

УДК 622.227(088)

ПЕРЕРАБОТКА ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЗДИНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ

Кожоголов К.Ч., Жалгасулы Н., Бектибаев У.А.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук КР
(г. Бишкек, Кыргызстан),
Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан)

В статье рассматривается ранее несовершенством обогатительных процессов, применяемых на Жездинской обогатительной фабрике, в отвале накоплено хвосты довольно высоким содержанием марганца (от 10 до 15%). В настоящее время масса хвостов в хвостохранилище достигла 2500000т и размещены в двух полигонах, расположенных близко к поселку Жезды Улытауской области Казахстана (в пределах 1-1,5 км). Такое положение приводит к загрязнению окружающей среды и бесполезному задалживанию ценной земельной площади. Лаборатория «Физико-химических способов переработки минерального сырья» Института горного дела им. Д.А. Кунаева проводил исследования по определению возможности выщелачивания марганца из хвостов обогащения, а также разработке рекомендации по использованию техногенных отходов.

Ключевые слова: хвосты обогащения, марганец, переработка, кремний, железа, калий, удобрение, пегматит.

ЖЕЗДИНСКИЙДЕГИ БАЙЫТУУ ФАБРИКАСЫНЫН КАЛДЫКТАРЫН ШАЙМАЛОО МЕНЕН КАЙРА ИШТЕТҮҮ

Кожоголов К.Ч., Жалгасулы Н., Бектибаев У.А.

КР Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын
ездөштүрүү институту (Бишкек ш.),
Д.А. Кунаев атындагы Тоо-кен иштери институту (Алматы ш., Казахстан)

Макалада мурда Жездинскийдеги байытуу фабрикасында колдонулган байытуу процесстеринин жеткилеңсиздиги, калдыктардын

курамында марганецтин курамы кыйла жогору (10дон 15% га чейин) топтолгону каралат. Учурда калдык сактагычтагы калдыктардын массасы 2500000 тоннага жетип, Казакстандын Улытау облусунун Жезды кыштагына жакын жайгашкан (1-1,5 км аралыкта) эки полигондо жайгашкан. Мындай абал айлана-чөйрөнүн булганышына жана баалуу жер аянтынын пайдасыз берилишине алып келет. Тоо-кен иштери институтунун "минералдык сырьену кайра иштетүүнүн физикалык-химиялык ыкмалары" лабораториясы. Д.а. Кунаева марганецти байытуучу калдыктардан жуу мүмкүнчүлүгүн аныктоо, ошондой эле техногендик калдыктарды пайдалануу боюнча сунуштарды иштеп чыгуу боюнча изилдөөлөрдү жүргүзгөн.

Баштапкы сөздөр: байытуу калдыктары, марганец, кайра иштетүү, кремний, темир, калий, жер семирткич, пегматит.

PROCESSING OF TAILINGS FROM THE ZHEZDINSKY PROCESSING FACTORY BY LEACHING

Kozhagulov K.Ch., Zhalgasuly N., Bektibaev U.A.

Institute of Geomechanics and development of subsoil of the National academy of sciences of the Kyrgyz Republic (Bishkek),
Institute of Mining D.A. Kunaev (Almaty, Kazakhstan)

The article considers earlier the imperfection of the enrichment processes used at the Zhezdinsky enrichment plant; tailings with a rather high manganese content (from 10 to 15%) have been accumulated in the dump. Currently, the mass of tailings in the tailings has reached 2,500,000 tons and is located in two landfills located close to the Zhezdy village of the Ulytau region of Kazakhstan (within 1-1.5 km). This situation leads to pollution of the environment and useless arrears of valuable land. Laboratory of "Physical and chemical methods of processing of mineral raw materials" of the Institute of Mining. YES. Kunaeva conducted research to determine the possibility of manganese leaching from enrichment tailings, as well as to develop recommendations for the use of man-made waste.

Key words: enrichment tailings, manganese, processing, silicon, iron, potassium, fertilizer, pegmatite.

Введение

Ресурсы и запасы марганцевых руд выявлены в 56 странах мира. Общие запасы марганца в мире составляют 8,5 млрд. т, подтвержденные – 3,5 млрд. т. Основные месторождения сосредоточены в десяти странах –

ЮАР, Украине, Казахстане, России, Габоне, Грузии, Австралии, Бразилии, Китае, Болгарии, Индии. Запасы каждой из этих стран превышают 100 млн. т. Самые высокосортные руды (концентрации оксидов марганца – 40–45%) – в ЮАР, Габоне, Австралии и Бразилии, однако в мировом балансе богатые руды составляют не более трети. В распоряжении остальных стран находится сырье среднего и низкого качества (содержание марганца – 20–30%).[12] Ведущими поставщиками сырья на мировые рынки являются Австралия, ЮАР, Габон, Бразилия, Намибия, Гана, Индонезия, Индия и Вьетнам. Около 13 млн. т марганцевой руды идет на экспорт, причем 76% поставок пришлось всего на четыре страны – Австралию, Бразилию, Габон и ЮАР. Африканские страны (кроме ЮАР) и Австралия почти не имеют собственного ферропроизводства, поэтому 90% руды продают на мировых рынках. Основные потребители марганцевого сырья – страны, располагающие развитой ферросплавной промышленностью, – Китай, ЮАР, Украина, Россия, Япония, Бразилия, Индия, Казахстан и Норвегия [1].

В последнее десятилетие заметно наблюдается развитие марганцевой отрасли ферросплавного производства Казахстана. Если в бывшем СССР Казахстан, располагая значительными запасами марганцевых руд, не производил марганцевые ферросплавы, то в настоящее время производителем марганцевых сплавов является Аксуский завод ферросплавов, ТОО «Темиртауский электрометаллургический комбинат» и ТОО «Таразский металлургический завод» [1]. Мероприятия по освоению технологии производства марганцевых сплавов в Казахстане начато еще в 1991 году по инициативе Химико-металлургического института. На Аксуском заводе ферросплавов выплавка ферросиликомарганца начата в 1994 году переводом печи № 11 с выплавки ферросилиция на производство ферросиликомарганца. Суммарный объем марганцевых сплавов производимых этими предприятиями в данное время достигает 180-200

тыс.т в год, что потребует поставок более 600 тыс.т марганцевого концентрата, кондиционного для ферросплавного передела. Кроме того, марганцевые руды Казахстана поставляются в Россию на Челябинский электрометаллургический комбинат (ЧЭМК) и Серовский завод ферросплавов (СЗФ) [2-11]. Спрос на сплавы марганца, выплавляемые из казахстанских низкофосфористых концентратов, возрастает с каждым годом. Увеличиваются объемы добычи марганцевых руд. Так, с 1991 г. по 2003 г. добыча марганцевых руд в Казахстане увеличилась в 8,5 раз [12]. Доля потребности в марганцевых сплавах в Казахстане достигает 70 тыс.т в год, из них 60 тыс.т приходится на Карагандинский металлургический комбинат. Запасы марганцевого сырья и имеющиеся производственные мощности Казахстана позволяют не только покрыть указанные потребности, но и экспортировать марганцевые ферросплавы, как в ближнее, так и в дальнее зарубежье. В России собственная сырьевая база обеспечивает сталеплавильное производство марганцевыми сплавами примерно на 60 %. Например, Россия импортирует марганцевые сплавы из Украины и Казахстана (350 тыс.т в год), что может вызвать в ближайшей перспективе рост на спрос низкофосфористых марганцевых сплавов Казахстана в России [13].

В настоящее время добываются и перерабатываются окисленные марганцевые руды, доля которых составляет около 4 % и эти руды не требуют больших затрат на обогащение. Переработка этих руд ведется на простых передвижных дробильно-сортировочных установках и реже на дробильно-сортировочных фабриках.

Жездинская обогатительная фабрика в связи с исчерпанием запасов марганцевых руд работает не на полную мощность и на привозном сырье (месторождения «Тур» и «Камыс»). Запасы эксплуатируемых богатых окисленных марганцевых руд Казахстана ограничены, а применяемые методы их обогащения и подготовки к металлургическому переделу малоэффективны. Связано это, прежде

всего, со значительными потерями марганца (до 50 %) [15, 16]. Обеспеченность разведанными запасами окисленных марганцевых руд в условиях постоянного увеличения их объемов ежегодной добычи составляет менее 10 лет.

Жездинские руды плотные, крепкие, труднообогатимые (объемная масса 2,4—2,6 т/м³). Концентраты с содержанием марганца более 45 % могут быть получены только при тонком измельчении (до 0,15 мм) и при применении сложных схем обогащения. Однако выход концентрата не превышает 10 %. По схеме гравитационно магнитного обогащения, разработанной ЦНИИЧМ можно получать концентрат с содержанием Mn 30-32 % и 5Юг 30-35 %. Основным рудообразующим минералом в этих рудах является браунит (80-90 %), марганец находится в виде пиролюзита, псиломелана и манганита [43]. Жездинские руды характеризуются низким содержанием фосфора и высоким содержанием кремнезема. Также в этих рудах содержатся десятые доли процента свинца, сотые доли меди и титана, тысячные доли кобальта, молибдена, а также таллия. Присутствует барий (в среднем 2,36 % BaO). Запасы Жездинских марганцевых руд составляют около 6 млн.т, со средним содержанием марганца 16 % [2].

Материалы и методы исследования

Анализ мирового опыта подготовки марганцевых руд к металлургическому переделу показал, что за рубежом из методов окускования широко распространены и успешно применяются агломерация, окомкование и брикетирование. При этом предпочтение отдается агломерации. Выбор того или иного способа окускования зависит от качества руд, его физико-химических свойств и т.д. Казахстанские марганцевые руды, как было отмечено выше, имеют свои отличия. Отличительными признаками мелких марганцевых руд Казахстана является их легкоплавкость, что не позволяет вести

процессы агломерации и последующую выплавку из них ферросиликомарганца по традиционным технологиям.

Лаборатория «Физико-химических способов переработки минерального сырья» Института горного дела им. Д.А. Кунаева проводили лабораторных экспериментов были использованы технологические пробы хвостов следующего фракционного состава, %: +1,0 мм -10,9; -1,0 +0,4 мм - 18,4; -0,4+0,315 мм - 18; 0,315 + 0,2 мм - 19,85; 0,2+0,16 мм - 7,7; 0,16+ 0,1 мм - 4,05; 0,1-0,05 мм- 12,8; -0,05 + 0мм - 4,5.

Исходные хвосты с целью улучшения результатов выщелачивания доизмельчались до следующего фракционного состава, %: + 1,0 мм - 0; - 1,0+0,4 мм - 1,74; -0,4 +0,315 мм - 10,27; 0,315-0,2 мм - 18,76; 0,2+0,16 мм - 28,08; 0,16+0,1 мм - 32,81; -0,1-+0,05 мм - 6,66; -0,05+0 мм - 1,68.

Очевидно, что получился более равномерный и тонкий материал.

Крупная фракция + 1,0 мм отсутствует, а фракции - 1,0+0,4 мм всего 1,74%. Общая фракция + 0,2 мм снизилась до 31%.

Средний химический состав хвостов следующий, %: кремний -55,4; алюминий -11,7; железа – 3,26; титан -0,25; кальций-1,86; магний -0,9; марганец -10,7; фосфор -0,32; калий-6,45; натрий -0,9.

Навеска хвостов во всех вариантах постоянна - 100 г, соотношение Ж: Т=3: 1. В процессе выщелачивания исследовалось влияние следующих факторов: различных концентраций серной и соляной кислот на извлечение марганца из исходных хвостов и до измельченных; добавок на извлечение марганца из исходных хвостов: различных температур на извлечение марганца из исходных хвостов [3].

Результаты и обсуждение

Марганец — серебристо-белый металл, обладающий следующими свойствами: плотность — 7,21-8,44 г/см³ ; твердость — 400-420 кг/мм²; удельная теплоемкость при 298 К — 0,478 кДж/(кг·К); теплопроводность при 298 К - 66,57 Вт/(м·К); удельная магнитная восприимчивость —

$0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{кг}$; удельное электрическое сопротивление $-(1,5-2,6) \cdot 10^{-6}, 0$ мм; марганец имеет степени окисления от +2 до +7, но наиболее характерное его состояние +2, +4, +7. Кларк марганца в литосфере составляет 0,1%. В природных системах марганец входит в геохимическую триаду Fe-Mn-Al. В рудах большинства марганецсодержащих месторождений Mn представлен преимущественно разнообразными оксидами и гидроксидами, карбонатами, отчасти силикатами и в гораздо меньшей мере сульфидами. Известно около 150 минералов, в решетку которых входит этот металл [4-6].

Данные исследований приведены в таблице 1 и на рис. 1, 2. В варианте 1 наиболее высокие показатели получены при использовании раствора 50 г/л H_2SO_4 . Здесь выход металла по сравнению с 10 г/л серной кислоты резко увеличился. На рисунках показаны результаты выщелачивание исходного материала, которой дает извлечение марганца 20,1% (почти в 4 раза больше), то для доизмельченного -72,5 % (выше в 5,8 раза).

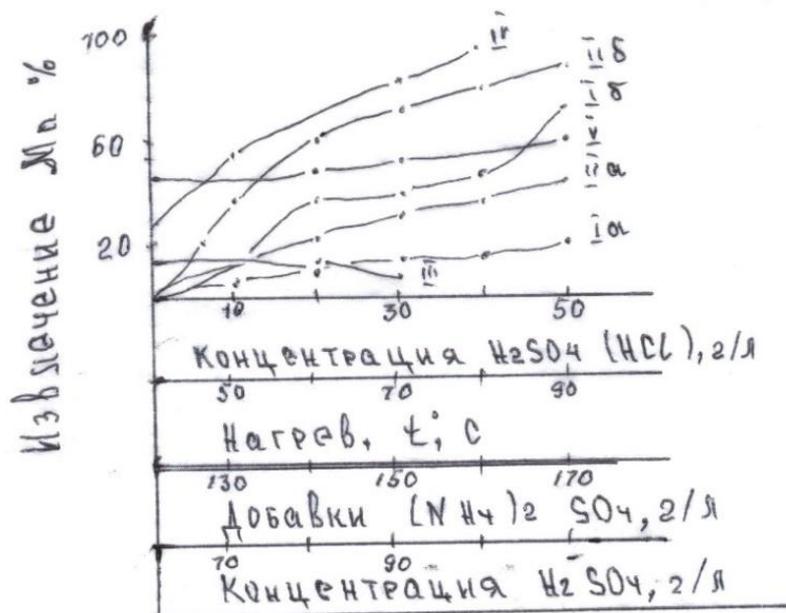


Рис. 1 - Зависимость извлечения марганца из хвостов обогащения Жездинской ОФ от технологических параметров выщелачивания.

Ia - кривая зависимости извлечения марганца из исходных хвостов от концентраций серной кислоты 10-50 г/л; 16 - то же, на доизмельченных хвостов;

II а-кривая зависимости извлечения марганца из исходных хвостов от концентраций соляной кислоты 10-50 г/л; 116 - то же, из доизмельченных хвостов;

III- кривая зависимости извлечения марганца из исходных хвостов от концентрации серной кислоты 50- 90 г/л;

IV - кривая зависимости извлечения марганца при концентрации серной кислоты 10 г/л от температуры 40- 80 °С;

V - то же, от концентраций добавки сернокислого аммония 130-170 г/л

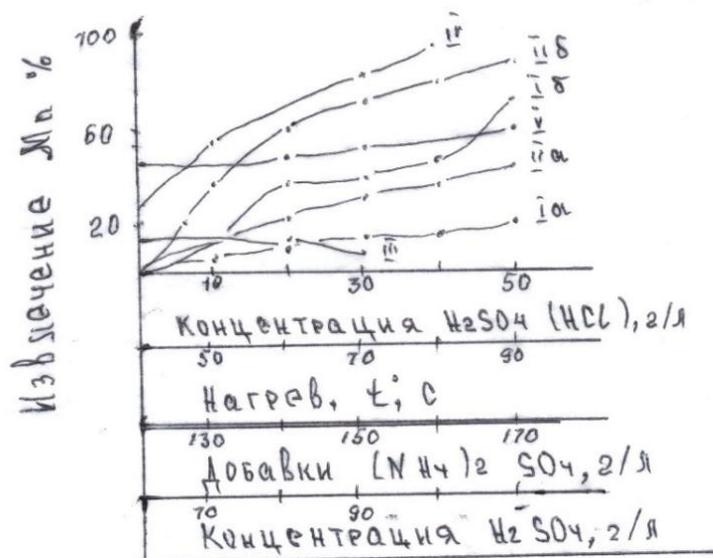


Рис.2 -Зависимость расхода кислоты от технологических параметров при выщелачивании марганца из хвостов обогащения Жездинской обогатительной фабрики. Обозначения кривых те же, что на рисунке 1 материала дает извлечение марганца 20,1% (почти в 4 раза больше), то для доизмельченного материала - 72,3% (выше в 5,8 раза).

Расход кислоты при выщелачивании исходного материала составляет 0,9 т/т металла, а при выщелачивании доизмельченного материала- 1,4 т/т. Следует отметить, что с увеличением концентрации серной кислоты увеличивается ее удельный расход, а извлечение металла из исходных хвостов остается сравнительно низким. Для доизмельченного материала

эти показатели значительно выше. Рассматривая последний вариант, можно сказать, что с доизмельчением извлечение металла увеличилось в 3,5 раза, а расход кислоты в 1,5 раза. В связи с тем, что с увеличением концентрации серной кислоты выход марганца из исходных хвостов оказался сравнительно низким, а при доизмельчении высокие показатели извлечения связано со значительными материальными затратами, связанных многократности серии опытов с применением соляной кислоты [7-9].

При концентрации соляной кислоты 10 г/л извлечение марганца из исходного материала соответствовало 13,1%, а из доизмельченного - 21,2%: расходы кислоты составляли соответственно 0,82 и 1,1 т/т металла. В опыте 5 (50 г/л HCl) извлечение марганца значительно увеличилось и составило 43,1% из исходных и 88,2% из дополнительно измельченных хвостов, расход кислоты - соответственно 1,5 и 7,1 т/т металла. Несмотря на то, что извлечение марганца при реакциях соляной кислоты значительно выше, чем при применении серной кислоты (на 15,9%) расход кислоты увеличился в 5 раз (7,1 т/т), что экономически нецелесообразно.

Полученные данные послужили основанием для проведения дальнейших исследований по выщелачиванию исходных хвостов с применением серной кислоты более высокой концентрации, а также нагреванием и применением добавок. Можно заметить, что с увеличением концентрации серной кислоты уменьшается извлечение металла в раствор, а также снижается расход кислоты (см. таблице 1).

Таблица 1- Влияние различных параметров на выщелачивание марганца из хвостов обогащения.

Варианты	Номера опытов	Концентрация кислоты, г/л	Извлечение марганца из хвостов, %		Расход кислоты, т/т марганца	
	1	10	5,7	12,4	0,13	0,54

1	2	20	10,2	36,2	0,24	0,68
	3	30	13,5	38,4	0,51	0,83
	4	40	14,1	45,9	0,61	0,92
	5	50	20,1	72,3	0,9	1,4
2	1	10	13,1	21,2	0,82	1,1
	2	20	22,3	60,3	0,54	3,5
	3	30	31,0	71,4	0,99	4,2
	4	40	35,2	79,3	1,2	5,9
	5	50	43,1	88,2	1,5	7,1
3	1	60	13,5	-	0,9	-
	2	70	13,8	-	0,81	-
	3	80	11,6	-	0,64	-
	4	90	7,1	-	0,42	-
4	1	10	26,1	-	0,68	-
	2	10	53,7	-	0,82	-
	3	10	82,0	-	1,18	-
	4	10	95,4	-	1,2	-
5	1	10	45	-	0,68	-
	2	10	48	-	0,69	-
	3	10	51	-	0,72	-
	4	10	60	-	0,80	-

При концентрации H_2SO_4 -60 г/л извлечение составляло 13,5%, а расход ее - 0,9 т/т металла, тогда как при концентрации H_2SO_4 , -90 г/л извлечение марганца снизилось до 7,1%, а расход кислоты - до 0,42 т/т металла. Эти данные подтверждают мнение о том, что увеличение концентрации серной кислоты не приводит к желаемому эффекту при выщелачивании карбонат содержащих пород, так как в результате взаимодействия карбонатов с серной кислотой образуется нерастворимый осадок - гипс. В результате гипсования происходит

кольматация пор и трещин в руде и выход металла в раствор заметно снижается. Для ускорения процесса выщелачивания необходимо увеличение температуры до 90°C.

В связи с этим были проведены исследования влияния температуры на выщелачивание марганца из исходных хвостов разбавленной H₂SO₄. Концентрация H₂SO₄ во всех вариантах была постоянной - 10 г/л.

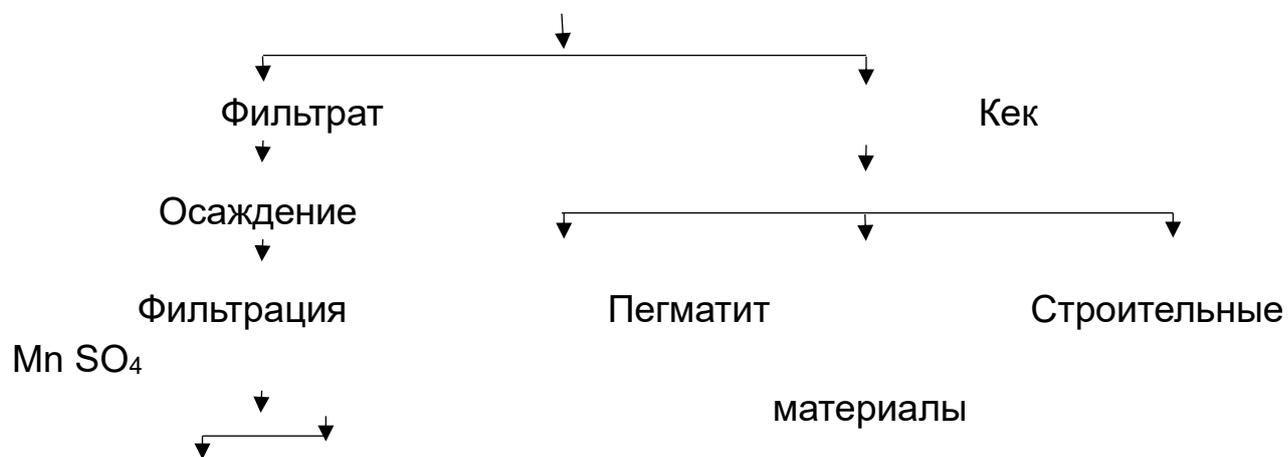
Как видно из данных, приведенных в таблице, при увеличении температуры повышается извлечение металла в раствор, причем расход кислоты возрастает незначительно. Так, при температуре 80°C извлечение марганца составило 95,4%, удельный расход кислоты - 1,2 т/т металла. В связи с тем, что при агитационном выщелачивании процесс нагревания имеет свои трудности, были проведены исследования по выщелачиванию исходных хвостов серной кислотой, той же концентрации без нагревания, но с применением добавки сернокислого аммония концентрацией 120, 140, 150, 170 г/л.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации сернокислого аммония повышается извлечение марганца в раствор и незначительно увеличивается расход кислоты. Так, в варианте со 120 г/л (NH₄)SO₄, извлечение марганца в раствор составляло 45% удельный расход кислоты - 0,68 т/т металла, а при 170 г/л (NH₄)SO₄, извлечение марганца увеличилось до 60%, расход кислоты - до 0,89 т/т металла. Сравнивая показатели по выходу марганца при увеличении температуры с показателями при применении добавок, можно отметить, что, несомненно, такой фактор, как температура, оказывает более благоприятное воздействие на процесс выщелачивания марганца, чем увеличение концентрации кислот, доизмельчение и применение добавок [10-13].

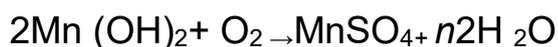
Кроме того, добавки в виде солей аммония отрицательно сказываются на процессе осаждения марганца из раствора, так как при

взаимодействии марганца с солями аммония образуется растворимый комплекс.

Дальнейшая переработка продуктов выщелачивания предусматривается по технологической схеме:



После выщелачивания смесь, подается на фильтрацию. Фильтрат с содержанием марганца около 90% идет на осаждение. Осаждение проводили водным раствором аммиака на водяной бане при температуре 80°C для быстрой коагуляции осадка. Выбор водного раствора аммиака в качестве осадителя был связан с тем, что при использовании известкового молока или извести в процессе осаждения, согласно данным Института металлургии и обогащения НАН РК, образуется довольно загрязненный и разубоженный осадок. Основные компоненты размазываются по продуктам осаждения, чего не наблюдалось при использовании аммиака. При осаждении образуется гидроксид марганца, который на воздухе окисляется с образованием оксида марганца:



Кроме гидроксида марганца, может также образовываться окси-гидрат марганца $\text{MnO} \cdot \text{H}_2\text{O}$, который также реакционноспособен, как MnO . Плотность $\rho = 5,026 \text{ г/см}^3$, порошок черный, кристаллический.

Кроме марганца, при выщелачивании серной кислотой в незначительном количестве реагируют примеси, образуя соответствующие сульфаты.

Аналогично идет образование соответствующих гидроксидов при взаимодействии сульфатов примесей с раствором аммиака. Изменение pH среды в процессе осаждения возрастало в щелочную сторону. Начальное pH 3, конечное 9. Из этих показателей видно, что остаточная кислотность полностью нейтрализовалась раствором аммиака. В результате осаждения был получен осадок со следующим содержанием основных компонентов, %: Mn - 72,3;

Fe_2O_3 - 20,0; Al_2O_3 - 4,1; CaO - 0,5; MgO - 0,3; P_2O_5 - 0,05.

Удельный расход водного 40% -ного раствора аммиака составил -0,053 т/т металла (Mn). Если фильтрат направлять вместо осаждения на электролиз, предварительно очистив от сульфата железа, можно получить дефицитный электролитический оксид марганца.

Фильтрат после осаждения с незначительным содержанием Mn, P_2O_5 и солью $(NH_4)_2SO_4$ рекомендуется применять в качестве минерального удобрения для внекорневой подкормки всех видов сельскохозяйственных культур.

Кек после фильтрации с содержанием марганца около 0,5% может быть использован для изготовления строительных материалов, получения пегматита или производства минерального марганцевого удобрения, которое приготавливается следующим способом: кек смешивают с древесными опилками и обрабатывают 98% серной кислотой. Получается спекшаяся рассыпчатая масса, содержащая марганец в виде $MnSO_4$, которую разбавляют землей или песком. При обработке водой этого продукта получаемый раствор имеет pH 3-4. В кеке остаются полевошпатовые породы, представленные калиевой разновидностью [14-15].

Поскольку калиевые полевые шпаты являются остродефицитным сырьем для электроизоляционной и абразивной промышленности, в перспективе целесообразно проведения лабораторных исследований по изучению возможности попутного получения пегматита из отходов выщелачивания (кека).

Из результатов исследований следует, что хвосты Жездинской обогатительной фабрики являются ценным комплексным сырьем. По физико-химическим свойствам они являются достаточно хорошим материалом для выщелачивания марганца. Отходы выщелачивания используются как сырье для изготовления стройматериалов или применяются в сельском хозяйстве как удобрения. Так как процесс лабораторного выщелачивания является моделью метода чанового выщелачивания, то можно предполагать получение положительных результатов при внедрении чанового выщелачивания марганца из хвостов обогащения.

Наиболее простым способом осаждения марганца из растворов является в виде гидроксида марганца 40% водным раствором аммиака. В результате осаждения образуется осадок, по соотношению компонентов соответствующий по ГОСТу марке ферромарганец ФМ6.

Выводы

1. На основании результатов проведенных исследований рекомендуется провести полупромышленные испытания разработанной технологии переработки хвостов обогащения Жездинской обогатительной фабрики непосредственно на предприятии.
2. Отходы выщелачивания используются как сырье для изготовления стройматериалов или применяются в сельском хозяйстве как удобрения.
3. При увеличении температуры повышается извлечение металла в раствор, причем расход кислоты возрастает незначительно. Так, при температуре 80°C извлечение марганца составило 95,4%, удельный расход кислоты - 1,2 т/т металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Даруеш Г. С. Исследование гравитационной обогатимости и разработка технологии переработки лежалых марганцевых хвостов с получением концентрата с содержанием марганца не менее 38%. - магистерская диссертация, Алматы, 2019).
2. Металлургическая переработка марганцевых руд месторождения «Тур» и «Западный Камыс» / А. К. Жунусов, Л. Б. Толымбекова. - Павлодар: Кереку, 2016. - 209 с.
3. Жалгасулы Н., Когут А.В., Исмаилова А.А. Исследование выщелачиваемости медных руд Жезказганского месторождения. Горные науки и технологии. 2018;(2):14-22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-14-20>
4. Синянская О.М. Разработка и обоснование параметров технологии переработки смешанных медных руд Жезказганского региона: диссертация, кандидата Технические науки: 25.00.13, Магнитогорск, 2019.- 170 с.
5. Адамов, Э. В. Комбинированные технологии переработки руд цветных металлов / Э. В. Адамов, В. А. Бочаров, В. В. Панин, Д. Д. Воронин // Сборник материалов IV Конгресса обогатителей стран СНГ. - М.: МИСиС, 2003. - Том 1. -С. 53-54.
6. Аксенов, А. В. Кучное выщелачивание меди из окисленных руд. Особенности процесса применительно к российским климатическим условиям / А. В. Аксёнов, А. А. Васильев, А. Г. Никитенко // Вестник ИрГТУ. - 2014. - №1 (84) - С.72-75.
7. Ашихмин, А. А. Геолого-экономические и организационные аспекты формирования программ развития горно-обогатительных комбинатов медной промышленности на основе внедрения гидрометаллургических технологий переработки руд и концентратов / А. А. Ашихмин, Т. А. Дмитриева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2006. - № 12. - С.341-348.

8. Бабич И. Н. Селективная флотация сульфидных и окисленных минералов в комбинированной технологии переработки медных руд Удоканского месторождения / И. Н. Бабич, Э. В. Адамов // Сборник материалов V Конгресса обогатителей стран СНГ. - М.: МИСиС, 2005. - Том IV. - С. 20-23.
9. Горлова О. Е. Разработка и опытно-промышленные испытания комбинированной технологии переработки отвала труднообогатимых смешанных медных руд месторождения Таскора / О. Е. Горлова, А. Б. Юн, О. М. Синянская, Н. Л. Медяник // Цветные металлы. - 2018. - №12. - С.14-20.
10. Денисов М. Э. Технология переработки медной руды Удоканского месторождения с предварительным сернокислотным выщелачиванием / М. Э. Денисов, Б. П. Руднев, Л. Н. Крылова, Ю. С. Кучмина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015.- №10. - С.100-104.
11. Захарьян С. В. Исследование сорбционных методов извлечения рения из промывной кислоты и разработка технологии получения высокочистого перрената аммония: дис. канд. техн. наук: 05.16.02 / Захарьян Семен Владимирович. - Москва, 2012. - 124 с.
12. Захарьян С. В. Повышение экологической безопасности на предприятиях цветной металлургии за счет использования сорбционных процессов / С. В. Захарьян, Э. И. Гедгагов, А. Б. Юн // Экология и промышленность России. - 2018. - Т.22. - №1. - С.26-32.
13. Медведев О. С. Методы переработки техногенных минеральных образований на предприятиях ТОО «Корпорация Казахмыс» и пути их совершенствования / О. С. Медведев, Е. А. Оспанов, А. А. Шахалов, Н. А. Оспанов // «Инновации в комплексной переработке минерального сырья»: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Абишевские чтения 2016. - Алматы, 2016 г. - С. 28-31.

14.Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. - Москва, 2007. - 39 с.

15.Халезов Б. Д. Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд / Б. Д. Халезов. - Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. - 332 с.