

УДК 622.343.5,17:622.234.42

© Коллектив авторов, 2009

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ выщелачивания отходов добычи руд



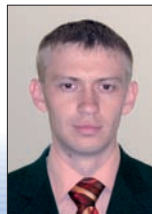
В. П. Красавин, зам. технического директора по горным работам (ОАО «Учалинский ГОК»)



Д. Н. Радченко, старший научный сотрудник, канд. техн. наук (УРАН ИПКОН РАН)



Д. А. Милкин, младший научный сотрудник (УРАН ИПКОН РАН)



А. Г. Звягинцев, аспирант (ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова»)



А. М. Пешков, аспирант (ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова»)

Перспектива использования в качестве дополнительного источника минерального сырья отвальных руд и отходов рентгено-радиометрической сепарации, размещенных в отвалах Учалинского рудника, связана, с одной стороны, с необходимостью переработки бедных руд, стоящих на балансе Учалинского ГОКа и оказывающих негативное воздействие на окружающую среду вследствие природного выщелачивания металлов в процессе хранения, с другой стороны, с возможностью переработки этих руд достаточно экономичным методом кучного выщелачивания. Переработка техногенных отходов этим методом характеризуется низкими затратами, так как

они уже складированы на поверхности и отчасти подготовлены к переработке – имеют благоприятный гранулометрический состав и содержат частично окисленные минеральные формы. Наличие на предприятии развитой производственной инфраструктуры, возможность утилизации отходов физико-химической геотехнологии в закладке выработанного подземного пространства повышает перспективность вовлечения отходов в промышленную эксплуатацию.

Сложный вещественный состав не позволил в свое время эффективно перерабатывать часть руд методом флотации на Учалинской обогатительной фабрике, а нали-

чие в них ценных компонентов определило необходимость складирования в спецотвалы для последующего использования в более благоприятных технико-экономических условиях. Отвальные руды часто называют окисленными вследствие их выветривания и вторичного окисления в процессе хранения на поверхности в течение 30 лет и более. В целом все отвальные руды сильно изменены. Минеральный состав руд, помимо первичных сульфидов, включает карбонаты, сульфаты и силикаты меди, цинка, железа и других металлов, являющиеся продуктами выветривания. Трещины и поры кусков всех типов руд частично заполнены вторичными минералами.

Возможность переработки отвальных руд предприятия методом кучного выщелачивания ранее была доказана лабораторными исследованиями. Вместе с тем для разработки проекта на промышленное освоение этого вида техногенного сырья и установления рациональных параметров и режимов технологических процессов в климатических условиях Южного Урала потребовалось проведение опытно-промышленных испытаний технологии на представительных объемах сырья. Опытно-промышленные испытания технологии кучного выщелачивания руд и отходов сепарации на отвале № 8 Учалинского карьера предусматривали:

- ◆ подготовку полигона кучного выщелачивания;
- ◆ доставку руды и отходов из отвалов на рудоподготовительный комплекс;
- ◆ взвешивание и учет объемов и качества доставленного сырья;
- ◆ грохочение материала по классу 5 мм;
- ◆ формирование штабелей;
- ◆ орошение штабелей, сбор и аккумуляцию продуктивных растворов;
- ◆ переработку продуктивных растворов методом цементации с извлечением меди (на участке опытно-промышленной апробации) и методом «экстракция-электролиз» (в лаборатории МИСИС), а также оценку возможности извлечения других ценных

компонентов, содержащихся в отвальных рудах Учалинского месторождения.

Подготовка полигона была выполнена в соответствии с действующими СНиП и включала формирование гидроизоляционного основания и системы контрольного и рабочего дренажа, а также канав и емкостей для сбора и аккумуляции продуктивных растворов на специально выделенной площадке в непосредственной близости от насосной станции, перекачивающей подотвальные воды (рис. 1), что обеспечило возможность их транспортирования на участок. На площадке были сформированы штабелы из окисленной руды из отвала Учалинского карьера крупностью –250+5 мм, массой 82,3 т и из отходов рентгенометрической сепарации крупностью –40+5 мм, массой 91,8 т. Перед началом опытно-промышленных работ были отобраны представительные пробы техногенного сырья для определения вещественного состава исследуемых руд и оценки их физико-механических характеристик. Минеральный состав складированных в отвал отходов рентгенометрической сепарации приведен в табл. 1.

Минеральный состав отвальных руд Учалинского месторождения крупностью –250+40 мм в целом схож с составом отходов рентгенометрической сепарации. Химическим анализом установлено, что среднее содержание в них меди составляет 0,42, цинка – 1,01, железа – 22,28 %. Результаты исследований физико-механических характеристик отвальных руд Учалинского месторождения приведены в табл. 2.

При подготовке площадки опытно-промышленных испытаний для гидроизоляции штабеля кучного выщелачивания (рис. 2) была завезена глина, которую уложили в основание штабеля слоем толщиной 20 см и тщательно укатали. Затем на



Рис. 1. План полигона опытно-промышленных испытаний технологии кучного выщелачивания отвальных руд Учалинского карьера:

1 – штабель отвальной окисленной руды; 2 – штабель отходов рентгенометрической сепарации; 3 – система сбора выщелачивающих растворов; 4 – система подачи растворов в безнапорном режиме

слой глины поместили кислотостойкую промышленную пленку, стыки которой герметизировали термической сваркой. Сбор и отвод продуктивных растворов от штабелей в период выщелачивания осуществляется с помощью системы дренажа, уложенной по периметру и в основании штабелей. Отсюда растворы самотеком поступали в желоба сбора продуктивных

растворов и далее в накопительные емкости (рис. 3).

Для орошения штабелей была смонтирована оросительная система, состоящая из напорных пластиковых емкостей объемом 1,2 м³, установленных на верхней отметке площадки, что позволило подавать выщелачивающие растворы в распределительную систему в безнапорном режиме. В

Таблица 1. Минеральный состав отходов рентгенометрической сепарации класса –40+5 мм

Компоненты	Массовая доля, %	Компоненты	Массовая доля, %
SiO ₂	27,0	FeS	Н. д
Al ₂ O ₃	3,92	S _{общ}	27,3
TiO ₂	0,14	C _{общ}	0,28
CaO	2,9	C _{орг}	<0,05
MgO	1,1	CO ₂	1,04
K ₂ O	0,65	H ₂ O	0,41
Na ₂ O	0,4	Cu	0,52
P ₂ O ₅	0,16	Zn	3,12
MnO	0,098	–	–
Fe _{общ}	24,4	–	–

Таблица 2. Результаты определения физико-механических характеристик проб отвальных руд Учалинского месторождения

Порода	Объемная масса, г/см ³	Влажность, %	Объемная масса скелета, г/см ³	Удельная масса, г/см ³	Коэффициент крепости по Протодяконову	Среднее водопоглощение, %	Среднее водонасыщение, %
Диабазы зеленого цвета	2,78	0,17	2,78	2,80	11	0,14	0,17
Диабазы зеленовато-сиреневого цвета с прожилками кварца	2,71	0,14	2,71	2,74	14	0,12	0,12
Густовкрапленная пиритсодержащая руда	3,56	0,08	3,56	3,60	5	0,10	0,14
Сплошная серноколчеданная руда	4,44	0,00	4,44	4,49	7	0,04	0,06
Кварц-хлоритовый метасоматит с прожилками кварца	2,81	0,15	2,81	2,84	12	0,09	0,12
Кварц-серицитовый метасоматит с вкраплениями пирита	3,02	0,32	3,01	3,20	6	0,17	0,19

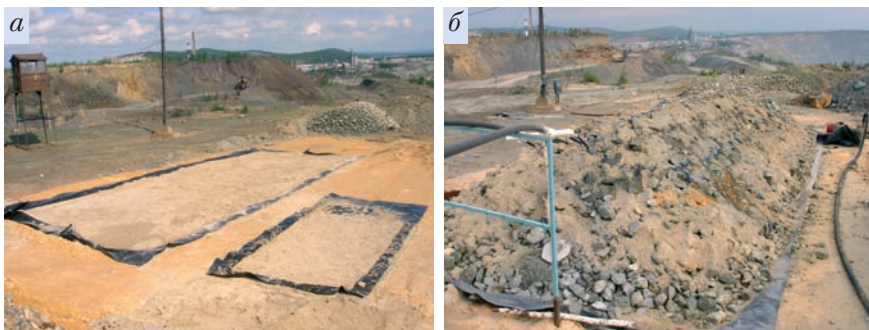


Рис. 2. Опытно-промышленный участок в ходе подготовки гидроизоляционного основания штабелей (а) и в период укладки некондиционной руды (б)



Рис. 3. Элементы оросительной системы (а) и системы дренажа и сбора продуктивных растворов (б)

зумпфе для сбора растворов использовались такие же емкости. Растворы из зумпфа на переработку и в оросительную систему перекачивались кислотостойким насосом.

Для приготовления выщелачивающих растворов использовали рудничные минерализованные воды. Позитивными предпосылками эффективного использования вод, поступающих с отвалов Учалинского карьера, являются их кислотность ($pH = 2,2-2,5$) и достаточно высокое содержание растворенного сульфата железа (III), который является интенсификатором окислительных процессов. Объемы образующихся на Учалинском руднике подотвальных (500 тыс. м³/год) и других рудничных вод вполне достаточны для обеспечения водного баланса участка кучного выщелачивания. Использование подотвальных вод в технологии кучного выщелачивания обеспечивает эколого-экономический эффект за счет очистки вод и получения дополнительной товарной продукции.

По результатам лабораторных исследований, для выщелачивания штабеля рекомендовано предварительное насыщение рудной массы подотвальными водами с последующей реализацией двух режимов орошения – закисления и активного вы-

щелачивания. При этом в цикле закисления в качестве растворителя использовались подотвальные воды, доведенные по свободной серной кислоте до 10 %-ной концентрации, с добавкой торфяной вытяжки; в режиме выщелачивания – подотвальные воды, доведенные по свободной серной кислоте до 2 %-ной концентрации, также с добавкой торфяной вытяжки. Выщелачивание осуществлялось циклично с чередованием режимов орошения и выстаивания массива (азрации).

В соответствии с результатами лабораторных исследований и проведенными расчетами, для достижения планового извлечения меди (75 % от базового содержания) общая продолжительность выщелачивания в климатических условиях Южного

Урала должна составлять не менее двух сезонов положительных температур (с мая по октябрь). При этом орошение штабелей необходимо обеспечивать, исходя из соотношения Ж:Т = 2:1.

Опытно-промышленные испытания в период с мая по август 2008 г. включали: научно-методические и организационно-технические работы, подготовку полигона, отсыпку штабелей и их подготовку к выщелачиванию. Два цикла выщелачивания были проведены в течение 40 сут с августа по октябрь.

В первые 3 сут на штабели подавали кислые подотвальные воды для увлажнения рудной массы; критерием завершения процесса являлось появление растворов в основании штабелей. Следующие 20 сут проводилось закисление штабелей при минимальном дебите орошения – до 15 л / (м²·сут). При этом растворы полностью поглощались рудной массой. Дренажная система в этот период задействована не была, что обеспечило продуктивный расход серной кислоты и интенсификацию окислительных процессов. Следует отметить, что при ливневых дождях в зумпфы штабелей отходов сепарации и отвальной руды дополнительно поступило соответственно 1260 дм³ и 1100 дм³ продуктивных растворов с $pH \sim 1,5$. Анализ изменения содержания меди в этих растворах показал нарастающую динамику перехода ионов меди в раствор. Так, если в исходном растворе, подаваемом на штабели и приготовленном на основе подотвальных вод, содержание меди составляло 287 мг/дм³, то уже с первыми поступлениями продуктивного раствора после дождей содержание меди в зумпфе увеличилось в среднем до 2000 мг/дм³. Последующие поступления растворов в зумпф характеризовались еще большей концентрацией меди, и к завершению цикла закисления из-под штабеля

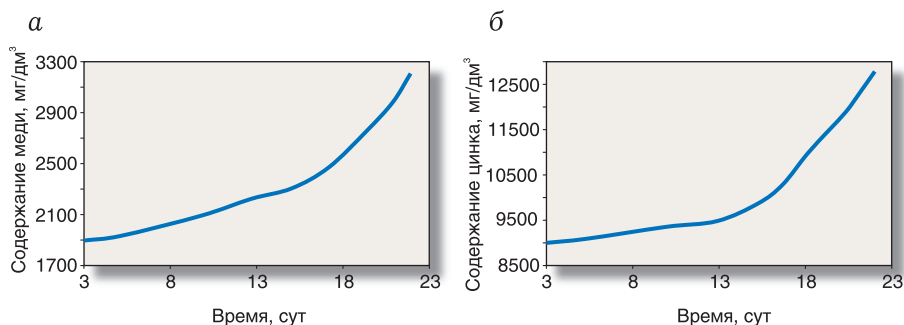


Рис. 4. Динамика изменения среднего содержания меди (а) и цинка (б) в растворах, поступающих со штабеля отходов рентгенорадиометрической сепарации в период закисления (дождевой сток)

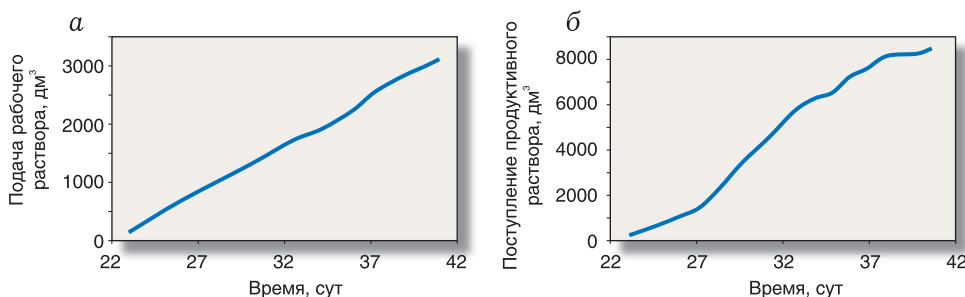


Рис. 5. График подачи раствора на штабель отходов рентгенометрической сепарации (а) и динамика поступления раствора в зумпф (б) в рабочем режиме выщелачивания

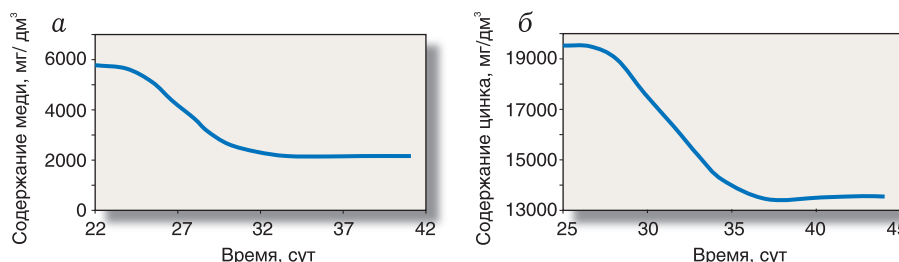


Рис. 6. Динамика изменения среднего содержания меди (а) и цинка (б) в продуктивном растворе, поступившем на переработку в ходе рабочего режима выщелачивания

выходил раствор с содержанием меди более 5500 мг/дм³. Средневзвешенное содержание меди в растворе, поступившем со штабеля отходов сепарации, составило 3197,69 мг/дм³. Аналогичной была и динамика выщелачивания цинка (рис. 4).

После закисления в последующие 20 сут штабеля орошали в рабочем режиме. График подачи рабочего агента на штабель отходов сепарации и динамика поступления продуктивного раствора в режиме активного выщелачивания в зумпф показаны на рис. 5. Изменение расхода выщелачивающего раствора за весь период промывки происходило в диапазоне от 1,3 до 3,5 л/(м²·сут) и зависело от интенсивности выпадения атмосферных осадков. Среднесуточный расход выщелачивающего раствора, поданного на штабель в рабочем режиме, составил 1,84 л/(м²·сут). Всего на штабель было подано 3150 дм³ рабочего раствора, при этом в зумпф поступило около 9000 дм³ продуктивного раствора. Избыточный водный баланс участка выщелачивания связан с выпадением осадков.

В первые 2 сут активного выщелачивания штабеля отходов сепарации концентрация меди в поступающем продуктивном растворе достигала 5800 мг/дм³, что связано с выносом образовавшихся в процессе закисления легкорастворимых минераль-

ных форм. Затем, в течение 9 сут, наблюдалось некоторое снижение концентрации меди в продуктивном растворе – до 3500 мг/дм³. В дальнейшем, вплоть до наступления отрицательных температур, оно было достаточно стабильным – не ниже 2000 мг/дм³ (рис. 6).

Общий объем продуктивного раствора, полученного со штабеля отходов рентгенометрической сепарации фракции –40+5 мм, составил 9390 дм³, среднее содержание в нем меди – 3860,4 мг/дм³. Расчетное извлечение металлов из 91,8 т отходов радиометрической сепарации за 24 сут активного выщелачивания в естественных атмосферных условиях составило: по меди – 6,84, цинку – 5,73 % при исходном содержании в них меди 0,55 % (504,9 кг) и цинка 2,77 % (2478,6 кг). В результате выщелачивания штабеля отвальной руды фракции –250+5 мм получено 8390 дм³ продуктивного раствора. Расчетное извлечение металлов из 82,3 т забалансовой отвальной руды со средним содержанием меди 0,42 % (345,66 кг) и цинка 1,01 % (831,23 кг) за весь период опытно-промышленных работ с учетом дождей и снега составило: по меди – 5,47 % (18,9 кг), по цинку – 10,13 % (84,21 кг).

Высокие концентрации меди в продуктивных растворах сернокислотного выще-

лачивания бедных руд свидетельствуют о возможности их эффективной переработки в промышленных условиях методом «экстракция-электролиз».

Для оценки возможности получения товарной меди в условиях горного производства применялась технология ее цементации на железном скрапе. Цементация осуществлялась в цементаторах периодического действия. Среднее содержание меди в цементате, полученном в ходе стендовых испытаний, составило 65,2 %. Суммарное извлечение меди из продуктивных растворов было обеспечено на уровне 91,2 %. Эффективность цементации в условиях опытно-промышленных испытаний была достаточно высокой, что указывает на перспективность извлечения меди из отвальных руд в промышленных масштабах.

Переработка техногенного сырья методом кучного выщелачивания позволит существенно восполнить минерально-сырьевую базу Учалинского ГОКа, снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, сократить экологические платежи горнодобывающего предприятия, уменьшить размеры земельного отвода, утилизировать отходы выщелачивания в выработанном подземном пространстве, а также получить дополнительную товарную продукцию. ■

Development of leaching technology for ore mining wastes

V. P. Krasavin, D. N. Radchenko, D. A. Milkin, A. G. Zvyagintsev, A. M. Pechkov

The article describes pilot application of the technology for leaching of dump ores of the Uchalinskoe deposit and wastes of X-ray radiometric separation of low-grade ores. The authors present the results of the pilot technology application and prove the feasibility of mineral recovery by method of heap leaching at the technogenic deposits of the Uchalinsky GOK.

Key words: Uchalinsky GOK, mining wastes, dump ore, non-ferrous metals, waste rocks, heap leaching, pilot operation, leaching conditions