Одним из перспективных направлений в этой области является применение электрофизических методов и, в частности, разрядно-импульсной обработки (РИО) минеральной пульпы [1–3].

Исследования влияния разрядно-импульсной обработки на флотацию проводились на стадии межциклового коллективной флотации сульфидных руд Горевского (проба № 1) и Токобского (проба № 2) месторожде-

ний, химический состав которых (по основным составляющим) приведен в табл. 1.

Содержание окисленных форм свинца в пробах № 1 и 2 составляло соответственно 18 и 5% (мас.); вкрапленность минералов неравномерная. Соотношение окисленных и сульфидных форм в пробе № 1 показано в табл. 2.

Необходимая тонкость помола (75% класса – 0,074 мм) достигалась измельчением в лабораторной стержневой мельнице при соотношении Т:Ж:С = 1:0,8:4,8. Масса навески руды составляла 250 г, время измельчения без РИО принимали 40 и 35 мин. по условиям выхода контрольного класса.

Время флотации во всех случаях принималось равным 10 мин. Режим флотации для пробы № 1: сода (900 г/т, $t_k = 1$ мин); сернистый натрий (30 г/т, $t_k = 1$ мин); бутиловый ксантогенат (90 г/т, $t_k = 2$ мин); сосновое масло (60 г/т, $t_k = 1$ мин); для пробы № 2 из указанного режима исключался сернистый натрий. Флотацию проводили

в лабораторной флотомашине объемом 1 л при содержании твердого 25 % в технической и дистиллированной воде постоянной температуры ($T = 18^\circ\text{C}$).

Разрядно-импульсную обработку проводили в реакторе из титана объемом 1200 мл

с системой электродов «острие – острие», электроды сменные, расположение горизонтальное. В нижней части реактора размещался лопастной диск перемешивающего устройства, изготовленный из полиэтилена высокого давления.

Таблица 1

Химический состав исследуемых руд

Содержание, % (мас.)	Pb	Zn	Cu	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn
Проба № 1	4,07	0,5	0,17	27,5	33,32	2,96	1,86	1,66
Проба № 2	2,35	3,5	0,1	23,4	не определялось			

Таблица 2

Фазовый состав руды пробы № 1 (% мас.)

Содержание Pb			Содержание Zn			Содержание Cu		
общ.	окисл.	сульф.	общ.	окисл.	сульф.	общ.	окисл.	сульф.
3,5	0,65	0,43	0,43	0,05	0,38	0,019	0,009	0,010

Таблица 3

Показатели флотации руды (проба № 1)

E, кДж/дм ³	T _{измельч.} , мин	γ , %	β_{Pb} , %	β_{Zn} , %	ϵ_{Pb} , %	ϵ_{Zn} , %
0	10	14,08	12,75	1,279	45,44	36,75
9,2	10	16,52	13,104	1,314	54,80	44,30
0	25	19,72	12,082	1,262	60,32	50,78
9,2	20	22,16	12,20	1,314	63,44	59,42
0	35	24,36	11,66	1,360	71,90	67,61
9,2	30	27,36	11,26	1,316	77,99	73,18
0	45	26,76	11,05	1,320	74,86	72,08
9,2	35	31,72	10,89	1,342	87,43	86,87

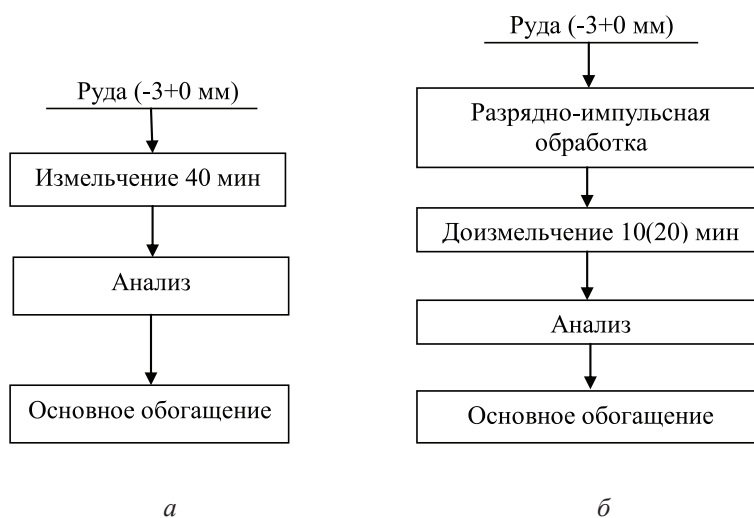


Рис. 1. Принципиальные схемы рудоподготовки: а – базовая; б – комбинированная

Ранее [2] нашими исследованиями было доказано, что измельчение исходного материала по комбинированной схеме с применением разрядно-импульсной обработки (рис. 1) способствует росту выхода технологических классов при сокращении общего времени измельчения. По данным ситового анализа лучшие результаты достигаются при обработке энергией 9,2 кДж.

Для окончательной оценки эффективности комбинированной схемы измельчения проведены опыты по флотации, результаты которой представлены в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 свидетельствует, что подготовка материала по комбинированной схеме измельчения повышает показатели флотации. Измельчение по комбинированной схеме в течение 35 мин по сравнению с чисто механическим измельчением (45 мин) повышает извлечение в коллективный концентрат свинца и цинка на 13 и 14% соответственно. Причиной этого является, на наш взгляд, не только улучшение степени раскрытия минеральных ассоциаций, но и структурно-химические изменения минералов при разрядно-импульсной обработке, предопределяющей рост интенсивности рефлексов пирита, галенита, пирротина и других минералов. Выполненные ранее исследования разрядно-импульсного воздействия на физико-химические свойства жидкой фазы показали их существенное изменение при такой обработке, что неизбежно должно отразиться на флотационном разделении минералов. В частности, при РИО воды значительно возрастает концентрация растворенного в ней кислорода, что оказывает влияние на поведение флотационных систем, связанное с воздействием кислорода на сульфиды.

Характер и степень участия кислорода в процессе флотации подробно проанализировали И.Н. Плаксин и Р.Ш. Шафеев [4], установившие, что закрепление ксантогената на поверхности частиц определяется типом проводимости минерала. Фиксация собирателя ухудшается в случае электронной проводимости. При переходе к дырочной проводимости ксантогенат, наоборот, посредством рекомбинации электронов образует прочную связь с поверхностью минерала. Под действием кислорода поверхность многих минералов «электронного» типа (галенит, халькопирит) приобретает «дырочную» проводимость, что и способствует улучшению флотационных свойств [4].

Результаты исследований по флотации проб руды с предварительной разрядно-импульсной обработкой воды показали, что, наряду с существенным изменением E_h , pH и α , имеет место изменение окислительной способности воды, что отмечено при снятии значений электродных потенциалов (рис. 2).

Разрядно-импульсная обработка минеральной пульпы позволила существенно повысить количественные и качественные показатели флотации, что особенно заметно в диапазоне энергий обработки от 6 до 12 кДж. Одной из основных причин активации пульпы является смещение окислительно-восстановительного потенциала жидкой фазы пульпы в положительную сторону, причем наилучшие показатели извлечения получены при значениях E_h более +145 и +130 мВ соответственно для проб № 1 и 2 (рис. 3). Однозначно можно утверждать, что разрядно-импульсная обработка пульпы более эффективна, чем предварительная обработка воды (рис. 4).

Обработка пульпы с использованием стальных электродов в диапазоне энергий 6–12 кДж/дм³ увеличивает извлечение в коллективный концентрат свинца и цинка соответственно на 5,2 и 4,5% при одновременном росте содержания этих металлов в концентрате.

Более высокие показатели флотации получены при обработке пульпы с применением медных электродов. Так, извлечение в коллективный концентрат по сравнению с базовой схемой увеличилось на 5,5 и 5,8% соответственно для свинца и цинка при некотором улучшении качества концентрата. С ростом энергии обработки показатели флотации существенно хуже при общем увеличении выхода в концентрат.

Флотация после обработки пульпы серией импульсов (рис. 5) повышает извлечение металлов в концентрат: свинца на 5,6%, цинка – на 10,2%. Обработка пульпы медными электродами приводит к некоторому насыщению системы ионами меди, что активизирует минералы цинка.

При разрядно-импульсной обработке пульпы дополнительным эффектом РИО является вскрытие новых поверхностей обнажения минеральных составляющих пульпы, т.е. имеет место энергетическое и химическое воздействие непосредственно на минеральную поверхность с протеканием активных окислительно-восстановительных процессов.

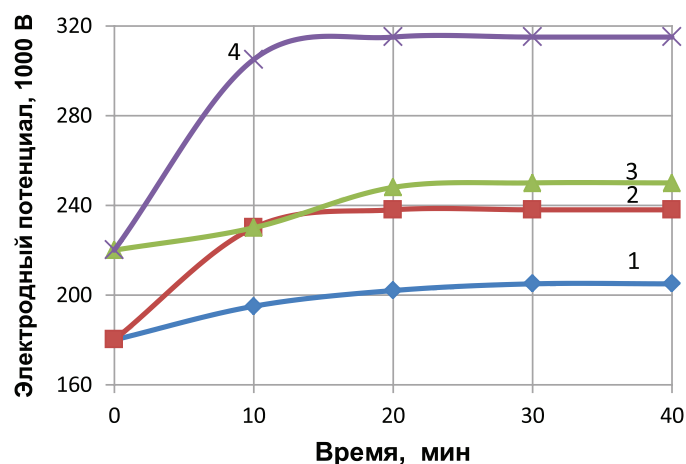


Рис. 2. Изменение электродных потенциалов галенита (2, 4) и пирита (1, 3) на стадии кондиционирования: 1, 2 – вода необработанная; 3, 4 – после РИО воды энергией 6 кДж/дм³

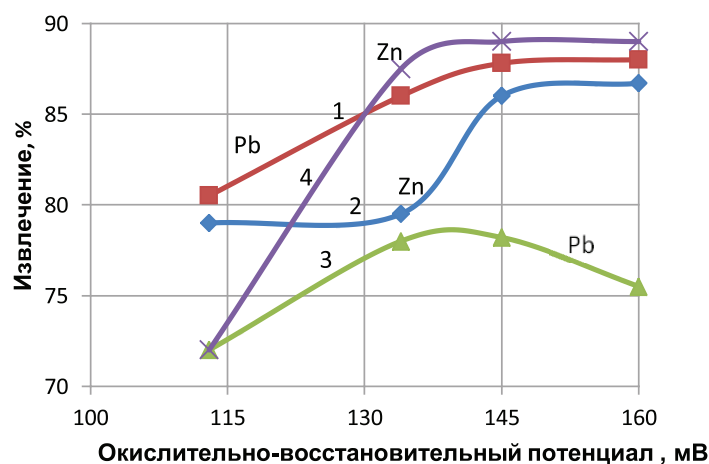


Рис. 3. Зависимость извлечения сульфидов от ОВП пульпы: 1, 2 – проба № 1; 3, 4 – проба № 2

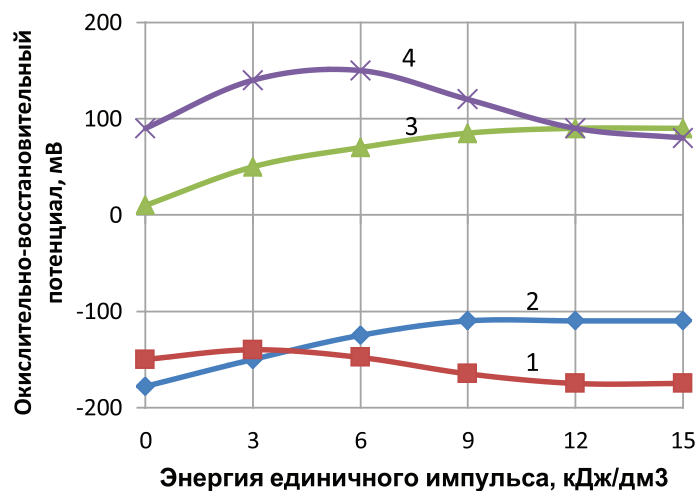


Рис. 4. Изменение ОВП пульпы на стадии кондиционирования (2, 3) и коллективной флотации (1, 4): 1, 2 – без обработки; 3, 4 – после РИО энергией 9 кДж/дм³

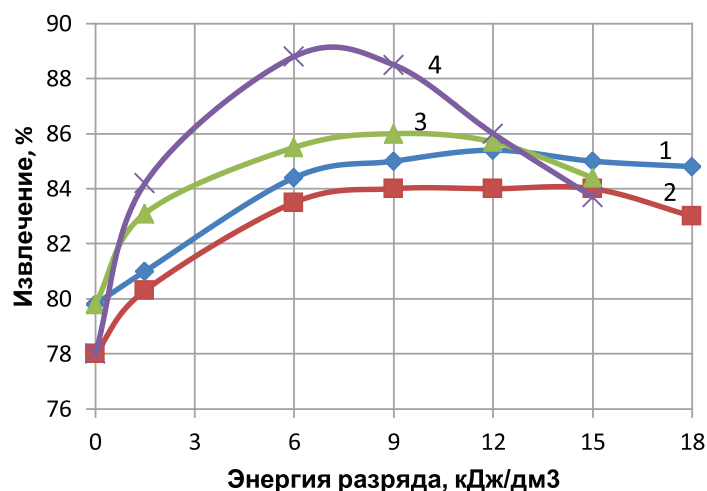


Рис. 5. Влияние энергии РИО пульпы медными электродами на извлечение сульфидов:
1, 3 — свинец; 2, 4 — цинк; 3, 4 — серия импульсов

В работе [5] отмечается, что следствием окисления может явиться не только изменение проводниковых свойств поверхности минерала, но и образование новых соединений, которые, адсорбируясь на твердых частицах, делают поверхность химически иной, не сходной с поверхностью неокисленного минерала.

Наши исследования подтвердили качественные и количественные видоизменения природы поверхностных слоев в результате окислительного процесса, что влияет на закрепление реагента-собираателя, а в итоге — на флотационное поведение минерала.

Оптимальные показатели флотации при разрядно-импульсной обработке пульпы достигаются при меньших энергиях воздействия 5–7 кДж/дм³, далее наблюдается переизмельчение минералов, рост выхода в коллективный концентрат за счет нерудных минералов и ошламование последних.

Эти данные хорошо согласуются с нашими выводами по избирательному разрядно-импульсному раскрытию минералов.

Список литературы

1. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий [Текст] / Г.А. Гулый — Киев: Наук. думка, 1990. — 208 с.
2. Коростовенко В.В. Избирательное раскрытие и структурно-химические изменения минералов при импульсном воздействии [Текст] / В.В. Коростовенко, Т.А. Стрекалова и др. // Международный журнал экспериментального образования. — 2013 — № 4. — С. 73–76.
3. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии [Текст] / П.П. Малюшевский. — Киев: Наук. думка, 1983. — 269 с.
4. Плаксин И.Н. Об особенностях гидрофобизирующего действия кислорода на поверхность сульфидных минералов [Текст] / И.Н. Плаксин, Р.Ш. Шафеев // ДАН СССР. — 1960. — Т. 135. — № 1. — С. 140–142.
5. Чантурия В.А. Роль полупроводниковых и электрохимических свойств минералов в процессе флотации [Текст] / В.А. Чантурия // Современное состояние и перспективы развития теории флотации. — М.: Наука, 1979. — С. 55–72.