

## **Разработка основ высокоэффективной технологии утилизации отходов горно-обогатительной переработки руд КМА**

**А.Ю. Прокопов, В.И. Голик, С.А. Масленников, О.В. Базавова**

Проблема отрицательного воздействия различных сфер производства на окружающую среду является весьма актуальной, ее решение необходимо на государственном и международном уровнях [1, 2]. Целью настоящей работы является снижение вредного воздействия на компоненты окружающей среды при разработке месторождений и обогащении железных руд.

По разным оценкам, на территории РФ сосредоточено от 15,6 до 26% мировых запасов железной руды. Однако по объему добычи наша страна находится лишь на пятом месте, значительно уступая Китаю, Бразилии, Австралии и Индии. Неудовлетворительное положение с добычей руд нашло отражение в Стратегии социально-экономического развития на период до 2025 г., где развитие данного направления признано приоритетным [3].

В настоящее время в России доминирующим является открытый способ – с его помощью добывается около 90% всей железной руды РФ. С отработкой запасов залегающих на небольших глубинах можно ожидать перехода к подземному способу [4 – 6]. Под землей в России добывается 8% от общих объемов извлечения железной руды, из них половина приходится на «Евраз ВГОК» и «Евразруду». Подземный способ разработки железорудных месторождений является основным на действующих предприятиях Алтая-Саянской территории [7]. Рудники – Абаканский, Казский, Таштагольский и Шерегешский – извлекают более половины объема подземной добычи железных руд в России.

В пределах месторождения КМА подземным способом разрабатывают Коробковское месторождение, это шахта им. Губкина (ОАО «Комбинат КМАруда», Белгородская обл.) и Яковлевское месторождение - Яковлевский рудник (ООО «Металл-групп», Белгородской области) [8,9]. Для этих условий авторами разработана ресурсосберегающая технология добычи железной

руды с закладкой выработанного пространства при использовании в качестве вяжущего и инертного заполнителя отходов обогащения.

Использование для закладки или изготовления закладочных смесей отходов обогащения без доизвлечения металла является паллиативом и ведет к образованию реакторов миграции химически опасных элементов в подземные воды и далее – в поверхностные экосистемы. Для снижения содержания металлов в отходах можно использовать технологию механохимической активации, положительно зарекомендовавшую себя при переработке отходов полиметаллических руд [10].

Образцы для исследований отбирались из хранилища Лебединского ГОКа. Изучение минерального состава показало, что в состав хвостов входят: кварц, магнетит, гематит, карбонат, слюда, пирит, ильменит, силикат, и полевой шпат. Химический анализ состава отобранной для исследования пробы хвостов показал наличие следующих соединений:  $\text{SiO}_2$  – 64%, Fe – 8%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,2%, Mn – 3,2%,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,7%, P – 0,1%, Ca – 0,8%, MgO – 0,2%, Cu –  $5 \cdot 10^{-3}\%$ , Ni –  $4 \cdot 10^{-3}\%$ , Zn –  $5 \cdot 10^{-4}\%$ , As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y – на уровне  $(30-50) \cdot 10^{-6}\%$ .

Характеристика гранулометрического состава представлена в табл. 1.

Таблица 1

Крупность хвостов обогащения железистых кварцитов

Вид отходов	Остатки на ситах, %					
	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071	Сумм.
Хвостохранилище	0,5	3,2	27,6	21,4	47,3	100

На первом этапе был изучен процесс выщелачивания хвостов растворами одновременно с активацией в дезинтеграторе.

В ходе исследования с использованием математического планирования эксперимента изучалась зависимость извлечения железа из измельченных хвостов обогащения железистых кварцитов от содержания в выщелачивающем растворе серной кислоты и хлорида натрия, соотношения жидкой и твердой фаз (далее Ж:Т) и скорости вращения роторов дезинтегратора. Для планирования был использован трехуровневый некомпозиционный план

Бокса-Бенкена. Уровни и интервалы варьирования независимых факторов в экспериментах приведены в таблице 2.

Таблица 2

Пределы изменения независимых факторов

Уровни и интервалы варьирования	Независимые факторы и их обозначение			
	Содержание в выщелачивающем растворе, г/л		Соотношение Ж:Т при выщелачивании, X <sub>3</sub> , ед.	Частота вращения роторов, X <sub>4</sub> , Гц
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , X <sub>1</sub>	NaCl, X <sub>2</sub>		
Нулевой уровень, X <sub>i</sub> = 0	6	90	7	125
Интервал варьирования	4	70	3	75
Верхний уровень, X <sub>i</sub> = -1	10	160	10	200
Нижний уровень, X <sub>i</sub> = 1	2	20	4	50

Исследование проводилось следующим образом: отвешивалось 50 г высушенного материала, выщелачиваемого в единичном эксперименте; отмеренную навеску добавляли в выщелачивающий раствор заданного для данного единичного эксперимента состава; полученную пульпу пропускали через дезинтегратор; после завершения выщелачивания производственный раствор фильтровался и направлялся в химическую лабораторию для анализа содержания в нем металлов. После проведения серии экспериментов, определенной планом, полученные результаты подвергаются регрессионному анализу (табл. 3), в ходе которого определяются рациональные значения независимых параметров процесса, т.е. технология механохимической обработки.

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа экспериментальных данных

Уравнение регрессии	Показатели значимости
$\varepsilon = 2.447 + 1.736X_1 + 0,714X_2 + 0,48X_3 + 0,372X_4 + 0,655X_1^2 + 0,705X_2^2 - 0,27X_3^2 + 0,142X_1X_3 + 0,147X_1X_4 + 0,136X_2X_3 + 0,198X_2X_4 + 0,184X_3X_4$	$R^2 = 0,954;$ $S_{ad} = 0,3393;$ $F = 75,47$

Примечание. Безразмерные переменные определяются из выражений:

$$X_1 = \frac{C_{H_2SO_4} - 6}{4}; \quad X_2 = \frac{C_{NaCl} - 90}{70}; \quad X_3 = \frac{(Ж : Т) - 7}{3}; \quad X_4 = \frac{f - 125}{75}.$$

где  $C_{H_2SO_4}$  - содержание  $H_2SO_4$  в выщелачивающем растворе, г/л.;  $C_{NaCl}$  - содержание  $NaCl$  в выщелачивающем растворе, г/л.;  $Ж:Т$  - соотношение жидкой и твердой фаз;  $f$  – скорость вращения роторов дезинтегратора, Гц.

План эксперимента включал 24 опыта, максимальное из полученных значений составило 8,5% извлеченного от исходного содержания металла, минимальное 0,4

Материал после выщелачивания хвостов в момент их активации в виде пульпы с выщелачивающим раствором содержал:  $Al_2O_3$  – 3,7%,  $Mn$  – 2,3%,  $K_2O$  – 0,2%,  $P$  – 0,06%,  $Ca$  – 0,20%,  $MgO$  – 0,11%.

Технология механохимической активации отходов обогащения железных руд позволяет снизить содержания железа до 9% от исходной величины, при этом извлекается наиболее легкодоступная часть металла, и после использования в закладке переработанных таким способом отходов процессы естественного выщелачивания развиваются медленнее и в подземные воды переходит значительно меньшее количество железа.

После анализа полученных результатов, а также их сравнения с результатами переработки по подобной технологии отходов полиметаллических руд, наиболее перспективным направлением дальнейших изысканий признано исследование многократной активации отходов обогащения железистых кварцитов в установке типа дезинтегратор, а также изучения вяжущего эффекта активированных в сухом состоянии хвостов.

### **Литература:**

1. Зерщикова, М.А. Последствия загрязнения окружающей среды и их влияние на экономические показатели [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/326> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Магомадова, Х.А. Проблемы социально-эколого-экономической эффективности взаимодействия общества и природы [Электронный ресурс] //

«Инженерный вестник Дона», 2012, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/666> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Голик, В.И. Исследование технологии выщелачивания металлов из хвостов обогащения [Текст] / В.И. Голик, С.Г. Страданченко, С.А. Масленников // Уголь, 2012. – №9. – С. 91-93.

4. Голик В.И., Масленников С.А. Механо-химико-активационная технология извлечения металлов из скальных руд [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. – №9. – С. 20-25.

5. Golik V. Mechanochemical activation of the ore and coal tailings in the desintegrators [Текст] // MPES Conference, Dresden, Germany, 14th-19th October 2013 – Dresden/Freiberg: «Springer», 2013. – S. 1047-1056.

6. Golik V. Activation of Technogenic Resources in Disintegrators [Текст] // MPES Conference, Dresden, Germany, 14th-19th October 2013 – Dresden/Freiberg: «Springer», 2013. – S. 1101-1106.

7. Филиппов, П.А. Разработка и научное обоснование геотехнологий добычи железных руд при освоении природных и техногенных месторождений Западной Сибири [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 25.00.22: защищена 11.03.12 : утв. 12.04.13 / Филиппов Петр Алексеевич – Новосибирск, 2012. – 256 с. – Библиогр.: С. 232–256.

8. Добыча железных руд подземным способом Белгород и Белгородская обл. [Электронный ресурс] // Добыча полезных ископаемых. Справочник компаний добывающей отрасли. – Режим доступа: <http://oremine.ru/prishwe81/gdob14.html>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Минерально-сырьевая база [Электронный ресурс] // Белгородская областная дума. – Режим доступа: <http://www.belduma.ru/infoobl/34/>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10. Авакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов. 2-е изд., перераб. и доп. / Новосибирск: Наука, 1986. – 305 с.