**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: SiO2 – 64%, Fe – 8%, Al2O3 – 5,2%, Mn – 3,2%, K2O – 0,7%, P – 0,1%, Ca – 0,8%, MgO – 0,2%, Cu – 5·10-3%, Ni - 4·10-3%, Zn - 5·10-4%, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y – на уровне (30-50)·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, Х3, ед. | Частота вращения роторов, Х4, Гц |
| H2SO4, Х1 | NaCl, Х2 |
| Нулевой уровень, Хi = 0 | 6 | 90 | 7 | 125 |
| Интервал варьирования | 4 | 70 | 3 | 75 |
| Верхний уровень, Хi = -1  | 10 | 160 | 10 | 200 |
| Нижний уровень, Хi = 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 продукционный 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 |
| ε = 2.447 + 1.736Х1 + 0,714Х2 + 0,48Х3 + 0,372Х4 + 0,655Х12 + 0,705Х22 - 0,27Х32 + 0,142Х1Х3 + 0,147Х1Х4 + 0,136Х2Х3 + 0,198Х2Х4 + 0,184Х3Х4 | R2 = 0,954; S*ad* = 0,3393;F = 75,47 |

Примечание. Безразмерные переменные определяются из выражений:

    

где  - содержание H2SO4 в выщелачивающем растворе, г/л.;  - содержание NaCl в выщелачивающем растворе, г/л.;  - 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: Al2O3 – 3,7%, Mn – 2,3%, K2O – 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. Страданчнко, 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.