

УДК 504.55.054:662 (470.6)

Голик В.И., д.т.н., проф., Масленников С.А., к.т.н., доц., Прокопенко К.Д., ТФ-3-17, ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты, Россия

К ВОПРОСУ О ДОБЫЧЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Россия является одним из мировых лидеров по запасам, добыче и переработке металлических руд. По разным оценкам, на ее территории сосредоточено от 15,6% до 26% их мировых запасов. Однако по объему добычи наша страна находится лишь на пятом месте, значительно уступая Китаю, Бразилии, Австралии и Индии. Причем если в начале тысячелетия доля России в мировой добыче составляла более 8%, то к концу первого десятилетия XXI века она снизилась до 4%. Неудовлетворительное положение с добычей руд нашло отражение в Стратегии социально-экономического развития на период до 2025 г, где развитие данного направления признано приоритетным. Одним из возможных способов увеличения добычи металлов в условиях ужесточающихся экологических требований, уменьшения запасов залегающих в удобных для эксплуатации условиях и увеличения глубины горных работ является вовлечение в эксплуатацию техногенных месторождений - ранее считавшихся потерянными запасов металлосодержащих хвостов обогащения и некондиционных руд.

Рост добычи подземным способом, уменьшение содержания металлов и усложнение горно-геологических условий предполагает и повышение разубоживания руд с ростом образования хвостов первичной переработки, содержащих тяжелые металлы и представляющие при хранении на поверхности опасность для окружающей среды. Так, например, среднее содержание меди в руде с 1987 по 2013 г. упало с 0,95% до 0,7, что при равном объеме товарного продукта ведет к увеличению отходов на 30-40%. Средние показатели образования отходов на этапе добычи и переработки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средние показатели образования отходов*

Полезный продукт (1 тонна)	Отходы	
	в процессе добычи	в процессе обогащения
Сталь	5-6 тонн	0,5-0,7 тонн
Цветные металлы	100-150 тонн	30-60 тонн
Редкие, благородные и радиоактивные металлы	5-10 тыс. тонн	10-100 тыс. тонн

*Данные Академии горных наук

В отвалах, хранилищах шламов и хвостов горно-металлургических комплексов России хранится до 100 млрд. тонн твердых отходов. Ежегодно к ним добавляется около 15 млн. тонн, а утилизируется из этого количества не более 10%. Хранение недоступного для переработки традиционными технологиями минерального сырья грозит экологической катастрофой, поэтому единственно возможной мерой снижения опасности является радикальная утилизация хвостов технологическими средствами. Захоронение металлосодержащих хвостов на небольших глубинах, в том числе, путем биологической рекультивации без извлечения опасных компонентов является опасным паллиативом.

Отвечая вызовам времени на кафедре «Строительство» ЮРГТУ(НПИ) в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» был

выполнен научно-исследовательский проект, имевший целью разработать технологию извлечения металлов из отходов горнорудного производства. Задачами проекта было получение дополнительной товарной продукции в виде цинка и свинца, а также доведение содержания металлов во вторичных отходах до норм ПДК.

Реализованный проект основан на принципиально новом подходе к глубокой переработке твердых полезных ископаемых с полной утилизацией отходов. Предлагаемая технология, включает извлечение из отходов опасных компонентов до безопасного уровня с полным вовлечением вторичных продуктов переработки в хозяйственный оборот. Увеличение полноты извлечения металлов основано на том, что при обработке по дезинтеграторной технологии со скоростью удара св. 250 м/с. вещество приобретает новые технологические свойства, а выщелачивающий раствор запрессовывается в возникающие при активации микротрещины. Вовлечение вторичных отходов в хозяйственный оборот использует свойства, проявляющиеся при диспергации твёрдых тел. При этом процессы в активированном веществе протекают тем быстрее и полнее, чем больше поверхность участвующего в процессе вещества, т.е. чем меньше размер частиц получаемого продукта.

Разработанная технология прошла экспериментальную проверку с использованием лабораторной базы СКГМИ. Опыты включали в себя, в том числе:

1. Агитационное выщелачивание металлов реагентами.
2. Выщелачивание металлов реагентами в сочетании с активацией в дезинтеграторе.

По первому пункту эксперимента переменные факторы, варьировались по следующим уровням.

1. Содержание серной кислоты и хлорида натрия, X1, X2 (менялось соответственно по уровням: X1 -1 - 2, 0 – 7 и 1 – 12 г/л, X2 -1 – 20, 0 – 100 и 1 – 180 г/л).
2. Соотношение Ж:Т, X3 (менялось по уровням: X3 - 1- 4, 0 – 7 и 1 - 10).
3. Время агитационного выщелачивания, X4 (менялось по уровням: X4 -1 - 0,25, 0 - 0,625, 1 - 1 час).

По второму пункту эксперимента:

1. Содержание серной кислоты и хлорида натрия, X1, X2 и соотношение Ж:Т, X3 менялись по тем же уровням, что и в предыдущей серии опытов.
2. Скорость вращения роторов дезинтегратора, X5 (менялась по уровням: X5 -1 -50, 0 - 125, 1 – 200 Гц).

Эксперименты проводились с использованием методов планирования эксперимента по 3(k-p) факторному плану, с 27 опытами и 3 центральными точками [1]. В каждой точке плана ставилось по 5 экспериментов. Найденные значения осреднялись для исследуемых партий, что позволило уменьшить ошибку.

Математическая обработка результатов экспериментов проводилась с помощью программы Statistica 6.1. Модель находилась в виде регрессионной зависимости с учетом линейных, квадратичных эффектов и их взаимодействий в виде уравнения:

$$\epsilon_{Zn,Pb} = a_0 + a_1 \times X_1 - a_2 \times X_2 + a_3 \times X_3 + a_4 \times X_4 + a_5 \times X_1^2 + a_6 \times X_2^2 + a_7 \times X_3^2 + a_8 \times X_4^2 + a_9 \times X_1 X_2 + a_{10} \times X_1 X_3 - a_{11} \times X_1 X_4 + a_{12} \times X_2 X_3 + a_{13} \times X_2 X_4 + a_{14} \times X_3 X_4$$

где X1 – содержание H₂SO₄, г/л;

X2 – содержание NaCl, г/л;

X3 - соотношение Ж:Т;

X4 – время агитационного выщелачивания, ч;

для опытов второй серии X4 заменяем на X5;

X5 - частота вращения роторов дезинтегратора, Гц.

Значения найденных регрессионных коэффициентов приведены в таблице 2.

Среднеквадратичные отклонения для первого и второго уравнений составляют, соответственно, 0,837 и 0,811.

Таблица 2

Регрессионные коэффициенты

	Для уравнения регрессии (ε_{Zn})			Для уравнения регрессии (ε_{Pb})		
	Регрес. коэф.	Доверительный предел		Регрес. коэф.	Доверительный предел	
		-95,%	+95,%		-95,%	+95,%
a	69,11	62,4	75,8	-37,9	-56,1	-19,8
a ₁	7,57	6,93	8,2	7,13	5,42	8,85
a ₂	-0,239	-0,273	-0,205	-0,395	-0,487	-0,304
a ₃	-0,851	-0,889	-0,813	0,956	0,855	1,06
a ₄	0,0023	0,00217	0,00243	-0,0035	-0,0038	-0,0031
a ₅	-2,19	-3,62	-0,762	3,28	-0,602	7,16
a ₆	0,0343	-0,0594	0,128	-0,0823	-0,336	0,172
a ₇	-0,117	-0,163	-0,0709	-0,0522	-0,177	0,0729
a ₈	-0,00048	-0,00063	-0,00033	0,0001	-0,0003	0,0005
a ₉	-0,00319	-0,00482	-0,00156	-0,0032	-0,0077	0,0012
a ₁₀	-0,207	-0,25	-0,163	-0,275	-0,393	-0,156
a ₁₁	0,00499	0,00325	0,00673	-0,0013	-0,0061	0,0034
a ₁₂	0,00915	0,00643	0,0119	-0,0039	-0,0113	0,0034
a ₁₃	0,00111	0,00100	0,00122	-0,0001	-0,0004	0,0002
a ₁₄	0,0187	0,0158	0,0216	0,0034	-0,0045	0,0112

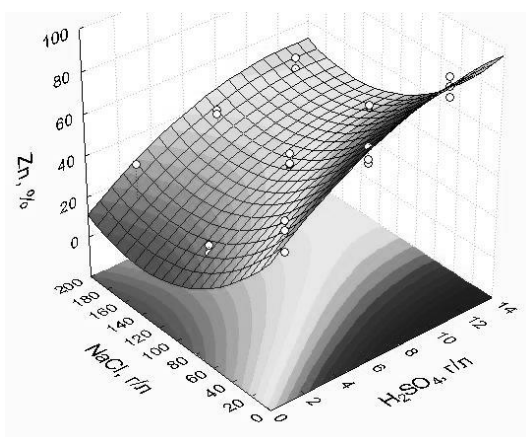


Рисунок 1 – График зависимости выщелачивания цинка из хвостов одновременно с активацией от основных влияющих факторов

Наглядно регрессионная зависимость извлечения цинка от двух наиболее значимых факторов представлена с помощью объемного графика на рис. 1. Процент извлечения цинка достигает максимальных значений в рассматриваемом диапазоне независимых факторов при максимальном содержании в растворе H_2SO_4 и минимальном $NaCl$. Частота вращения рабочего органа дезинтегратора существенно увеличивает выход цинка, давая максимум при $X_5=200$ Гц. Выход свинца достигает наибольших значений при содержании $H_2SO_4=3,94$ г/л и $NaCl=127$ г/л.

Выводы

Экспериментальные исследования подтвердили, что совмещение механического и химического воздействий на металлосодержащие минералы существенно увеличивает процент извлечения металлов (до 1,22 раза). При этом

большее извлечение в раствор металлов обеспечивается в дезинтеграторе за время, на 2 порядка меньшее, чем при выщелачивании без активации.

Показатели комбинированного механо-химико-активационного процесса извлечения металлов могут быть улучшены за счет увеличения времени активации путем многократного пропускания пульпы через дезинтегратор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хартман К., Лецкий Э., Шеффер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир. – 1977. – 552 с.