

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ВИНИТИ)

НАУЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Обзорная информация

Выпуск № 2

Издается с 1979 г.

Москва 2021

Выходит 6 раз в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – к.т.н. *И.И. Потапов*

Члены редакционной коллегии:

к.т.н. *В.А. Быков*, к.т.н. *М.П. Гречиков*,
д.т.н. *С.П. Пванков*, к.э.н. *А.Н. Лаверов*,
д.т.н. *С.М. Резер*, *Е.В.Карцева* (ученый секретарь),
к.т.н. *А.Г. Юдин*

ОТХОДЫ. МАЛООТХОДНАЯ И БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.36535/0869-1002-2021-02-1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Д.т.н., профессор С.П. Иванков, А.В. Троицкий, К. А. Скобелев

Содержание

Введение

1. Оценка перспективного объема техногенных ресурсов горно-обогатительного комплекса
2. Усовершенствование технологий переработки и утилизации различных видов техногенного сырья
 - 2.1. Золотосодержащие техногенные отходы
 - 2.2. Титансодержащие и оловянно-вольфрамовые техногенные отходы
 - 2.3. Техногенные отходы полиметаллических руд цветных металлов
 - 2.4. Техногенные отходы руд черных металлов
 - 2.5. Техногенные отходы обогащения угля
3. Экономические проблемы комплексного использования техногенного сырья и возможные пути их решения
4. Разработка эффективных комплексных малонапряженных технологий переработки и утилизации отходов горно-обогатительных комбинатов
5. Современные методы складирования текущих хвостов обогатительных фабрик
6. Создание технологии безотходной разработки техногенного сырья на основе применения мобильных комплексов

Выводы

Список литературы

Введение

Согласно "Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года", одобренной Правительством РФ в январе 2018 г., есть несколько приоритетных задач. К ним относятся развитие ресурсосбереже-

ния и специализированной отрасли промышленности по переработке, утилизации и обезвреживанию отходов, а также снижение на этой основе нагрузки на окружающую среду.

Целью стратегии является создание эффективной отрасли по переработке различных отходов, производства, в том числе горно-металлургической отрасли. Для этого необходимо формирование инфраструктуры, в том числе системы управления отраслью переработки отходов, а также условий для устойчивого научно-технологического развития данной отрасли. Для стимулирования переработки отходов необходимо предоставление субсидий на компенсацию части затрат по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, внедрение наилучших доступных технологий, создание условий для привлечения инвестиций на основе определения мер экономического регулирования развития отрасли (налогов, сборов, тарифов в сфере переработки отходов). Также могут стимулировать субсидии на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам и займам, привлеченным частными инвесторами, и комплексы льгот и преференций для предприятий, осуществляющих переработку отходов.

Для реализации, например, мусорной реформы необходим соответствующий механизм расширенной ответственности производителя за утилизацию отходов. Это означает, что производитель в конце жизненного цикла созданной им продукции должен выполнить установленные нормативы утилизации отходов или, в случае их невыполнения, заплатить экологический или утилизационный сбор. Кроме того, основным побудительным мотивом к сортировке отходов у населения являются экономические факторы: снижение тарифов на вывоз раздельно собранных отходов и возможность сдавать вторсырье за денежное вознаграждение. Очевидно, что тарифы на вывоз мусора должны быть адекватными реальным затратам на переработку отходов. Разница в существующих тарифах и потребностях в инвестициях на переработку отходов может быть частично компенсирована переработчику за счет доходов, полученных от использования вторичного сырья.

В последние десятилетия образование значительного количества отходов недропользования (техногенные месторождения) является результатом интенсивного развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Увеличение объемов добычи золота, цветных, редких, черных и др. обусловленное растущим спросом на эти металлы, с одной стороны, и резким сокращением легкодоступных запасов металлов в коренных рудах и, как следствие, снижением промышленных кондиций, с другой, послужили причиной активного вовлечения в переработку техногенных минеральных ресурсов.

1. Оценка перспективного объема техногенных ресурсов горно-обогатительного комплекса

В России по данным на 2017 г накоплено 12 млрд. т отходов горно-обогатительного комплекса, содержание ценных компонентов в которых позволяет рассматривать их как реальный ресурс в обеспечении России дополнительными металлами. Определенные потери металлов связаны с отвальными продуктами пирро- и гидрометаллургического передела [1].

На каждом горнодобывающем предприятии накоплены десятки миллионов тонн техногенных отходов недропользования, где скадировались некондиционные запасы, вскрышные породы, отвалы и отходы обогащения и металлургии.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых по состоянию на 2016 год учтены запасы порядка 440 месторождений техногенного происхождения. Из них золото и серебро содержится в 200 месторождениях, алмазы в 35, железо в 20 месторождениях.

По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» наибольший объем образования отходов производства и потребления в 2017 г. приходился на вид экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» и составил 5 786,2 млн т, или 93% от общего количества образованных отходов.

В ретроспективе за период с 2010 по 2017 годы количество ежегодно образующихся отходов недропользования увеличилось с 3 735 млн т до 6 221 млн т, что составляет увеличение на 66,5% [1].

Так, например, в Мурманской области можно выделить 17 крупных техногенных месторождений класса хвостовых отвалов, начало образования которых относится к 1940–1950-м гг. Особенности формирования, размещения, структурные признаки этих техногенных месторождений представлены в широком диапазоне, поэтому результаты анализа условий освоения этого класса отходов недропользования будут представительными и для других регионов России [2].

В табл. 1 представлены основные данные по хвостовым отвалам Мурманской области, взятые из ранее составленного Горным институтом Банка данных техногенных месторождений Мурманской области. Основные особенности сформированных хвостохранилищ охарактеризованы ниже.

1. В подавляющем большинстве отвалы хвостов обогащения, золыные и шлаковые отвалы расположены на дневной поверхности, что предопределяет открытый способ их разработки. Однако имеются случаи складирования хвостов обогащения и шлаков в подземных горных выработках как в качестве закладочного материала, так и складирования их в случае наличия токсичных компонентов, а также в редких случаях складирования материала с целью сохранения его природных свойств, которые могут измениться при хранении на поверхности.

2. Большим преимуществом техногенных месторождений является расположение их в уже освоенных районах, что не требует создания новой инфраструктуры, а размещение вблизи обогатительных производств позволяет использовать задействованные промышленные площадки и оборудование для переработки ТС. Эти факторы в значительной степени снижают капитальные и эксплуатационные затраты на освоение отходов недропользования, а техногенных месторождений отрицательное воздействие на окружающую природную среду.

3. Материал рассматриваемого класса техногенных месторождений чаще всего представляет собой пески различных подклассов крупности от тонких до крупных (до 2 мм). Гранулированные шлаки и хвосты слюдяного производства даже можно отнести к подклассу мелкого гравия. Это свойство в значительной мере определяет технологию добычи, начиная со вскрытия и заканчивая выбором транспорта, типами усреднительных складов и технологией повторной переработки. Эти же свойства будут определять меры по охране окружающей природы и безопасности ведения горных работ.

4. Химический состав хвостов показывает наличие полезных компонентов, присущих первоначальному перерабатываемым рудам. Причём остаточное содержание основных компонентов в хвостах достаточно высоко, что делает их пригодными для повторного извлечения. Эти хвосты содержат комплекс полезных компонентов, не извлеченных при первичном обогащении, которые

могут быть выделены при повторной переработке. Химический состав в значительной степени определяет экономику повторной переработки хвостов и их использования. Хвосты обогащения в Мурманской области по химическому составу и концентрациям отнесены к веществам 4-го класса опасности, что не потребует дополнительных мер безопасности при их добыче. [2]

Вышеперечисленные отходы недропользования по ранее опубликованным данным содержат огромное количество полезных компонентов. Хотя их содержание не всегда удовлетворяет требованиям производства, но можно привлекать большие инвестиции только на обогащение, так как на добычу и транспортировку этих отходов практически расходы минимальны. Кроме этого, отходы могут служить источником не только для горнодобывающего предприятия, но и для других видов производства, например, в качестве цементного сырья и других строительных материалов.

Содержание ценных компонентов в отходах обогащения достигает значений, сопоставимых с их содержанием в рудах, поэтому хвосты обогащения можно рассматривать как техногенные месторождения (отходы недропользования), переработка которых целесообразна и с экономической, и с экологической точек зрения. Интерес к техногенным месторождениям будет возрастать по мере истощения запасов крупных месторождений не только в России, но и в других странах, возрастающих потребностей промышленности, применения инновационных технологий переработки техногенных отходов [2].

Примером ценности горнопромышленных отходов могут служить техногенные отходы медной подотрасли Урала — 220 млн т хвостов обогащения, в которых среднее содержание меди (0,34-0,37%) в отвалах некондиционных руд и хвостах обогащения близко к кондиционным (0,35-0,5%). Наибольшую ценность в хвостах обогащения уральских руд представляют сера (30-50% общей стоимости хвостов), драгоценные металлы (25-45%), медь (10-20%) и цинк (10-15%).

Суммарная ценность металлов, накопленных в горнопромышленных отходах России и извлекаемых технологически, по оценкам специалистов, в 4 раза превышает стоимость их известных запасов в недрах, которые пока не используются. По общим запасам хвостохранилища уральских предприятий существенно превосходят многие месторождения. Кроме того, использование (в промышленных масштабах) отходов добычи и переработки полезных ископаемых обеспечит экологическую реабилитацию территорий, подверженных негативному воздействию объектов хозяйственной деятельности.

На обогатительных фабриках, перерабатывающих вольфрамо-молибденовые руды, не извлекаются от 22 до 60% меди, до 81% висмута, до 62% тантала, а также золото, серебро и другие элементы. На крупнейшем Тырныаузском комбинате, добывающем и перерабатывающем вольфрамо-молибденовые руды, кондиционными считаются руды с содержанием $> 0,1\% \text{WO}_3$. В хвостах его содержание превышает 0,04%. На долю кондиционных руд приходится всего 13,5% всей добытой горной массы. В этих рудах содержится лишь 34,6% полезного компонента. Некондиционные руды (86,5% добытой горной массы) уходят в отвал, унося с собой 65,4% металла, содержащегося в эксплуатационном блоке.

Изучение технологической пробы некондиционной руды Тырныаузского месторождения показало, что отвалы некондиционной руды — полноценное техногенное месторождение, пригодное для отработки, причем со значительно меньшими затратами, чем месторождения коренных руд [2, 3].

Основные характеристики хвостохранилищ Мурманской области

№ п/п	Предприятие	Хвостохранилище обогатительной фабрики	Время заполнения		Название и крупность хвостов, мм	Ресурс ТС, тыс. т (год учёта)	Полезные компоненты
			с	до			
1	АО «Кольская горно-металлургическая компания»	Комбинат «Печенганикель», ОФ-1, поле 1	1965	1974	Песок, до 0.1	250000 (2000)	Ni, Cu, Co, на цемент
2		То же, поле 2	1974	Действует		22375 (1994)	
3		ОФ-2	1945		Действует		Гранулированный шлак, до 2.5
4		Плавильный цех комбината «Печенганикель»	1945	Действует		Песок, до 1.0	
5		Мончегорская ОФ	1935		1978		То же
6	ООО «Повозёрский ГОК»	ОФ «Карнасурт», поле 1	1951	1987	> 9000 (2000)	Nb ₂ O ₅ , Na ₂ O, K ₂ O	
7		То же, поле 2	1987	Действует			> 16000 (2000)
8		ОФ «Умбозеро»	1984	Законсервировано			
9	АО «Олкон»	ДОФ, основное	1954	Действует	Песок, до 1.6	> 422810 (2012)	Fe ₂ O ₃ , на силикатный кирпич
10		То же, аварийное		То же		> 9800 (2012)	
11	АО «Ковдорский ГОК»	МОФ, поле 1	1962	1981	Песок, до 2.5	Отработано, > 60 000	P ₂ O ₅ , ZrO ₂ , MgO, CaO
12		МОФ, поле 2	1981	Действует		> 270000(2012)	
13	АО «Апатит»	АНОФ-1 (16 км)	1957	1963	Песок, до 0.02	24000	P ₂ O ₅ , TiO ₂ , AbO
14		АНОФ-2	1968	Действует	Песок, до 0.25	> 630000(2012)	
15		АНОФ-3	1963	То же	Песок, до 0.25	> 268000(2012)	
16	АО «Ковдорсклуда»	Вермикулитовая ОФ	1955	»	Песок, гравий, до 50	5920(1995)	Оливин, вермикулит, диопсид

Таблица 2

Техногенные месторождения олова, меди и вольфрама в Российской Федерации

№ пп	Месторождение	Вид ПИ	Запасы по состоянию на 01.01.2019 категорий	
			ABC1	C2
Олово				
1	Хвостохранилище №3 Хинганского ГОКа *	Олово, т		4826
2	Буревестник руч., лев. пр.рч.Депутатская (техногенная россыль) **	Олово, т	2804	
3	Депутатская рч. (Депутатское техногенное)	Олово, т	133	755
4	Орел руч., лев. пр.рч.Депутатской (техногенная россыль)	Олово, т	380	664
5	Чурлунья россыль (техногенное)	Олово, т	692	
	Россыль Чурлунья разрабатывалась совместно с техногенным. Остальные тоже разрабатывались, но очень давно. Сейчас возобновления работ не планируется.			
6	ОАО «Дальолово» Солнечный ГОК (3 хвостохранилища)	Олово, т	36,6 млн. т песков из них Олово 48,7 тыс. т со средним содержанием 0,202%	
	Ранее разрабатывались, сейчас ведётся разведка для оценки запасов, пока ни ТЭО, ни ЦКР нет. В 2019 г. вели ГРР (поиски), можно попробовать сделать оценки по объёму добычи, срок тоже будут условные			
7	Хрустальненский ГОК (6 хвостохранилищ)	Олово, т	8,6 млн. т «хвостов» - среднее содержание 0,18% Sn	
	Не месторождение. Перерабатывают хвосты, купив как отходы производства. Не учитываются, фактическое производство можно отследить по экспорту. Объём неизвестен, проектов не согласовано.			
	Медь			
1	Отвалы Аплареченского месторождения	Медь, тыс.т	0,6	0,3
		Сера, тыс.т	4	2
	Добычные работы 1-й очереди были проведены на месторождении в 2011–2012 гг., с 2013 года до 2019 добычные работы не проводились. За 2018 год запасы месторождения не изменились. Срок отработки оставшихся запасов составляет около 4 лет. Работы не ведутся в связи с отсутствием финансирования. Объём добычи дать можно, сроки могут быть только условные.			
2	Сорыинское хвостохранилище Красноярской ОФ	Медь, тыс.т	26,1	3,2
	В 2017 г. суд обязал УГМК инициировать проект по устранению экологического ущерба на окружающую среду. Была информация, что Святогор будет вести работы по заключению договора на выполнение изысканий и проекта рекультивации данного участка. Проектов не утверждено – дать оценку объёмов добычи и сроков возможности нет https://pravdaurfo.ru/articles/158922-sud-obyazal-ugmk-potrattit-sothi-millionov-na			

№ пп	Месторождение	Вид ПИ	Запасы по состоянию на 01.01.2019 категорий	
			ABC1	C2
		Вольфрам		
1	Барун-Нарынское (техногенное месторождение)	Триоксид вольфрама, т	14743	436
		Триоксид вольфрама, т (отвалы)	Забалансовые запасы	
2	Бом-Горхонское месторождение (хвостохранилище)	Триоксид вольфрама, т	100 тыс. т с содержанием WO ₃ от 0,1 до 0,35%	
	В 2018 г. была информация, что кто-то заключил договор с недропользователем о переработке хвостохранилища. Недропользователь банкрот. Официальных оценок нет, планов нет. Возможно успели поставить перерабатывающую установку, но в таком случае не надо утверждать проекты ГРР и разработки. Сейчас производство не действует.			
3	ОАО «Дальполюс» Солнечный ГОК (3 хвостохранилища)	Триоксид вольфрама, т	36,6 млн. т песков из них Вольфрам 9,6 тыс. т со средним содержанием 0,040%	
	Ранее разрабатывались, сейчас ведётся разведка для оценки запасов, пока ни ТЭО, ни ЦКР нет. В 2019 г. вели ГРР (поиски), можно попробовать сделать совсем общие оценки по объему добычи, срок тоже будут условные			
4	Лермонтовская ГРК (2 хвостохранилища)	Триоксид вольфрама, т	9,2 млн. т «хвостов»	
	Есть оценки в ГЗБ по количеству полезного компонента. Данных об объемах переработки и сроках нет.			
5	Тырныауское месторождение	Триоксид вольфрама, т	Среднее содержание WO ₃ - 0,057%	
	Есть оценки запасов (в статьях, принципиальные экономические расчёты). В выданной лицензии техногенка включена, но в проектах нет ни слова о её разработке. Можно дать условную оценку.			

*) Серым цветом в таблице обозначены объекты, по которым есть данные о добыче.

**) Курсивом показаны объекты, где нет данных о добыче, и даны комментарии.

В целом на обогатительных фабриках вольфрам-молибденовой подотрасли накоплено значительное количество хвостов флотационного и флотационно-гравитационного обогащения, которые содержат около 400 тыс. т молибдена и более 100 тыс. т вольфрама. Из общего объема лежащих молибденосодержащих хвостов более половины составляют хвосты с промышленным содержанием молибдена 0.012-0.02%, в остальной массе содержание молибдена менее 0,005% (табл. 2). Фактическая добыча меди, олова и вольфрама на техногенных объектах в 2009–2018 гг. и прогноз добычи приведены на рис. 1, рис. 2 и рис. 3.

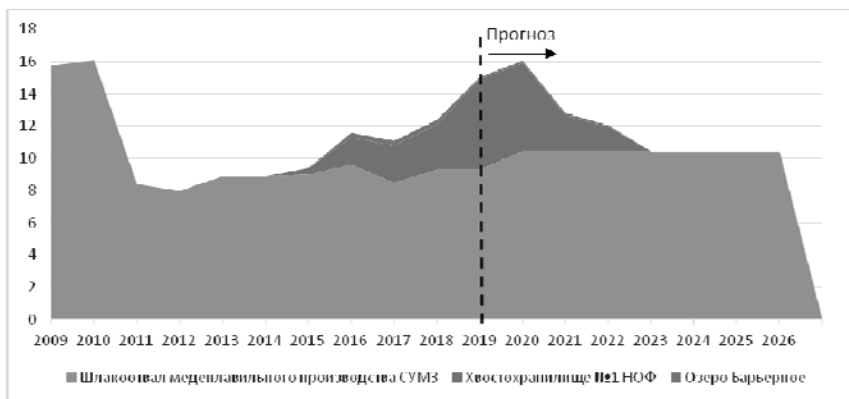


Рисунок 1 Фактическая добыча меди на техногенных объектах в 2009–2018 гг. и прогноз добычи до 2027 г. на основе утвержденных технических проектов разработки

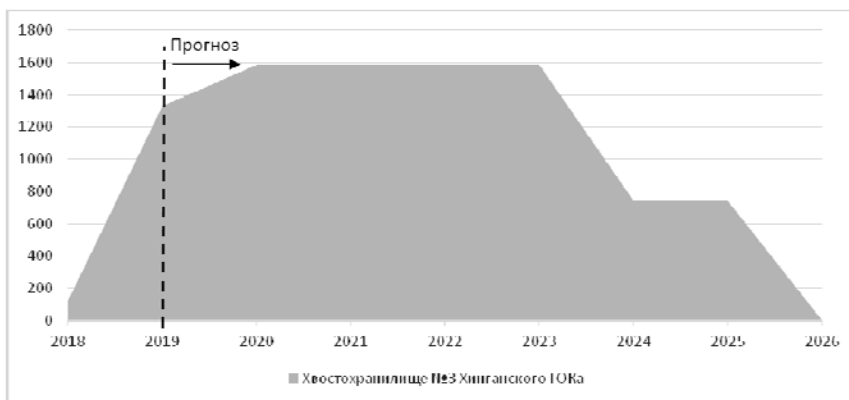


Рисунок 2 Фактическая добыча олова на техногенных объектах в 2018 г. и прогноз добычи до 2026 г. на основе утвержденных технических проектов разработки



Рисунок 3 Фактическая добыча вольфрама на техногенных объектах в 2009–2018 гг. и прогноз добычи до 2027 г. на основе утвержденных технических проектов разработки

Железосодержащие техногенные отходы производства железорудной промышленности на различных горно-обогатительных комбинатах составляют значительные объемы:

- АО «Олкон» — 380 млн т техногенных отходов;
- ОАО «Ковдорский ГОК» — 104,2 млн т отходов в спецотвалах охранного складирования;
- ОАО «Тейское рудоуправление» — 21,2 млн т.

Установлены повышенные содержания благородных металлов, в том числе золота, в месторождениях железа, песчано-гравийных смесей, фосфоритов, нефелинов, бокситов, марганцевых руд, в титано-циркониевых, калийных солях и рассолах, в гравийно-песчаных массах в реках, в корях выветривания, в хвостах обогащения медных, медно-цинковых, свинцово-цинковых руд.

Минимально возможное содержание металлов в отвальных хвостах флотационных обогатительных фабрик цветной металлургии, как правило, в 2-3 раза ниже фактического. Техничко-экономические расчеты, опыт работы ряда зарубежных предприятий показывают, что добыча благородных и других ценных металлов из отвальных хвостов обогатительных фабрик цветной и черной металлургии может быть организована только как попутная (из отходов обогащения текущего производства, а также из перемещаемых горных масс).

По значимости и ценности отходов обогатительных фабрик, их следует расположить в следующем порядке:

- отходы обогащения золотосодержащего сырья;
- отходы обогащения редкометалльного и оловянно-вольфрамового сырья;
- отходы обогащения полиметаллических руд цветных металлов;
- отходы обогащения руд черных металлов;
- отходы обогащения неметаллического сырья;
- отходы обогащения угля [4, 5, 6].

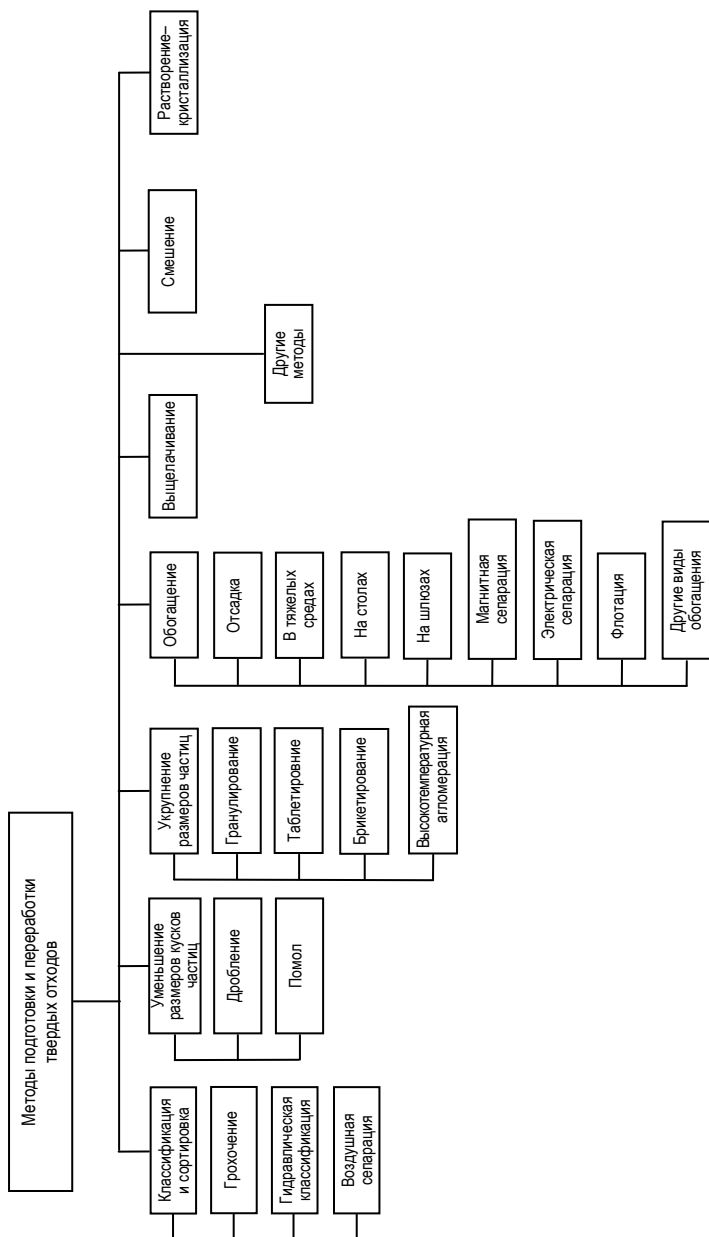


Рис. 4. Классификация методов подготовки и переработки отходов горного производства

В соответствии с Государственным докладом «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» в сфере видов экономической деятельности в 2017 г. наибольшее количество отходов было утилизировано по виду деятельности «добыча полезных ископаемых» и составило 3017,7 млн т, что, учитывая объемы образовавшихся отходов, в этом секторе экономики составляет 52%. Но если рассматривать этот показатель по отношению ко всему объему накопленных в России отходов добычи полезных ископаемых, то он составит только 8,6%.

При этом доля обезвреженных отходов по виду экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» составила 4,1 млн т, или 0,07% от годового объема образовавшихся отходов. Объем утилизированных отходов составил 52,15 млн т, или 0,9%.

В период с 2010 по 2017 г. наблюдался рост объемов использования и обезвреживания отходов горнодобывающей промышленности с 1723,6 млн т в 2010 г. до 3021,70 млн т в 2017 г., или на 75%.

В отходах обогащения (недропользования) полезных ископаемых, содержание ценного компонента, естественно, ниже, чем в исходном сырье, поскольку в них преобладают частицы пустой породы. Твердая фаза хвостовой пульпы представлена смесью минеральных частиц разного размера — от 3 мм до долей микрона. Состав частиц и их плотность зависят от минерального состава пород, вмещающих полезное ископаемое. В настоящее время в хвостохранилищах ГОКов КМА заскладировано около 700 млн т отходов обогащения железистых кварцитов, содержащих различные ценные компоненты, а на Магнитогорском ГОКе накоплено около 147 млн т. По имеющимся в настоящее время сведениям, материал железосодержащих хвостохранилищ достаточно эффективно можно использовать в различных отраслях хозяйства.

Отходы обогащения более удобны для утилизации и использования, чем отвалы, поскольку они, во-первых, более однородны, а во-вторых, представляют собой уже дробленый, иногда фракционированный материал.

Наиболее перспективны для использования в строительстве отходы, образующиеся при сухих способах обогащения: хвосты сухой магнитной сепарации, сухой гравитации.

Хвосты сухой магнитной сепарации отличаются повышенной крупностью (20-70 мм) и пониженным содержанием металлов. После предварительной подготовки (рассева) их полностью используют в качестве щебня. Хвосты мокрой магнитной сепарации — это мелкодисперсные отходы, за год на горно-обогатительных комбинатах России их накапливается более 150 млн т [3].

Классификация методов подготовки и переработки отходов горного производства представлена на схеме (рис. 4).

2. Усовершенствование технологий переработки и утилизации различных видов техногенного сырья

2.1. Золотосодержащие техногенные отходы

Большие перспективы связаны с переработкой техногенных месторождений драгоценных металлов — золота и платины.

По ориентировочной оценке, в отходах медной, свинцово-цинковой, никель-кобальтовой, вольфрамо-молибденовой, оловянной, алюминиевой подотраслей промышленности содержится более 8,0 млн т меди, 9,0 млн т цинка, 1,0 млн т свинца, 2,5 млн т никеля, 33,5 млн т Al_2O_3 , 600 тыс. т олова.

200 тыс. т молибдена, около 1 тыс. т золота и 12 тыс. т серебра. Резервы полезных компонентов в накопленных отходах равноценны открытию многих новых месторождений.

Общее количество накопленных хвостов, например, только на ГОКах КМА превышает 320000 тыс. т. Вместе с немагнитными фракциями (гематитом) в шламохранилища сбрасываются золото, уран и редкоземельные элементы. По данным ГП «Невскгеология», в хвостохранилища только Михайловского ГОКа ежегодно в течение 30 лет выносятся не менее 1,5 т золота и 2 т урана. В целом прогнозные ресурсы золота, *накапливающегося* в текущих отходах четырех ГОКов, составляют не менее 3 т/год при валовом содержании 0,5-0,6 г/т, а по данным исследований тульского филиала ЦНИГРИ, выполненных еще в 1977-1979 гг. на Лебединском, Михайловском ГОКах и на обоганительной фабрике шахты им. Губкина, в укрупненных пробах, отобранных из устья *тульнопроводов*, содержание золота составляет в пределах 2-9 г/г.

В структуре запасов техногенного генезиса, учтенных Государственным балансом запасов (ГБЗ), преобладают золотосодержащие техногенные объекты, а также оловянные, железорудные, мусковитные, медные и вольфрамовые техногенные месторождения.

До настоящего времени у некоторых специалистов сложилось устойчивое заблуждение в том, что в техногенных месторождениях содержится в основном мелкое золото. В действительности в техногенных месторождениях, прежде всего в целниках и недоработках, много и крупного металла, а в галечных отвалах немало самородков, иногда весом в сотни грамм. Если же говорить о трудноулавливаемом золоте, то речь необходимо вести не только о мелком золоте. Необходимо учитывать присутствие в песках золота с кварцем, легкого чешуйчатого металла и золота, связанного с сульфидами. Как показывают исследования, проведенные в разное время в различных районах Магаданской области, в сульфидных минералах, составляющих до 50% тяжелой фракции шихов, содержание золота составляет десятки, а иногда и сотни грамм на тонну сульфидов. В ОАО «Сусуманзолото» накоплен большой опыт сбора и переработки шихового концентрата с использованием процессов пирометаллургии на медеплавильных заводах Урала. Несколько последних лет холдинг направляет каждый год на Урал 30-35 тонн концентратов шихо-обоганительных фабрик (ШОФ) с содержанием золота 300 - 450 г/т и получает до 15 кг металла. Очевидно, что этот металл получен только из меньшей части шихового продукта, накопленного на плюзах промприборов, доставленного после съемки на ШОФ и прошедшего многостадийное обогащение. Огромное количество такого металла при разработке россыпей остаётся в хвостах, к тому же, мелкие предприятия лишены возможности отправлять концентраты ШОФ на переработку.

Выявлена проблема потеря свободного золота в результате обогащения (доводки) концентратов плюзов, эксплуатируемых на некоторых российских предприятиях. Установлена необходимость совершенствования схем обогащения концентратов плюзов с целью последующего до извлечения свободного золота из хвостов доводки.

В качестве одного из решений проблемы предложены раздельное складирование и последующая переработка продуктов обогащения, с которыми наиболее вероятны потери золота в процессе первичного обогащения [7, 8].

Потери золота при доводке тяжелых гравитационных концентратов относительно крупными доводочными подразделениями первичного обогащения до требуемых операцией плавки на слиток доре составляют от сотни до тысячи и более граммов за сезон. Разработаны и успешно применены

схемы вторичного и первичного обогащения концентратов шлазов, позволяющие получать хвосты доводки с содержанием золота в несколько раз меньше, чем предусмотрено планами переработки [9].

В настоящее время на Майканнской обогатительной фабрике с целью расширения сырьевой базы и повышения комплексности использования золоторудного сырья проведены технологические испытания по доизвлечению золота из отходов недропользования. Установлено, что значительная часть золота (42 %) находится в тонковкрапленном состоянии в сульфидных, а также в пороодообразующих минералах 12,7 %.

Установлен оптимальный реагентный режим флотации для сульфидной пробы отходов, при этом наиболее оптимальным вариантом является крупность измельчения 97,02 % класса -0,040 мм. В результате обогащения хвостов в оптимальном реагентном режиме выделен концентрат с содержанием золота 9,39 г/т при извлечении 82,39%.

Проведенные в «Иргиредмете» исследования технологических свойств лежалых хвостов гравитации и исходной руды месторождения «Высочайший» показали возможность значительного снижения потерь золота за счет дополнения гравитационной схемы обогащения узлом флотации на ЗИФ-2 ОАО «Высочайший».

Обогатительный комплекс винтовой сепарации, производительностью 10 м³ в час (ОКВ-10), производства ООО ПК «Спирит» рекомендован для обогащения отвалов россыпных золотосодержащих месторождений. В состав обогатительного модуля входит: узел дезинтеграции и прохочения; шлаз мелкого наполнения; обогатительный узел (предназначенного для сгущения и гравитационного обогащения класса -2+0 мм на винтовых сепараторах с получением черного гравитационного концентрата); доводочный узел концентрата (мокрый магнитный сепаратор и концентрационный стол).

Оборудование было испытано при крупнообъемном опробовании отвала россыпного золотосодержащего месторождения. Общий объем переработанных отходов - 408,3 м³; средняя часовая производительность комплекса - 6,81 м³/ч; выход продуктивного класса -2+0 мм - 40%; содержание золота в исходных песках - 0,045 г/т; всего извлечено золота - 72% [10].

Разработана усовершенствованная технологическая схема обогащения песковой фракции лежалых хвостов Гайского ГОКа, включающая предварительное обогащение на короткоконусных гидроциклонах и комбинированное многостадийное гравитационно-флотационное выделение частиц золота различной крупности [11].

Применяя каскад гравитационных аппаратов в соответствии с крупностью частиц золота и сочетание композиции селективных собирателей для флотации тонких частиц золота, можно достаточно полно извлекать золото из техногенных хвостов без применения химико-металлургических методов.

Извлечение золота в коллективный сульфидный продукт из пиритных хвостов с содержанием золота 1,2 г/т, меди 0,6% составляет 59,1% и 78,8% соответственно, при концентрации золота 4,5 г/т.

Предложена принципиальная технологическая схема, позволяющая выделять золото-медный и золото-пиритный продукты, которые могут быть переработаны по химико-металлургическим технологиям, в медно-цинковые продукты – по классической схеме коллективно-селективной флотации с использованием селективных сочетаний флотореагентов [12, 8].

Разработан новый подход к извлечению дисперсного золота из шламообразующих фракций техногенно-трансформируемого минерального сырья, заключающийся в дифференцированном размещении крупнодроб-

ленной и окомкованной тонкой фракции. В результате, повышаются фильтрационные свойства штабеля выщелачивания, обеспечивается его равномерная проницаемость для выщелачивающих растворов, что обеспечивает повышение извлечения золота в продуктивный раствор.

Особенностью предлагаемого способа является диффузионное окисление минералов-концентраторов дисперсного и инкапсулированного золота за счет пропитки раствором, содержащим гидратированные активные формы кислорода (включая пероксидные соединения).

Экспериментальные исследования рассмотренных процессов активационного выщелачивания из окомкованной шламообразующей фракции и дробленого крупнофракционного материала отработанных штабелей ряда рудников позволили установить, что при их комбинированном использовании обеспечивается извлечение/доизвлечение золота в диапазоне 55-70% [13].

Представлены результаты выщелачивания рудной массы отработанных штабелей кучного выщелачивания (КВ) с целью извлечения золота, ассоциированного с сульфидами. Осуществлен отбор пробы и изучен фазовый состав рудной массы, химический и минеральный составы хвостов выщелачивания, где содержится 1,6 г/т Au и 0,14 г/т Ag. Размерность золотых частиц варьирует в пределах 0,8-10,2 мкм - ультратонко- и тонкодисперсное золото. Значительная его часть находится в ассоциации с сульфидами.

Исследованы различные методы переработки рудной массы отработанных штабелей КВ: доизмельчение с последующим цианированием, предварительное окисление химическим реагентом. Установлена возможность переработки хвостов методом цианирования. Применение предварительного окисления и вскрытия упорного золота позволяет повысить извлечение Au в процессе цианирования остатка окисления. Показано, что при крупности 90% класса - 0,071 мм в оптимальном режиме цианирования с предварительным окислением за 24 ч извлекается 61,3% золота.

Установлена возможность переработки золотосодержащих хвостов флотационного обогащения месторождения Бестобе с применением микроэмульсии модифицированного пенообразователя МП, полученной в генераторе водо-воздушной микроэмульсии, в сравнении с базовым пенообразователем Т-92. Содержание золота в исходных хвостах составляет 0,3 г/т.

С применением предварительного доизмельчения и модифицированного пенообразователя МП с использованием генератора водовоздушной эмульсии получен золотосодержащий концентрат с содержанием золота 28,2 г/т при извлечении 44,92 %. Содержание золота в отвальных хвостах снижается с 0,25 г/т в базовом режиме до 0,17 г/т [14].

На одном из золотодобывающих предприятий компании Newmont Goldcorp проходят испытания новейшего решения Ecotails™ по работе с хвостами, разработанного компанией FLSmidth. Ecotails™ - это технология смешивания отфильтрованных хвостов с пустой породой.

Продуктом применения технологии является композитный материал повышенной прочности, который получил название GeoWaste. Сообщается, что использование Ecotails™ также позволит горному предприятию снизить расходы воды, стоимость проведения рекультивационных работ, сократить объемы хвостов и площадь, занимаемую для их размещения. Содержание влаги в хвостах после фильтрации достигает 10-25%, то есть посредством Ecotails™ подавляющую часть воды можно вернуть на фабрику. Помимо остальных своих преимуществ, материал Geo Waste более благоприятен для произрастания растений, а поскольку он укладывается в сухом виде, снижается опасность загрязнения почвы. Система Ecotails™ ком-

плексная и включает в себя дробилки, классификаторы и грохоты для пустой породы, насосы, сгустители и фильтры, конвейеры и укладчики.

В XXI веке правительство КНР приступило к осуществлению программы модернизации золотодобывающей отрасли. При этом горные и геологические предприятия начали проявлять большой интерес к наиболее богатым лежалым хвостам, накопленным, прежде всего, до 70-х годов XX века, т.е. к хвостам, сформированным при использовании достаточно старых технологий и за счёт верхних, окисленных частей месторождений.

Основным фактором, объясняющим потери золота с хвостами гравитационного обогащения и попадание этого золота в лежалые хвосты, является малый размер частиц золота и значительное количество минералов с высокой плотностью. Применение обычных гравитационных аппаратов для извлечения золота из хвостов нецелесообразно - вследствие малой их эффективности из-за того, что главной действующей силой, определяющей разделение зерен, является сила тяжести. При обогащении материала в аппаратах, где разделение происходит в криволинейных потоках, например, в винтовых сепараторах, возникает еще одна активно действующая сила - центробежная. Однако, в них скорость потоков невелика и интенсивность центробежного поля мала - центробежные ускорения обычно меньше ускорения свободного падения g . Это соотношение меняется в центробежных аппаратах, в которых центробежная сила, действующая на зерна в криволинейном потоке, во много раз больше силы тяжести, вследствие чего разделение происходит под действием центробежной силы.

Технологическая схема, включающая операции концентрирования исходного материала в короткоконусном гидроциклоне с последующей перемелкой пеллет в две стадии на концентрационных столах, обеспечивает не только высокие технологические, но и высокие экономические показатели при переработке техногенных месторождений (хвостохранилищ). Указанная технологическая схема приведена на рис. 5.

Поэтому на первом этапе оценки перспектив золотоносности отходов китайских техногенных месторождений, с учётом указанных факторов, были выбраны для изучения лежалые хвосты хвостохранилищ двух золотодобывающих фабрик - перерабатывающих руды месторождения Иньтуньпо и месторождения Чин Чаньюй.

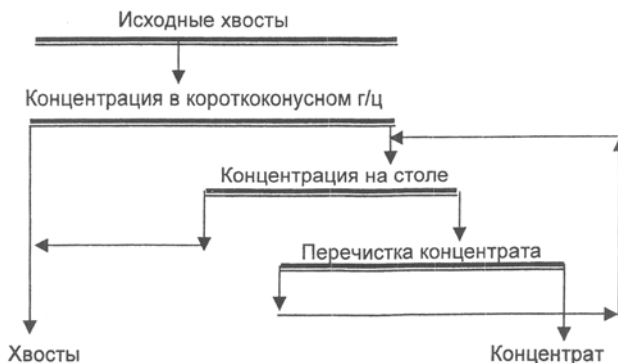


Рис. 5. Технологическая схема переработки техногенных месторождений золота

При изучении лежащих хвостов хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики месторождения Иньтуньпо из исходной пробы с массовой долей золота 1,83 г/т, в том числе свободного - 0,45 г/т (24,6%) гравитационными методами получен концентрат с выходом 0,7%, содержанием золота 20 г/т и извлечением 16,7%. Золото в концентрате цианируемое (> 95%). Полученный концентрат близок по содержанию золота и вещественному составу (преобладает пирит, незначительное содержание оксидов железа и кварца) к флотационному концентрату обогащательной фабрики. Поэтому их следует объединять и направлять на цианирование. В тоже время, фазовый анализ полученных продуктов позволил нам сделать вывод о том, что при корректировке и улучшении параметров обогащения можно будет получать гравитационный концентрат с выходом 1,4%, содержанием золота 25 - 30 г/т и извлечением золота до 25%.

Проектная опытно-промышленная технология извлечения золота из лежащих хвостов обогащения предусматривает добычу хвостов земснарядом и подачей пульпы с содержанием 10-15% твёрдого на модульную технологическую установку смонтированную по вышеприведенной схеме. На установке хвосты, с учётом указанных выше особенностей апробированных технологических схем, планируется концентрировать в короткокonusном гидроциклоне, пески которого будут обогащаться на трехдечном концентрационном столе СКО-22 (общая площадь дек - 22,5 м²) с перемешкой концентрата на концентрационном столе СКО-2 (площадь деки - 2 м²). Хвосты концентрационного стола СКО-2 будут возвращаться на концентрационный стол СКО-22. Слив коротко конусного гидроциклона и хвосты концентрационного стола СКО-22 будут объединяться и сбрасываться в хвостохранилище.

При эксплуатации разведенного участка в течение 10 лет, в случае достижения оптимальных показателей обогащения и стабильного содержания золота в лежащих хвостах, можно будет извлечь ориентировочно 225 кг золота. Рассчитанные технико-экономические показатели извлечения золота из хвостохранилища месторождения Иньтуньпо позволили составить бизнес - план и приступить к начальной стадии его реализации.

Дополнительно следует отметить, что золото в сбрасываемых хвостах установки представлено в виде бедных сростков или в виде включений в минералах. Дальнейшее его доизвлечение (из хвостов гравитации) можно проводить с помощью биореагентов - заменителей цианидов.

При лабораторном обогащении пробы из хвостохранилища фабрики, перерабатывающей золотые руды месторождения Чин Чаньхой, были получены гравитационные концентраты с массовой долей золота 30 г/т и выходом 7,3%. Анализ этих продуктов показал, что при проведении процесса обогащения в оптимальных условиях, возможно получение гравитационного концентрата с массовой долей золота 30 - 35 г/т при извлечении 50-55 %. В получаемом концентрате более 90 % золота извлекается цианированием. Технология извлечения золота из хвостов указанного месторождения подобна технологии, предлагаемой для хвостохранилища месторождения Иньтуньпо. Прогнозные массы извлекаемого золота сопоставимы между собой.

Таким образом, ряд техногенных месторождений золота в Китае можно рассматривать в качестве дополнительной составляющей части сырьевой базы благородных металлов, а предложенные технологические схемы - достаточно рентабельными и имеющими определённые перспективы развития, в частности, в сфере применения биореагентов - заменителей цианидов [15].

2.2. Титансодержащие и оловянно-вольфрамовые техногенные отходы

Разработана технологическая схема переработки лежалых хвостов Кусинской обогатительной фабрики, включающая сухую магнитную сепарацию в слабом магнитном поле (для выделения титано-магнетита) и в сильном магнитном поле (для получения промпродукта СМС и отвальных хвостов) [16].

С целью повышения извлечения TiO_2 выполнено дополнительное обогащение хвостов электрического обогащения. В результате получен концентрат с массовой долей TiO_2 равной 46,29% при выходе к лежалым хвостам 0,2%.

В результате усовершенствования технологии обогащения лежалых хвостов Кусинской обогатительной фабрики по магнитно-электрической схеме получен ильменитовый концентрат с массовой долей TiO_2 не ниже 48% при выходе 2,6-2,8% и извлечении 64-69%. Массовые доли примесей в полученном концентрате составили: 0,14 % S; 0,08% P; 0,56% SiO_2 .

Разработана усовершенствованная технология переработки оловосодержащих хвостов Солнечного ГОКа Хабаровского края с целью получения оловянного и медного концентратов с использованием современных методов дезинтеграции, в том числе кавитации и ультразвука.

Предложена флотационно-магнитно-гравитационная схема переработки зернового коллективного концентрата, с получением медного концентрата при содержании в нем меди 18,5% и извлечении 25,65% и оловянный концентрат при содержании в нем олова 11,2% и извлечении 22,87%.

Реализация схемы в полупромышленных условиях позволила получить общий медный концентрат с содержанием меди 18,28%, извлечением 60,48%, оловянный концентрат с содержанием олова 11,35%, извлечением 50,88%, отвальные хвосты с содержанием олова – 0,139%, меди – 0,154%, извлечение указанных металлов составило 46,66 и 38,45% соответственно [17].

Разработана технология получения углеродсодержащего огнеупора на основе брикета из форстеритового концентрата со следующими показателями свойств: термостойкость 33 теплосмены (1300 °C-во-да), кажущаяся плотность - 1955 кг/м³, открытая пористость 25%, прочность 19 МПа. Подбран зерновой состав шихты для бетона, найдено соотношение заполнителя и магнийфосфатной связки для повышения свойств. Получены бетоны со следующими характеристиками: плотность 2170-2260 кг/м³, прочность - до 49 МПа (при 25 °C), изменение объема после термообработки при 450-1000 °C составляет 1-2% [18].

В настоящее время лежалые вольфрамсодержащие хвосты Джидинского вольфраммолибденового комбината (ДВМК) перерабатываются на действующей опытно-промышленной установке ЗАО «Закаменск» по гравитационно-флотационной технологии обогащения.

При этом из исходных лежалых хвостов с содержанием 0,14-0,16% WO_3 выделяют товарный вольфрамовый концентрат при извлечении WO_3 45-50%.

В 2016-2017 гг в ФГБУ «ВИМС» была разработана и апробирована в укрупненно-лабораторном масштабе усовершенствованная рациональная технологическая схема обогащения лежалых вольфрамсодержащих техногенных песков, включающая следующие основные операции:

- классификацию по классу крупности 0,5 мм с измельчением класса крупности +0,5 мм;

- двукратную сепарацию на винтовых шнеках ООО ПК «СПИРИТ» с выводом из процесса хвостов и шламов и выделением тяжелой вольфрамсодержащей фракции;

- перечистку тяжелой фракции сепарации винтовых шлюзов на концентратном столе с получением черного гравитационного концентрата и выведением из процесса отвальных хвостов;

- доизмельчение черного гравитационного концентрата до класса крупности $-0,3+0$ мм;

- коллективную сульфидную флотацию с выведением сульфидного продукта в отвал;

- концентрацию на столах с выделением черного вольфрамового концентрата;

- сушку и сухую магнитную сепарацию черного вольфрамового концентрата с выделением товарного вольфрамового концентрата.

При этом прогнозируется получение товарного вольфрамового концентрата с содержанием 60-62% WO_3 при его извлечении 70-72% от исходного.

В настоящее время на фабрике ЗАО «Закаменск» проводятся испытания по внедрению усовершенствованной технологии обогащения техногенных песков [19].

2.3. Техногенные отходы полиметаллических руд цветных металлов

Лежалые хвосты обогатительных фабрик Уральского региона используют: для раздельной или совместной переработки с рудным материалом, получения дополнительной продукции и для закладки выработанного пространства шахт (Гайский ГОК, СУМЗ и др.). Хвосты ряда предприятий (Гайский ГОК, Карабашский ГОК, Учалинский ГОК, Бурибаевское РУ и др.) обогащены золотом, для извлечения которого возможно применение различных способов гравитационно-флотационного выделения. В последние годы для доизвлечения металлов из техногенных хвостов, применяя способы селективной флотации разработаны реагентные режимы с использованием различных сочетаний собирателей.

Усовершенствована флотационная технология переработки хвостов обогащения медно-никелевых руд текущего производства комбината «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК». Предложена перспективная технология сухой магнитной сепарации для получения сульфидного концентрата цветных металлов при переработке отвалов Аллареченского месторождения медно-никелевых руд [20].

Исследованиями ИПКОН РАН установлена эффективность применения механо-химической активации для снятия пленок окисленных соединений с поверхности сульфидов хвостов обогащения медно-цинковых руд и восстановления их флотуемости. Одновременно предложен механизм совместного действия бутилового ксантогената и изопропилэтилтионокарбамата на активированный ионами меди сфалерит и халькопирит в высокощелочной известковой среде, заключающийся в совместной адсорбции собирателей и повышении гидрофобности поверхности данных минералов, что позволяет повысить их извлечение в концентрат при флотации пирит-содержащих хвостов [21].

Разработана технология двухстадийной термохимической переработки лежалых хвостов флотации медно-цинковых руд ОАО «Учалинский ГОК», которая позволяет эффективно вскрыть и перевести в растворы выщелачивания 78% серебра и 86% золота, а твердые остатки выщелачивания (кек-2) использовать для закладочных работ [8, 22].

Установлена возможность утилизации песков хвостохранилища, образованного в результате производственной деятельности Мизурской флотационной свинцово-цинковой обогатительной фабрики. Извлекаемую ценность в хвостах имеет рудная часть (среднее содержание Pb – 0,21%, Zn – 0,50%, Au – 0,17 г/т).

По усовершенствованной технологии утилизации сульфидов в товарные селективные концентраты ведут в два приема: 1) с помощью мобильной установки модульного типа в месте залегания хвостов гравитационными методами извлекают из них сульфидный продукт; 2) на стационарной фабрике по флотационной технологии действующего производства сульфидный продукт перерабатывают совместно с рудой текущей добычи или самостоятельно.

Особенностью аппаратурного оформления гравитационной технологии является использование винтовых сепараторов и крутонаклонных закрытых каналов для сепарации в тонкослойных рабочих зонах.

Новизна флотационной технологии заключается в применении струйного принципа построения каскадов обогащения и экологически безопасного режима разделения на основе перманганата диметилдитиокарбамата натрия.

В Казахстане разработаны усовершенствованные комплексные, экологически малонапряженные технологии переработки забалансовых руд, лежащих и текущих хвостов обогащения полиметаллических руд свинцово-цинкового производства, что позволяет получить товарные продукты с высоким содержанием Cu (65-85%), Zn (65-75%), Au (45-50%), Ag (43-45%) и отвальные продукты, пригодные для производства строительных материалов и закладочных смесей [23].

Предложены для технологических испытаний два вида бедного техногенного сырья – складированные отходы обогащения медно-никелевых руд, отобранных с дамбы хвостохранилища АО «Кольская ГМК», и хвосты гравитационного обогащения, полученные при опробовании технологии переработки колумбитовой руды перспективного Запшихинского месторождения.

Установлена возможность использования флотационного и магнитного методов для доизвлечения цветных металлов из данного вида отходов недропользования.

Из хвостов обогащения медно-никелевых руд флотационным методом получен продукт с содержанием никеля 0,39% и меди 0,20% при извлечении 44 и 59% соответственно. Использование магнитной сепарации позволило получить более высокое извлечение никеля (49-60%) и снизить содержание никеля в хвостах.

Наиболее целесообразным является комбинация магнитных и флотационных методов с использованием магнитной сепарации в «голове» процесса.

В результате опробования широкого ряда собирателей предложен реагентный режим, позволяющий получать литиевый продукт, содержащий 0,24-0,56% Li_2O при извлечении 65,7-58,0%. Последующая магнитная сепарация полученного продукта в сильном поле обеспечивает выделение литиевого концентрата с содержанием Li_2O 3,26% при извлечении до 40% от исходного сырья [24].

Разработан и запатентован способ переработки техногенного полиметаллического сырья для извлечения цветных металлов, включающий формирование штабеля из руды и извлечение металлов путем подачи в штабель раствора выщелачивающего реагента, рециркуляцию рабочих растворов, при этом после обработки штабель выдерживают в течение 5 суток для осуществления процессов окисления в диффузионном режиме сульфидных минералов и начального выщелачивания цветных металлов, отличающийся

тем, что исходное сырье измельчают в мельнице, затем агломерируют с добавкой раствора пероксида водорода и формируют штабель с использованием закладок из сорбционно-активного адсорбента, в качестве которого используют шунгит, вспученный с помощью СВЧ-обработки, при этом штабель орошают раствором серной кислоты, после чего на шунгите сорбируют железо, медь, молибден и ассоциированный с ним рений, сорбирование проводят в течение не менее 72 часов, после чего закладки достают и обогащенный шунгит направляют сначала на доизмельчение, а затем на магнитную сепарацию с получением железосодержащего концентрата, который отправляют на металлургический передел, и немагнитной фракции, которую отправляют на флотацию с получением пенного продукта, содержащего медь, молибден и ассоциированный с ним рений, которые отправляют на металлургический передел, и хвосты, которые отправляют в отвал.

Описываемое техническое решение позволяет повысить комплексность техногенного сырья за счет извлечения металлов в концентрат при снижении расхода реагентов, является экологически безопасным и экономически выгодным [25].

На опытной фабрике ОАО «Покровский рудник» (входит в группу компаний «Петропавловск») при научном сопровождении ОАО «Ириредмет» проведены непрерывные полупромышленные испытания усовершенствованной технологии переработки лежалых пиритных хвостов обогащения ОАО «Гайский ГОК» в замкнутом режиме. Результаты лабораторных исследований подтверждены полупромышленными испытаниями [26].

2.4. Техногенные отходы руд черных металлов

Одна из значимых проблем — вовлечение в переработку окисленных железистых кварцитов. Перспективные решения в области вовлечения в переработку окисленных железистых кварцитов включают:

- применение магнитно-флотационных методов обогащения — флотационной доводки концентрата после магнитной сепарации;
- применение флотации обесшламленной руды с использованием катионных реагентов аминного состава;
- применение двухстадийной флотации.

Железорудный материал, измельченный до крупности 85% класса менее 50 мкм, поступает на первую стадию флотации раскрытых зерен, далее камерный продукт и хвосты поступают на вторую стадию измельчения до крупности 95% класса менее 50 мкм, проведение второй стадии флотации сопровождается выводом пенного продукта в отвал. Концентрат нерудных минералов с первой стадии флотации после перечистки выводится в отвальные хвосты при выходе 45-50% [3].

Разработана рациональная технология получения низкожелезистых отходов, $\leq 3\%$ массовой доли Fe, путем раскрытия зерен магнетита и гематита в материалах различной крупности из складированных хвостов железосодержащих отходов предприятий горно-пром. Комплекса ОАО «Олкон» Мурманской обл. Она основана на гравитационном принципе разделения материала с использованием процесса винтовой сепарации и концентрации на столе с последующим дообогащением промпродуктов винтовой сепарации электромагнитным способом.

Применение гравитационных методов в начальных стадиях процесса разделения позволяет выделить из исходного материала свободные зерна

рудных минералов, что обеспечивает выделение коллективного железного концентрата, содержащего более 66% $\text{Fe}_{\text{общ}}$ при извлечении около 51% общего железа, в котором содержание гематита практически в 3 раза превышает содержание магнетита [27].

Методически изучены отходы хромовой руды (COPR) после обжига без известняка. Процесс обеззараживания осуществлялся путем восстановления COPR с помощью SO_2 при механической активации. Установлены основные фазы COPR- $(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_4$ и MgAlFeO_4 с содержанием Cr_2O_3 12,23%. Меньшие частицы COPR имели меньшее содержание общего, растворимого и нерастворимого Cr_6+ . Перемешивание в процессе обработки способствовало внешней диффузии, а также повышению отношения жидкости к твердому. С ростом температуры выщелачивание сначала возрастало, а затем резко снижалось. Давление в системе мало влияло на процесс. При оптимальных условиях: давление 0,1 МПа, температуре 60°C, скорости перемешивания 500 об/мин, времени реакции 60 мин, степень удаления Cr_6+ в COPR была 90%, а после 90 мин процесса 98,1%, содержание Cr падало ниже 25 мг/кг и отвечало национальному стандарту [28].

2.5. Техногенные отходы обогащения угля

Особенностью современных углеобогащительных фабрик (ОФ) России являются использование замкнутых воднопламовых схем (без сброса пламовых вод за пределы фабрики в наружные гидроотвалы) и отсутствие термической сушки мелких классов угля за счет их эффективного механического обезвоживания. В результате на выходе появилось значительное количество (до 12% от объема переработки угля на фабрике) тонкодисперсных отходов углеобогащения (ТДОУ) с крупностью частиц менее 0,5 мм, влажностью 30-45% и зольностью 25-65%. Данный продукт не востребован на рынке, очень труден для переработки и, как правило, отгружается за пределы фабрики с породой либо отдельно автотранспортом доставляется на породные отвалы или площадки-шламонакопители. Хранение таких отходов создает экологические проблемы в регионе. С целью решения проблемы использования ТДОУ разработаны технология и комплекс оборудования для получения на их основе суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) и его эффективного сжигания с улавливанием и утилизацией образующихся золошлаковых отходов (ЗШО). Кроме того, предполагается использовать полученное топливо на угольных ТЭС и ГРЭС [29].

Мелкозернистые отходы углеобогащения являются ценным углеродистым сырьем, обладающим определенным энергетическим потенциалом. На их основе можно получать топливные композиционные материалы (дисперсно-зернистый композит), по свойствам не уступающие сортовому топливу аналогичного назначения. Запасы угольных мелкозернистых материалов огромны, но использование их в тонкодисперсном состоянии не эффективно.

Наиболее приемлемым эффективным современным технологическим решением, которое может обеспечить получение топлива с удовлетворительными потребительскими характеристиками, является брикетирование некондиционных мелкозернистых углеродсодержащих отходов со связующими веществами.

Предложено решение проблемы переработки крупнотоннажных отходов угледобычи – окисленного угля – в продукты технического и сельскохозяйственного назначения, основанные на рациональном и эффективном использовании некоторых измененных физико-химических свойств исход-

ного угольного материала: повышенной скорости дальнейшего окисления этих углей при последующем их контакте с атмосферой; пониженной механической прочности; наличии на угольной поверхности гуминовых кислот и др. Эффективное применение окисленного угля в сельском хозяйстве, основано на использовании угольных гуминовых кислот: добавка его раздробленных фракций на поля для выращивания зерновых и клубневых растений; целевое производство гуминовых препаратов (удобрения, биологические активные добавки на основе гуминовых кислот для земледелия и животноводства) [30].

Установлена возможность использования отходов обогащения угля в производстве пористого заполнителя. На основе жидкого стекла и монтмориллонитовой глины с применением отхода обогащения угля получен пористый заполнитель с высокими физико-мех. Показателями. Использование отходов обогащения угля на основе жидкостекольных композиций и монтмориллонитовой глины в производстве пористых заполнителей способствует: а) утилизации пром. Отходов; б) охране окружающей среды; в) расширению сырьевой базы для получения керамических пористых заполнителей [31].

Исследованы высокоуглеродистые отходы углеобогащения, которые предполагается использовать в технологии грубой строительной керамики для замены технол. топлива на этапе изотермической выдержки при обжиге полуфабрикатов. Изучены минеральный состав отходов, состав их органической части, термические и технологические свойства. Приведена сравнительная характеристика свойств керамических материалов, полученных на основе шихт с использованием глинистого сырья и углеотходов в разных количествах. Материалы получены в лабораторных условиях по обычному режиму термообработки при температуре 950 °С и специальному режиму, который моделирует самообжиг за счет тепла реакций окисления горючей части углеотходов. Показана целесообразность использования специальных окислителей в виде комбинации нитратных солей аммония и кальция, функция которых заключается в создании окислительной среды в объеме обжигаемого материала за счет образования при термическом разложении солей агентов-окислителей O_2 , NO_2 и N_2O . Установлено, что механическая прочность керамических образцов лишь на 15% меньше образцов обычного обжига и составляет 8,5 Н/мм² для массы с 22% углеотходов [32].

3. Экономические проблемы комплексного использования техногенного сырья и возможные пути их решения

Расширение минерально-сырьевой базы горнорудных предприятий базируется на вовлечении в эксплуатацию всех видов георесурсов (забалансовых руд, техногенного сырья и полостей недр), а адаптация технологии добычи и переработки (отходов обогатительного и металлургического переделов) предполагает организацию непрерывно широкомасштабного внедрения в производство новых технологий, учитывающих целенаправленно измененные технологические характеристики георесурсов, и/или введение дополнительных технологических узлов для их переработки.

В последние десятилетия образование значительного количества отходов недропользования (техногенные месторождения) является результатом интенсивного развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Техногенные месторождения бывают двух основных видов:

- хранилища отходов добычи полезных ископаемых;
- хранилища отходов переработки (обогащения) полезных ископаемых.

Увеличение объемов добычи золота, цветных, редких, черных и др. обусловленное растущим спросом на эти металлы, с одной стороны, и резким сокращением легкодоступных запасов металлов в коренных рудах и, как следствие, снижением промышленных кондиций, с другой, послужили причиной активного вовлечения в переработку техногенных минеральных ресурсов.

Многолетнее развитие горнодобывающей промышленности России привело к накоплению гигантских объемов отходов горнорудного сырья (более 100 млрд т). Причем только 8-10% из них соответствуют установленным требованиям хранения отходов. Потенциальная ресурсная ценность создаваемых техногенных новообразований напрямую связана с минералогией разрабатываемых месторождений, а реальная экологическая опасность в количественном отношении определяется их объемом, конструкцией и характером ландшафта, а в качественном - структурой техногенных факторов в сочетании со свойствами транзитной и депонирующей природной среды. Проблемы размещения и оптимизации параметров отвалов становятся важнейшей задачей, от успешного решения которой зависят не только технико-экономические показатели работы предприятий, но и рациональное использование недр и охрана окружающей среды. Хранение крупнодисперсных твердых отходов (пустых пород) означает, что после полного их использования необходимы меры по рекультивации и возврату в хозяйственный оборот освободившихся от отвалов территорий. Захоронение твердых отходов означает, что депонирующая эти отходы геосфера изменяет свое состояние, и восстановление экологического равновесия потребует ревитализации сформированного техногенного ландшафта. Снижение уровня полного поражения биоты связано с созданием и применением систем с преобладающей рудной подготовкой, а также с увеличением размеров выемочных единиц и связанного с этим масштаба отбойки. При этом экологическая эффективность данных мероприятий будет возрастать по мере усложнения рельефа территории, на которой размещаются породные отвалы [33].

Необходимое условие формирования обоснованной экологической промышленной политики – достоверные сведения о качестве вторсырья и возможных направлениях его переработки и утилизации (по аналогии с решением задач вовлечения в промышленное использование новых месторождений природных ресурсов – путем проведения специальных изыскательских технологических исследований на отобранных пробах новых сырьевых материалов). Результаты технологических испытаний в разных направлениях представительных проб отходов недропользования можно использовать как метод экспертных оценок для определения ресурсной ценности и целесообразности вовлечения.

Отходы горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, где ежегодно образуются более 4 млрд тонн, являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды.

При вовлечении в переработку отходов горнорудного производства наряду с пополнением минерально-сырьевой базы (МСБ) решаются экологические проблемы. Особую привлекательность придает техногенным месторождениям то, что, как правило, они расположены в промышленно развитых районах, нередко в границах населенных пунктов и крупных городов, находятся на поверхности земли, а горная масса в них преимущественно дезинтегрирована, что резко снижает затраты на их разработку.

Расположенные вблизи урбанизированных территорий отходы обогащения приводят к серьезному ухудшению состояния окружающей среды,

что отрицательно сказывается на социально-экономической и санитарно-эпидемиологической обстановке в регионе.

Ежегодно накопление хвостов обогащения на промплощадках предприятий цветной металлургии составляет около 400 млн т. Только на территории Свердловской области на 188 техногенно-минеральных объектах складировано свыше $8,5 \cdot 10^6$ т отходов добычи и переработки различных полезных ископаемых, в том числе $1,7 \cdot 10^9$ т отходов обогащения руд, из которых только 10% вовлекается в последующее производство.

Отходы любого производства представляют опасность для окружающего мира. Особенно большую опасность они представляют в старых промышленных регионах с интенсивно развивающейся горной, металлургической, металлообрабатывающей, химической и другими видами промышленности. Кроме того, что отходы недропользования представляют опасность для окружающего мира, они содержат огромные богатства, использование которых, на определенной стадии развития промышленности было экономически и технологически невозможно. В настоящее время опасность для окружающего мира от громадного количества отходов недропользования становится критической.

Наличие гигантских шламохранилищ таят в себе опасность как потенциальную в случае их прорыва (а случаи такие имеются), так и постоянную (проникновение в подземные воды, особенно токсически опасных веществ, наличие пыли, подхватываемой и разносимой ветром и т.д.). Не меньшую опасность представляют горные отвалы, шламохранилища, свалки. Наряду с экологическими проблемами, в результате истощения сырьевой базы, дестабилизации экономики обострились социально-экономические проблемы в старопромышленных регионах сосредоточения ГОКов.

Отходы горно-обогатительного производства негативно воздействуют на окружающую среду и обуславливают существенные затраты, связанные с содержанием хвостохранилищ, требуют изъятия из хозяйственного оборота значительных земельных площадей, необходимых для ведения горных работ, на удаление и хранение отходов затрачивается в среднем от 5 до 8% стоимости производимой продукции.

Накопленные в отвалах и хвостохранилищах массы отходов при средней толщине слоя 20 м занимают площадь более 1300 км². Ежегодное увеличение площади отчуждаемых земель составляет не менее 85-90 км². Негативное воздействие на окружающую среду проявляется на территории, в 10 раз и более превышающей площадь, занимаемую отходами.

Особенно остро экологические проблемы горнопромышленных отходов проявляются в северо-восточных и арктических регионах, где сосредоточены основные запасы минерально-сырьевых ресурсов. Особенность их социально-экономического развития — ведение хозяйственной деятельности, ориентированной на сырьевой сектор в экстремальных природных условиях.

Загрязнение атмосферы техногенными месторождениями (отходами недропользования) происходит в результате выветривания различных веществ из складированной горной массы. Выделяемые компоненты — это чаще всего пыль и газы (особенно при горении отвалов угольной промышленности). Наибольшее выделение вредных веществ происходит в процессе непосредственного складирования. При хранении отходов оно постепенно снижается и доходит до уровня естественного выветривания. Выделяемые из отвалов и хвостохранилищ ингредиенты нередко являются едкими или радиоактивными.

Загрязнение водных объектов твердыми отходами происходит вследствие вымывания ряда веществ при фильтрации природных водных потоков через массы минеральных веществ. Степень загрязнения определяется ко-

личеством атмосферных осадков, выпадающих в течение года, и притоком наземных вод, преграждаемых этими объектами и фильтрующихся через них. Основные загрязняющие вещества — это различные минеральные соли и взвешенные вещества.

Колоссальные объемы отходов предприятий горнопромышленного комплекса создают серьезные экономические и экологические проблемы. Для поддержания существующих отвалов и хвостохранилищ необходимы значительные капитальные и материальные затраты.

Освоение минерального сырья в Дальневосточном федеральном округе в прошлом веке привело к масштабному разрушению земель, изъятых из лесного фонда для разработки месторождений полезных ископаемых, и значительному накоплению отходов переработки (обогащения). Интенсивное техногенное воздействие на экосферу в районе исследования обусловило напряженную экологическую обстановку в окрестностях горных предприятий. Хвостохранилища, содержащие большие запасы токсичных отходов, оказались бесконтрольными. Расположенные вблизи населенных пунктов, они в настоящее время оказывают негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения горняцкого поселка.

В связи с этим возникла необходимость в разработке способов рекультивации поверхности хвостохранилища закрытого горного предприятия «Хрустальненский ГОК» с использованием потенциала биологических систем (биоремидитации), направленных на обеспечение экологической безопасности токсичных отходов и улучшение среды обитания.

Выявлены особенности техногенного загрязнения объектов окружающей среды, заключающиеся в чрезвычайно высоких показателях содержания в них соединений токсичных тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, Co, Hg) и мышьяка. Экспериментальными исследованиями доказана возможность успешного использования при рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья, потенциала биологических систем [35].

4. Разработка эффективных комплексных малонапряженных технологий переработки и утилизации отходов горно-обогатительных комбинатов

Трудная обогатимость техногенного минерального сырья, а отсюда и невысокая привлекательность их как минерально-сырьевых объектов для повторной переработки, определяются более низкими концентрациями ценных компонентов по сравнению с рудами, нахождением их в минеральных формах, которые не извлекаются в традиционных разделительных процессах, нивелированием контрастности тех свойств, которые были положены в основу их первичной переработки.

Особенности вещественного состава и технологических свойств минеральных отходов формируются на различных этапах техногенеза: на технологическом этапе образования самих отходов в процессах извлечения минерального сырья из недр, его первичной переработки в низкотемпературных процессах механического обогащения и гидрометаллургии, в высокотемпературных процессах переработки руд и концентратов, в процессах складирования образовавшихся отходов в различные техногенно-минеральные образования, и на геолого-геохимическом этапе их хранения, часто длительного, в отвалах, хвостохранилищах, шлако- и золоотвалах в протекающих физических и физико-химических процессах вторичного гипергенного преобразования.

В результате отходы добычи и переработки минерального сырья существенно различаются по вещественному составу и свойствам между собой в зависимости от их происхождения, условий и сроков хранения и т.п.

Техногенные минеральные образования отходов добычи руд, отвалов бедных некондиционных руд, оруднелых пород в наименьшей степени подверглись техногенным преобразованиям в процессах добычи и складирования, по сравнению с отходами обогатительного и металлургического переделов, тем не менее отличаются сложным вещественным составом и трудной обогатимостью.

Все вышеперечисленное вызывает необходимость создания современных комплексных, экологически малонапряжённых технологий переработки отходов недропользования (хвостов обогащения) на основе инновационных методических и теоретических решений.

Выполненный обзор литературных данных показывает, что отходы, образуемые в результате разработки всех типов месторождений полезных ископаемых, можно использовать в различных отраслях народного хозяйства. В основном они находят применение в производстве строительных материалов. Отходы месторождений, содержащих руды цветных металлов, к примеру, используют при получении композиционных вяжущих материалов, огнеупоров, облицовочных материалов, минерального волокна и других видов продукции.

Результаты многолетних исследований по освоению механохимических процессов при утилизации хвостов обогащения руд доказали принципиальную возможность улучшения показателей переработки отходов недропользования за счет вовлечения хвостов обогащения metallических руд в производство путем комбинирования новой технологии выпелачивания металлов из хвостов переделов руд с традиционными технологиями.

Разработана перспективная комбинированная технология переработки лезжалых хвостов ГОКов (Солнечный, Хрустальненский, Кавалерский, Красно-реченский, Приморский), перерабатывающих олово-медные серебротодержащие руды, заключающаяся во флотационном извлечении меди и серебра с последующим гравитационным выделением олова из хвостов флотации в оловотодержащие промпродукты и их химической переработкой.

Разработана ресурсотберегающая экологически безопасная комплексная флотационно-гидрометаллургическая нектислотная технология переработки отвала забалансовых окисленных медных руд с месторождения Таскора с массовой долей меди ~1%, их которых 47% отн. меди приходится на вторичные сульфиды, 6% отн. в виде халькопирита, с крайне высоким (около 33%) содержанием карбонатов, гипса, глинисто-слудистых веществ в составе породотобразующих минералов. Технология предусматривает совмещение операции измельчения руды с одновременным выпелачиванием окисленных минералов меди сульфатом аммония, последующую флотацию сульфидных минералов и гидрометаллургическую переработку отделинной от продуктов флотации жидкой фазы пульпы сорбцией на ионите и электролизом.

Продуктами переработки материала отвала будут кондиционный медный концентрат с массовой долей меди 27-29% при извлечении 47,6 % и катодная медь с массовой долей меди 99,99%, а также продуктивный раствор с концентрацией меди 1,24 г/дм³ при ее извлечении в раствор 40,36%. В результате достигнуто высокое суммарное извлечение меди в целевые продукты - 87,96%. Продуктивный медьотодержащий раствор, получаемый отделением жидкой фазы от всех продуктов флотационной переработки, направляли на сорбцию на

катионите Lewatit MonoPlus TP 207 и электролиз. В результате была получена катодная медь марки M00k.

Таким образом, переработка отвала по комбинированной технологии обеспечивает получение товарных востребованных продуктов, высокую полноту извлечения запасов меди из техногенного минерального образования, экологическую безопасность при использовании нектислотного аммиачного выпелачивающего реагента при циркуляции всех рабочих растворов.

Особую угрозу для окружающей среды представляют сульфидсодержащие отходы недропользования, относящиеся к группе наиболее экологически опасных.

В связи с этим была изучена возможность использования флотационных и магнитных методов обогащения для доизвлечения цветных металлов из лежалых хвостов обогащения медно-никелевых руд, отобранных с дамбы хвостохранилища АО «Кольская ГМК». Выполненным комплексом минералого-технологических исследований и оценки раскрытия сульфидных минералов определена оптимальная крупность измельчения и режимы флотации. Флотационным методом получен обогащенный продукт с содержанием никеля 0,39% и меди 0,20% при извлечении 44 и 59% соответственно. Степень концентрации полезных компонентов составила 1,8 для никеля и 2,4 для меди. Использование магнитной сепарации позволило получить более высокое извлечение никеля (49-60%) и более низкие по содержанию никеля хвосты. Наиболее целесообразным представляется комбинированная технология магнитных и флотационных методов, с использованием в голове процесса магнитной сепарации [34].

Проведенными исследованиями обоснована целесообразность комбинирования различных технологических процессов для доизвлечения золота на одном законсервированном хвостохранилище с запасами золота около 3 тонн по типам участков. Золотосодержащие пески из необводненных участков пляжной зоны, в которых золото находится преимущественно в крупных и мелких классах, необходимо перерабатывать гравитационным методом на центробежных концентраторах. Доизвлечение золота из обводненных глубоких участков центральной части хвостохранилища с неравномерным распределением мелкого и тонкого золота по глубине и по простиранию рационально производить хлоридным выпелачиванием на месте залегания хвостов.

Накопленный объём хвостов обогащения флюоритовых руд предприятия Ярославской горнорудной компании (ЯГРК), базирующемся на переработке руд Вознесенского рудного района Приморского края, оценивается более чем в 30 млн.т. Содержание флюорита в хвостах, проскладированных в хвостохранилище колеблется в пределах 13-23 %, кальцита — не более 12-14 %, что заслуживает внимания для изучения возможности его вторичной переработки с предварительным воздействием ультразвука и последующей флотацией с перечистками флюоритового продукта.

По разработанной комплексной технологии получен флюоритовый концентрат, в котором содержание CaF_2 на 1,2-1,7%, а извлечение на 3,5-8,5% выше, чем по стандартной технологии, при одновременном в нем снижении CaCO_3 .

Установлена возможность получения марочных флюоритовых концентратов с содержанием CaF_2 , 93,19-93,64% при извлечении, соответственно, 52,53-67,4%.

Казахстан обладает значительными потенциальными запасами золото-содержащего минерального сырья. Наряду с рудами дополнительным источником являются техногенные отходы — хвосты обогащения и цианиро-

вания золотонизвлекательных фабрик. Занимая огромные площади, они наносят значительный вред окружающей среде, загрязняя водоемы, почву и воздух, так как пыльные бури повышают содержание в воздухе токсичных элементов до уровня, превышающего предельно допустимые концентрации. При длительном хранении лежалых хвостов в хвостохранилищах меняет их качество для обогащения в худшую сторону, а также происходит окисление сульфидов в сростках, сорбционная способность минералов породы повышается.

Для вовлечения таких отходов в переработку требуются нетрадиционные методы. Одной из перспективных комплексных технологий переработки техногенного сырья является способ предварительного окисления с последующим выщелачиванием золота, которое не требует больших материальных затрат и не загрязняет атмосферу.

При флотационной переработке медно-колчеданных руд ПАО «Гайский ГОК» образуются отвальные хвосты флотации, содержащие 0,2-0,7% Cu и 0,6-1,4 г/т Au. Разработана комплексная флотационно-металлургическая технология извлечения ценных компонентов, основанная на предварительном концентрировании золота и меди пиритной флотацией. В пиритный концентрат извлекается около 84,5% золота и 60,9% меди, содержание золота в камерном отвальном продукте – 0,25 г/т.

Повышение извлечения меди проблематично по причине нахождения ее в камерном продукте преимущественно в форме оксидов, флотация которых невозможна. Дальнейшую переработку полученного пиритного концентрата предложено вести на основе окислительного обжига (550-600 С°), кислого выщелачивания меди из огарка, промывки и цианирования отмытого кека. Кислое выщелачивание рекомендуется проводить без внешнего подогрева растворами серной кислоты с концентрацией 10-20 г/л. Из кислых растворов выщелачивания медь выделяется цементацией железным порошком в виде медного концентрата (22-32% Cu), золотосодержащий раствор перерабатывается с получением лигатурного золота. Определены оптимальные условия цианирования огарка: Ж:Т=2, начальная концентрация NaCN 2 г/л, продолжительность цианирования 2 ч. Показана возможность достижения сквозного извлечения в товарную продукцию 66% золота и 45% меди. Предложенная схема позволяет снизить удельный расход NaCN при цианировании с 2,5-2,8 до 0,8 кг/(т хвостов) при попутном извлечении из обжиговых газов товарной серной кислоты [36].

Рассмотрена возможность восполнения минерально-сырьевой базы меди за счет вовлечения в переработку ранее не используемых ресурсов отвалов забалансовых некондиционных руд медных месторождений и необходимости разработки для этого новых инновационных технологий.

Разработана комплексная флотационно-гидрометаллургическая технология переработки отвала медной руды с использованием выщелачивания окисленных минералов меди сульфатом аммония в процессе измельчения руды и последующей флотацией сульфидных минералов. Суммарное извлечение меди в медные продукты – флотационный медный концентрат и продуктивный раствор для его последующей переработки до катодной меди в этом случае превышает 84% [37].

Разработан комбинированный процесс обогащения отходов титанового производства (песчано-шлаковой смеси) методами механической и магнитной сепарации с целью уменьшения потерь полезного компонента в технологии основной переработки ильменитового концентрата.

В результате разделения исходной песчано-шлаковой смеси методом механической классификации установлено, что фракция крупностью 0,16 – 0,4 мм

содержит значительную долю песка (до 94%) и может быть полностью удалена из технологии без дальнейшей переработки. Остальные фракции крупности помимо диоксида титана, железа и его оксидов содержат значительную долю диоксида кремния, отделить которую методом сытовой классификации не представляется возможным.

Результаты разделения исходной песчано-шлаковой смеси методом магнитной сепарации показали, что в немагнитную фракцию удается выделить фазы песка и диоксида титана без примесей железа. При этом в магнитной части остается практически все железо с его трехвалентным оксидом, а также большая доля частиц диоксида кремния и титана, вплавленная в более крупные куски магнитной фракции. Показано, что в процессе магнитной сепарации в магнитную фракцию уходит до 100% $\text{Fe} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, 20% SiO_2 и 73% TiO_2 . При этом с немагнитной фракцией, в среднем, уходит до 80% SiO_2 и 27% TiO_2 [38].

Многотоннажные *неметаллические отходы* горнообогатительного производства (нерудная составляющая) чаще всего используются для закладки выработанного пространства и в качестве сырья для производства строительных материалов, в дорожном строительстве, для получения вяжущих для строительных смесей и строительных материалов (взамен минерального сырья), а также в качестве мелнирантов для почв. Кроме того, практически нерудная составляющая любого ГОКа в РФ и за рубежом используется при строительстве автодорог, оснований аэродромов, укреплении обочин, при этом регламентируются следующие условия: щебень по зерновому составу, прочности, морозостойкости, содержанию зерен пластинчатой и игольчатой формы, содержанию пылевидных и глинистых частиц, глины в комках и содержанию дробленных зерен в щебне из гравия, устойчивости структуры против распада должен соответствовать ГОСТ 8267-93, кроме того, щебень характеризуется пластичностью, водостойкостью, готовые смеси – зерновым составом, пластичностью, удельной эффективной активностью естественных радионуклидов, прочностью, морозостойкостью и устойчивостью структуры щебня и гравия, входящих в состав смеси; регламентируют коэффициент фильтрации.

5. Современные методы складирования текущих хвостов обогатительных фабрик

Проблемы складирования текущих хвостов обогатительных фабрик и их решения также можно рассматривать как пример комплексного технологического решения по переработке отходов недропользования в современных условиях в РФ и за рубежом.

Как уже отмечалось ранее, за многолетнюю работу предприятий горно-промышленного комплекса в отвалах и хвостохранилищах накоплены миллиарды тонн отходов недропользования (добычи и обогащения руд). Поддержание этих объектов требует значительных капитальных и материальных затрат, а складированные измельченные отходы обогащения загрязняют почву и атмосферу за счет водной и ветряной эрозии. Решение вопроса повышения экологической безопасности возможно, как за счет создания технологий переработки складированных отходов обогащения, так и за счет максимального комплексного извлечения всех полезных компонентов.

Складирование текущих отходов переработки наиболее труднообогатимых руд, имеющих 4-й класс опасности, осуществляют без предварительной подготовки в специально построенные поверхностные емкости — хво-

стохранилища. Классическим является складирование в хвостохранилища намывного типа путем перекачивания хвостовой пульпы по трубопроводам на специально подготовленную площадку, огражденную дамбой, — хвостохранилище. Способ отличается наименьшей стоимостью складирования, но требует строительства дамбы, способной выдержать напор отходов.

Гидравлический способ размещения текущих хвостов переработки руд без предварительной подготовки в емкости хвостохранилища, расположенного в непосредственной расчетной близости от обогатительной фабрики (ОФ) и карьера, наиболее распространен в отечественной и мировой практике работы обогатительных производств. Это объясняется тем, что данная технология:

- 1) проста в исполнении и менее затратна в плане механизации;
- 2) достаточно отработана: так, например, происходит складирование отходов на Учалинском, Сибайском, Бурибаевском ГОКах, а также на обогатительных фабриках Канады, США, Японии, Австрии и др.;
- 3) позволяет обеспечить отстой технологических вод и их возврат в обратную сеть водоснабжения обогатительной фабрики (ОФ).

Основным недостатком такого способа размещения отходов является повышенная экологическая опасность эксплуатации поверхностных хвостохранилищ, так как при их формировании и функционировании происходит загрязнение воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенного покрова на обширных территориях. На долю пылящих поверхностей сухих намывных пляжей, откосов дамб и плотин приходится 54% от общего количества выбросов горного предприятия. Приконтурные пляжи мелкодисперсного песка являются мощным источником пыли, которая в жаркое и сухое время года переносится воздушными потоками при скорости более 2 м/с на окружающие территории, оседая в городах, полях и на сельскохозяйственных угодьях. Пылевые потоки загрязняют плодородную почву металлами и ухудшают экологическое состояние воздушного бассейна в горнодобывающем регионе. Поэтому проблема предотвращения пыления хвостохранилищ требует эффективных технических решений [1, 2].

В настоящее время осуществлены новые технологии селективного складирования хвостов, исходя из их качественных характеристик.

К перспективным способам складирования хвостов следует отнести сгущение пульпы в сгустителях высокой производительности SUPAFL0. Успешная работа высокопроизводительных сгустителей обычно обеспечивается с помощью использования флокулянтов высокой молекулярной массы полиэлектролитного типа. Данные сгустители отличаются не только высокой производительностью, но и высокой плотностью сгущенного продукта (до 75% твердого), очень чистым сливом, возможностью автоматического регулирования и контроля процесса сгущения.

К новым технологиям складирования хвостов можно отнести ластовые сгустители, которые обеспечивают отсутствие воды на поверхности хвостохранилища, снижение стоимости ограждающих дамб, снижение пылеобразования, быструю рекультивацию. На отечественных и зарубежных предприятиях (Высокогорском, Гайском и других ГОКах) применяют технологию размещения (намыва) отходов обогащения руд без предварительной подготовки в отработанных пространствах карьеров под защитой возведенного искусственного массива. В этом случае карьер выполняет роль поверхностного хвостохранилища.

Качественной и принципиальной новой является идея замены существующего подхода к складированию отходов в хвостохранилищах на их раз-

мещение в карьерном и подземном пространстве. В большинстве развитых стран законодательство не позволяет размещать отходы обогащения в местах, где они могут нанести вред окружающей среде и живой природе, что существенно повышает стоимость процессов управления отходами и обязывает недропользователей отказаться от складирования хвостов обогащения руд путем придания им дополнительных полезных свойств.

Складирование хвостов по новой технологии в выработанном пространстве рудников позволяет избежать необходимости отвода дополнительных территорий для строительства хвостохранилищ и способствует рекультивации нарушенных земель. Такая технология характеризуется невысокими затратами при отсутствии риска прорыва хвостохранилищ.

6. Создание технологии безотходной разработки техногенного сырья на основе применения мобильных комплексов

Пришло время усовершенствования и внедрения технологии глубокой безотходной разработки техногенных месторождений автономными мобильными комплексами с извлечением всех полезных компонентов и захоронением (консервацией) вредных компонентов (элементов-токсикантов) с последующей рекультивацией и возвращением в хозяйственный оборот освобожденных от них территорий.

Методика проектирования комплексов позволяет адаптировать технологию глубокой безотходной переработки к условиям практически любого известного техногенного месторождения, включая глубокую переработку шламохранилищ углеобогажительных фабрик в целях производства тонкодисперсного водотопольного и брикетированного топлива, строительных материалов и удобрений, а также их использования в цементной промышленности при производстве мелоглинистого шлама и многих других видов продукции.

Реализация концепции глубокой переработки рассмотрена на примере техногенных месторождений КМА.

Предложена технология отработки техногенных и природно-техногенных месторождений с помощью мобильных технологических комплексов на базе оригинальных технических решений.

Сформулирована новая концепция глубокой безотходной переработки техногенных месторождений и разработать методы и технические средства ее реализации.

Предлагаемый в настоящее время технологический комплекс включает проверенное на практике уникальное, не имеющее мировых аналогов оборудование. Он предназначен для глубокой переработки техногенного сырья с извлечением полезных компонентов (золота, платины, палладия, серебра; железа, гематитов и др.) и удалением вредных примесей (ртутьсодержащих и тяжелых металлов, радионуклидов) из хвостов обогажительных фабрик предприятий цветной и черной металлургии. Все эти компоненты и безметалленые отходы (хвосты) представляют собой достаточно ценную продукцию для металлургической, строительной, частично ювелирной и других отраслей промышленности и экономики в целом (рис. 6).

Таким образом, предлагаемая технология переработки техногенных отходов (хвостов обогащения, эфелей, шламохранилищ) позволяет обеспечить устранение и захоронение вредных примесей, в том числе и в подземных выработанных пространствах после предварительного их сгущения, что также обеспечивается техническими средствами, входящими в состав комплекса. Предлагаемая технология обеспечивает рентабельное и практически

экологически чистое и безотходное производство с существенно меньшей себестоимостью основной продукции действующих горно-обогатительных предприятий цветной и черной металлургии и России.

Возможность реализации этого резерва снижения себестоимости основной продукции ГОКов, ГМК и угледобывающих предприятий с одновременным устранением и обезвреживанием токсичных примесей из хвостов обогащения (эфелей) связана с использованием важнейшего принципа построения экологически горного производства — замкнутого цикла обращения вещества [3].

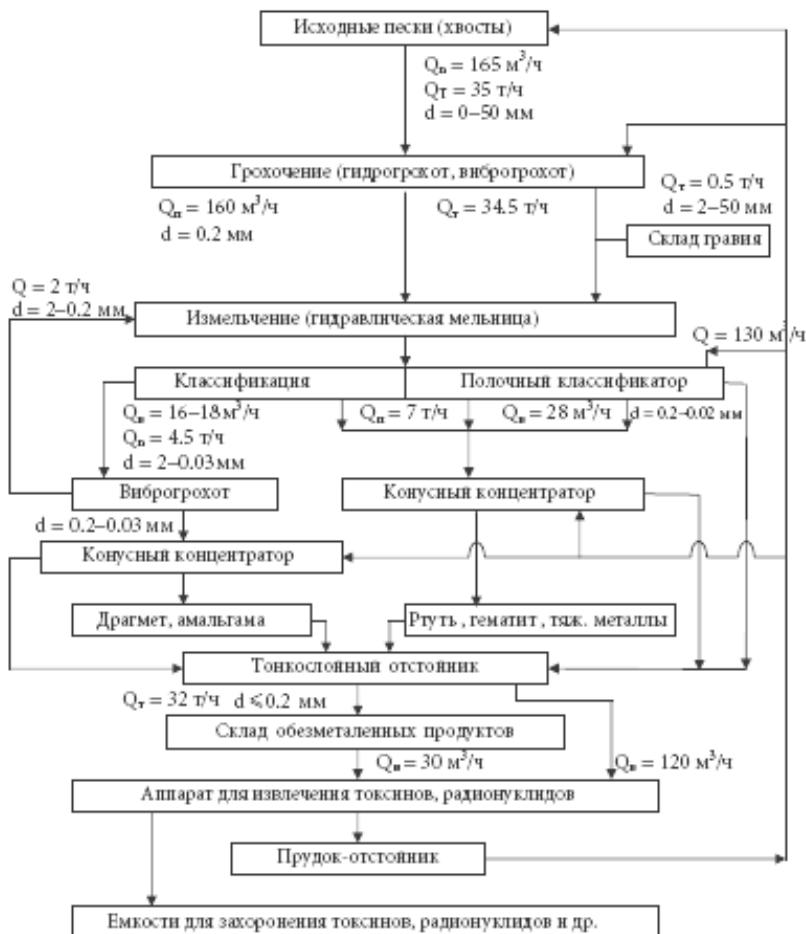


Рис. 6 Схема комплексной безотходной технологии переработки техногенных месторождений (отходов недропользования)

Выводы

1. Распирение минерально-сырьевой базы горнорудных предприятий базируется на вовлечении в эксплуатацию всех видов георесурсов (забалансовых руд, техногенного сырья и полостей недр), а адаптация технологии добычи и переработки (отходов обогащительного и металлургического переделов) предполагает организацию непрерывно широкомасштабного внедрения в производство новых технологий, учитывающих целенаправленно измененные технологические характеристики георесурсов, и/или введение дополнительных технологических узлов для их переработки.

2. Техногенные месторождения (отходы горно-обогащительных комбинатов) — конкурентоспособный, перспективный минеральный ресурс, использование которого по инновационным технологиям обеспечивает не только значительный технико-экономический эффект, но и достигаемый попутно экологический эффект как естественное следствие нового уровня требований современного производства.

3. Исходя из состава, технологических особенностей и отраслевой принадлежности, техногенное сырье в горнодобывающей отрасли разделяют на:

- породные техногенные ресурсы, состоящие из отвалов природных горных пород и глыбово-щебеннистых материалов;
- шламо- и хвостохранилища обогащительных фабрик;
- техногенные ресурсы гидро- и пирометаллургических процессов цветной и черной металлургии, сложенные шламами и шлаками;

4. По данным государственной статистики, общая величина накопленных отходов недропользования горного производства составляла на конец 2017 г. — 38,1 млрд т. Наибольшая часть (99%) накопленных отходов относится к V классу опасности, то есть к практически неопасным отходам, которые характерны для горнодобывающих отраслей промышленности.

5. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» наибольший объем образования отходов производства и потребления в 2017 г. приходился на вид экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» и составил 5 786,2 млн т, или 93% от общего количества образованных отходов.

В ретроспективе за период с 2010 по 2017 годы количество ежегодно образующихся отходов недропользования увеличилось с 3 735 млн т до 6 221 млн т, что составляет увеличение на 66,5%.

6. До настоящего времени вопросам переработки и утилизации отходов недропользования уделялось недостаточное внимание. Для этого существовали определенные причины, а именно:

- ведомственный и отраслевой подход к добыче различных видов полезных ископаемых;
- недостаточная ответственность предприятий при потреблении ими природных ресурсов;
- более низкие, в сравнении с существующими условиями, содержания побочных минеральных компонентов;
- отсутствие эффективных технологий переработки и утилизации.

В основных направлениях научно-технического прогресса в настоящее время поставлена задача по комплексному освоению месторождений твердых полезных ископаемых, среди результатов которой должна быть высокоэффективная, ресурсосберегающая, малоотходная и экологически безвредная технология извлечения полезных компонентов из отходов недропользования.

7. В настоящее время в области переработки отходов горно-обогатительных предприятий ведутся исследования по созданию новых технологий извлечения ценных компонентов из отходов переработки руд, на основе комбинированных физико-химических способов обогащения (флотация, электрохимия и т. д.) с химико-металлургическими методами (широ- и гидрометаллургия, автоклавное выщелачивание, биологическое окисление).

При этом определены следующие направления создания безотходных (или малоотходных) способов переработки техногенных отходов:

- разработка принципиально новых технологических схем и методов, исключающих выброс отходов в окружающую среду:

- создание замкнутых технологических схем с многократным использованием воды и технологических газов;

- создание системы переработки отходов горно-обогатительных комбинатов, которые рассматриваются как вторичные материальные ресурсы, с организацией крупных региональных территориально-промышленных комплексов с замкнутой структурой потоков сырья для глубокой переработки.

8. Разработаны усовершенствованные технологии переработки и утилизации отходов недропользования следующих видов минерального сырья в Российской Федерации и за рубежом:

- золотосодержащего сырья;

- оловянного и вольфрамового сырья;

- полиметаллических руд цветных металлов;

- руд черных металлов;

- углесодержащего сырья.

9. Трудная обогатимость техногенного минерального сырья, а отсюда и невысокая привлекательность их как минерально-сырьевых объектов для повторной переработки, определяются более низкими концентрациями ценных компонентов по сравнению с рудами, нахождениями их в минеральных формах, которые не извлекаются в традиционных разделительных процессах, нивелированием контрастности тех свойств, которые были положены в основу их первичной переработки.

В результате отходы добычи и переработки минерального сырья существенно различаются по вещественному составу и свойствам между собой в зависимости от их происхождения, условий и сроков хранения и т.п.

Всё это предопределило необходимость создания комплексных технологий переработки и утилизации отходов недропользования на основе инновационных теоретических и методических решений.

10. Разработаны ресурсосберегающие экологически безопасные комплексные обогатительно-металлургические технологии переработки и утилизации отходов недропользования оловянно-полиметаллических руд Солнечного ГОКа, вольфрамовых руд Барун-Нарынского месторождения (технология внедрена на действующей фабрике поселка Закаменск), окисленных медных руд месторождения Таскора, флюоритовых руд Ярославской горнорудной компании, медно-колчеданных руд ПАО «Гайский ГОК»).

11. Разработана технология переработки и утилизации отходов недропользования на основе использования мобильных технологических комплексов (на примере техногенных месторождений КМА). Предложенный технологический комплекс предназначен для переработки техногенного сырья с целью извлечения полезных компонентов (золота, серебра, платиноидов, железа, гематитов, и др) и удаления вредных примесей (ртутьсодержащих и тяжелых металлов, радионуклидов) из хвостов обогатительных фабрик.

Предлагаемый в настоящее время технологический комплекс включает проверенное на практике уникальное, не имеющее мировых аналогов оборудование. Он предназначен для глубокой переработки техногенного сырья с извлечением полезных компонентов (золота, платины, палладия, серебра; железа, гематитов и др.) и удалением вредных примесей (ртутьсодержащих и тяжелых металлов, радионуклидов) из хвостов обогатительных фабрик предприятий цветной и черной металлургии. Все эти компоненты и обезметалленные отходы (хвосты) представляют собой достаточно ценную продукцию для металлургической, строительной, частично ювелирной и других отраслей промышленности и экономики в целом.

12. Складирование хвостов по новой технологии в выработанном пространстве рудников позволяет избежать необходимости отвода дополнительных территорий для строительства хвостохранилищ и способствует рекультивации нарушенных земель. Такая технология характеризуется невысокими затратами при отсутствии риска прорыва хвостохранилищ.

13. Разработанные и частично внедренные усовершенствованные технологии переработки и утилизации отходов недропользования обеспечат рентабельное и практически экологически чистое и безотходное производство с существенно меньшей себестоимостью основной продукции действующих горно-обогатительных предприятий цветной и черной металлургии и России.

Возможность реализации этого резерва снижения себестоимости основной продукции ГОКов, ГМК и угледобывающих предприятий с одновременным устранением и обезвреживанием токсичных примесей из хвостов обогащения (эфелей) связана с использованием важнейшего принципа построения экотехнологии горного производства — замкнутого цикла обращения вещества.

14. Использование отработанных карьеров для внутреннего отвалообразования является примером комплексного подхода к освоению участков недр Земли. Данный способ применяется для решения проблем сокращения затрат на транспортирование вскрышных пород и уменьшения изъятых территорий на поверхности Земли для размещения отходов добычи полезных ископаемых.

Использование выработанного пространства карьеров для размещения промышленных отходов различных отраслей промышленности позволит решить проблему изъятия земель, в том числе сельскохозяйственного назначения, необходимых под строительство специализированных полигонов.

Список литературы

1 Силантьева Н. В. Актуальные вопросы идентификации и нормирования отходов горнодобывающей промышленности. Практические аспекты. Материалы III всероссийской конференции «Управление отходами горнодобывающих производств», 2019 г.

2 Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / А. В. Архипов, С. П. Решетняк; под науч. ред. акад. Н. Н. Мельникова. — Апатиты: КНЦ РАН, 2017. — 175 с.

3 Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий / [гл. ред. Д. О. Скобелев]; ФГАУ «НИИ ЦЭПП». — М.: СПб.: «Реноме», 2019. — 824 с.

4 Скобелев Д.О., Чечеватова О.Ю., Шубов А.Я., Иванков С.П., Доронкина И.Г. Ресурсосбережение. Систематизация технологий — М.: ООО «Сам Полиграфист», 2019. — 273с.

5 Чантурия В.А., Козлов А.П. Современные проблемы и приоритетные направления научных исследований в области переработки минерального сырья. Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании: Материалы Российского совещания с международным участием, Москва, 15-16 мая, 2018. Рос. минерал. о-во. М. 2017, с. 11-15.

6 Михайлов Б. К. и др. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы под ред. Б. К. Михайлова; Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), Федеральное гос. унитарное науч.-произв. предприятие "Российский федеральный геологический фонд" (ФГУНПП "Росгеолфонд"), Науч. центр ВИЭМС. Москва, 2012.

7 Чантурия В.А., Шадрунова И.В. Экологически ориентированная переработка горнопромышленных отходов. М.: Спутник+, 200 с.

8 Комаров М.А., Алискеров В.А., Кусевич В.П., Заверткин В.А. Горнопромышленные отходы - дополнительный источник минерального сырья. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 4. С. 3-9.

9 Панченко Г. М., Высотин В. В., Винокурова М. А., Серебешитков А. А. Освоение пневмомеханических большеобъемных флотомашин на ЗИФ-2 ОАО "Высочайший" Золотодобыча. 2016, № 1, с. 7-9.

10 Прокопьев С. А., Болотин М. А., Демин П. А., Старовойтов А. В. и др. Применение винтовой сепарации для донзвлечения мелкого и тонкого золота из отвалов россыпных месторождений. Материалы 24 Международной научно-технической конференции "Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья", Екатеринбург, 9-12 апр., 2019. Екатеринбург. 2019, с. 43-47, 2 нл. Библ. И. Рус.

11 Васильев Е. А., Рудой Г. Н., Савин А.Г. Перспективы переработки легжальных хвостов обогащения ОАО «Гайский ГОК». Цветные металлы. 2014, №10, с. 25-28.

12 Бочаров В. А., Игнаткина В. А. Инновационная комбинированная технология комплексной переработки техногенных пиритных продуктов. Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья: Материалы Международного совещания "Плаксинские чтения - 2013", Томск, 16-19 сент., 2013. Томск. 2013, с. 33-39.

13 Секисов А. Г., Рассказова А. В., Литвинова Н. М., Кирильчук М. С. Комбинированное кучное выщелачивание сложноизвлекаемых форм золота из техногенно-трансформированного минерального сырья. Горн. инф.-анал. бюл. 2019, № 8, с. 198- 208. Рус.

14 Койжанова А. К., Кенжалиев Б. К., Кульдеев Е. П., Камалов Э. М. Исследования технологии извлечения золота из отработанных пгтабелей руды кучного выщелачивания. Обогащ. руд. 2019, № 3, с. 54-59. Рус.; рез. англ.

15 Палкин П.Е., Волобаев П.В., Ван Шоу-Лунь, Зинь Чень-Гуй, Яо Вэй, Сюй Зинь. Перспективы освоения техногенных месторождений золота Китая. / Труды первой международной научно-практической конференции г. Симферополь – Судан., 2001 г.

16 Пелевин А. Е. Получение ильменитового концентрата из техногенных месторождений. Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы 23 Международной научно-технической конференции, проводимой в рамках 16 Уральской горнопромышленной декады 09-18 апр. 2018 г., Екатеринбург, 10-13 апр., 2018. Екатеринбург. 2018, с. 166- 167.

17 Газалеева Г. П., Назаренко А. Н., Щигаева В. Н., Власов П. А. Особенности переработки оловосодержащих хвостов солнечного горно-обогательного комбината. Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. 2018, № 3, с. 150-156.

18 Белозурова О. А., Саварина М. А., Шафай Т. В. Огнеупорные материалы из техногенных ресурсов Ковдорского ГОКа. 21 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Санкт-Петербург, 9-13 сент., 2019: Сборник тезисов. Т. 2а. Химия и технология материалов. СПб. 2019, с. 166.

19 Отчёт «Проведение укрупнено-лабораторных испытаний по усовершенствованию технологии обогащения лежалых хвостов вольфрамсодержащих песков на действующей обогатительной фабрике». ФГУП ВИМС. Москва. 2014 г. 72 стр.

20 Селезнев С. Г., Светлов А. В., Макаров Д. В., Маслобоев В. А. Технологии и возможности извлечения цветных металлов из техногенных месторождений Мурманской области. Минералогия техногенеза - 2014: Сборник докладов 15 Научного семинара, Миасс, 19-22 июня, 2014. Миасс. 2014, с. 171-183.

21 Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Саркисова Л. М. Повышение эффективности переработки отходов флотационного обогащения медно-цинковых руд на основе применения сочетаний реагентов собирателей и флокулянтов: Ин-т пробл. комплекс, освоения недр РАН, Москва, 2008.

22 Варламова И. А., Калугина Н. А., Чурылева Н. А. Разработка комплексной химической технологии переработки техногенного минерального сырья ОАО "Учалинский ГОК". Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья: Плаксинские чтения 2015: Материалы Международного совещания, Иркутск, 21-25 сент., 2015. Иркутск. 2015, с. 410-413.

23 Евдокимов С. П., Евдокимов В. С. Переработка лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2015, №3, с. 3-11. Рус.

24 Чернушенко Е. В., Митрофанова Г. В., Вишнякова И. Н., Каменева Ю. С. Флотационные и магнитные методы для выделения цветных металлов из бедного техногенного сырья. Цв. мет. 2019, № 2, с. 11-16. Рус.

25 Александрова Т. Н., Николаева Н.В. и др. Патент РФ 2716345С1. Способ переработки техногенного полиметаллического сырья для извлечения стратегических металлов.

26 Васильев Е. А., Рудой Г. Н., Савин А. Г. Испытания по переработке лежалых хвостов обогащения ОАО «Гайский ГОК». Труды конгресса с Международным участием и элементами школы молодых ученых "Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований", "ТЕХНОГЕН - 2014", Екатеринбург, 2014. Екатеринбург. 2014, с. 435-439.

27 Хохуля М. С., Контфорина Т. А., Сытник М. В. Ресурсосберегающая технология, получения гематитового концентрата и кварцевого продукта из складируемых отходов обогащения железистых кварцитов ОАО "Олкон". Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: 5 Всероссийская научная конференция с международным участием, Апатиты, 12-15 нояб. с. 62- 64, 196.

28 Wu Jun, Quart Xuejun, Li Gang, Lu Cunfang et al. Детоксикация отходов хрома, переработанных после обжига хромовой руды без известняка путем восстановления с помощью SO₂. Detoxification of chromium ore processing residue from roasting chromite without calcium by SO₂ reduction. Huagong xuebao = SIESCJ. 2018. 69, № 4, с. 1678-1686. Кит.; рез. англ.

29 Мурко В.П., Хмяляйнен В.А., Волков М.А., Баранова М.П. Возможности и перспективы реализации отходов технологии обогащения углей. Горн. Инф.-анал. Бюл. 2019, №6, с.165-172. Рус.

30 Шевченко Т. В., Устинова Ю. В., Попов А. М., Новикова Я. А. и др. Рациональное использование окисленных каменных углей. ЭкиП: Экол. И промст. России. 2019. 23, № 5, с. 22-27. Рус.

31 Повышение экологической безопасности за счет использования отхода обогащения угля в производстве пористого заполнителя на основе жидкого стекла и монтмо-риллонитовой глины. Абдрахимов В. З. Энергосбережение и водоподгот. 2019, № 3, с. 33-38. Рус.

32 Рищенко М. І, Шукіна А. ІІ, Пітак Я. М., Лігезін С. А. Исследования возможности использования отходов углеобогащения в качестве энергетического сырья в керамических технологиях. Дослідження з виявлення можливості використання вваходів вуглезбагачення як енергетичною сировини в керамічних технологіях. et al. 36. наук, праць ПАТ "УКРНД1 вог-Нерпучіе". 2018, № 118, с. 132-141,180-182. Укр.; рез. рус., англ.

33 Галченко Ю. П., Калабин Г. В., Прошляков А. Н. Экологические последствия от поступления твердых отходов горного производства в основные геосферы при разработке рудных месторождений. Экол. системы и приборы. 2019, № 9, с. 45-58. Рус.

34 Черноусенко Е. Вишнякова П. Я., Каменева Ю. С., Нерадовский Ю. Н. Оценка возможности доизвлечения цветных металлов из лежалых хвостов обогащения медно-никелевых руд. Горн, инф.-анал. Бюл. 2019, № 7, с. 196-206. Рус.

35 Крупская А. Т., Голубев А. А., Растанина Н. К., Филатова М. Ю. Рекультивация поверхности хвостохранилища закрытого горного предприятия приморского края с использованием биоремедиации. Горн, инф.-анал. бюл. 2019, № 9, с. 138- 148. Рус.

36 Мусаев В. В., Ключников А. М., Галимов Р. Р. Исследование по доизвлечению металлов из хвостов флотационного обогащения медных колчеданных руд. Сообщ., 2019. 57, №2, с. 50-59. Рус.

37 Горлова О. Е., Шадрюнова П. В., Сиянская О. М. Разработка комбинированной лотационно-гидрометаллургической неокислотной технологии переработки отвалов забалансовых медных руд. Горн, инф.-анал. Бюл. 2018, № 12, с. 157-167. Рус.

38 Лановецкий С. В., Мелкомуклова О. Г Худяков С. Г. Исследование процесса обогащения отходов титанового производства. Изв. Вузов. Химия и хим. Технол. 2019. 62, № 3, с. 37- 42. Рус.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕСС ИХ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ

А.В. Троицкий, А.т.н., профессор С.П. Иванков, К. А. Скобелев

Содержание

Введение

1. Переработка и утилизация различных видов неметаллического техногенного сырья
2. Переработка и утилизация отходов углеобогащения
3. запатентованные технические решения в области переработки и утилизации угольных отходов обогащения

Список литературы

Введение

Добыча вещества литосферы в силу геологических причин и постоянного усложнения общих условий разработки месторождений, имеющая хозяйственную ценность, всегда сопровождается поступлением в основные геосферы Земли различных видов твердых отходов, общий объем которых может в несколько раз превосходить объем добычи собственно полезного ископаемого. Многолетнее развитие горнодобывающей промышленности России привело к накоплению гигантских объемов отходов горнорудного сырья (более 100 млрд т). Причем только 8-10% из них соответствуют установленным требованиям хранения отходов. Потенциальная ресурсная ценность создаваемых техногенных новообразований напрямую связана с минералогией разрабатываемых месторождений, а реальная экологическая опасность в количественном отношении определяется их объемом, конструкцией и характером ландшафта, а в качественном - структурой техногенных факторов в сочетании со свойствами транзитной и депонирующей природной среды.

Проблемы размещения и оптимизации параметров отвалов становятся важнейшей задачей, от успешного решения которой зависят не только технико-экономические показатели работы предприятий, но и рациональное использование недр и охрана окружающей среды. Хранение крупнодисперсных твердых отходов (пустых пород) означает, что после полного их использования необходимы меры по рекультивации и возврату в хозяйственный оборот освободившихся от отвалов территорий.

Захоронение твердых отходов означает, что депонирующая эти отходы геосфера изменяет свое состояние, и восстановление экологического равновесия потребует ревитализации сформированного техногенного ландшафта. Снижение уровня полного поражения биоты связано с созданием и применением систем с преобладающей рудной подготовкой, а также с увеличением размеров выемочных единиц и связанного с этим масштаба отбойки. При этом

экологическая эффективность данных мероприятий будет возрастать по мере усложнения рельефа территории, на которой размещаются породные отвалы.

В данной статье рассмотрены вопросы разработки современных технологий переработки и утилизации техногенных отходов обогащения неметаллического сырья и возможные пути вовлечения их в сырьевую базу РФ.

В нотации IDEF0 построена функциональная модель, отражающая декомпозицию процесса вторичного использования техногенных отходов горно-обогатительных комбинатов.

В системе MatLAB разработана программа и представлен ее интерфейс для системы поддержки принятия решений, входящей в состав функциональной модели. В алгоритмическом обеспечении программы используется метод выбора недоминируемых альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения.

Предложенный подход к системному анализу проблемы переработки отходов горно-обогатительной промышленности и разработанное программное обеспечение может быть применены для оценки потенциала и направлений использования техногенных месторождений отходов недропользования различной структуры и минерального состава.

1. Переработка и утилизация различных видов неметаллического техногенного сырья

Рассмотрена проблема образования и переработки отходов при производстве строительного щебня.

Предлагается комплексный подход, обеспечивающий как сокращение количества образующихся отходов, так и последующую их переработку с получением востребованной на рынке продукции.

Разработаны технологии, основанные на применении вибрационного оборудования и позволяющие получать из отсевов дробления квалифицированные продукты: кубовидный щебень, высококачественный фракционированный искусственный песок и вибропрессованные изделия на его основе.

Установлены возможные варианты утилизации пылевидной составляющей отходов с производством легкого заполнителя для бетонов и минеральной ваты. Дана оценка прогнозируемого экологического эффекта от недопущения захоронения отходов производства строительного щебня при условии применения предлагаемых технологий [1].

Проведен системный анализ проблемы утилизации отходов апатит-нефелиновых руд, хранящихся в отвалах (хвостохранилищах) горно-обогатительных комбинатов, для оценки потенциала их использования в системах комплексной энергоресурсоэффективной и экологически безопасной переработки, включающей обжиговые машины конвейерного типа и руднотермические печи.

Установлено негативное влияние отходов апатит-нефелиновых руд на окружающую среду, выражающееся не только в захламлении больших площадей, прилегающих к горно-обогатительным комбинатам, но и химическим загрязнении почвы, подземных вод, воздушного бассейна за счет выветривания и образования мелкодисперсной пыли. Предложен современный подход к оценочному анализу физико-химических, гранулометрических, литологических и теплофизических характеристик отходов апатит-нефелиновых руд.

Установлена целесообразность их вторичного использования в многостадийном энергоресурсоэффективном химико-энерготехнологическом процессе промышленного производства фосфора [2].

Горнопромышленный комплекс Мурманской области - один из наиболее развитых горнорудных районов России, а истощение сырьевой базы фосфорсодержащего минерального сырья и экологические проблемы хранения техногенного сырья обуславливают необходимость вовлечения отходов добычи апатит-нефелиновых руд в комплексную переработку и утилизацию.

Особое место среди техногенных месторождений Кольского полуострова занимают отвалы отходов обогащения, в которые складывается мелкодисперсный материал, что усиливает их подверженность ветровой и водной эрозии. Создание фундаментальной технологии по переработке этих отходов позволит утилизировать скопившийся в отвалах измельченный сырьевой материал в конкурентоспособную продукцию с высокой добавленной стоимостью - окатыши и обеспечит ликвидацию полигонов, чтобы снизить негативное воздействие на окружающую среду [3].

Флотационное обогащение кальцийсодержащего сырья, в том числе флюоритовых руд основано на использовании в качестве собирателей карбоксильных соединений различной природы. Наиболее эффективными из них являются смеси ненасыщенных жирных кислот, ассортимент которых на рынках довольно широк. Достижение удовлетворительных результатов при флотации бедного флюоритсодержащего, в том числе техногенного сырья требует тщательного изучения свойств комплексов используемых реагентов, в том числе собирателей с различной структурой углеводородных радикалов.

Одним из основных оценочных показателей обогатимости карбонатно-флюоритовых руд является значение карбонатного модуля, отражающего соотношение содержаний флюорита и кальцита. В доступных для добычи рудах Вознесенского рудного района, являющихся сырьевой базой Ярославской горнорудной компании (ЯГРК), содержится не более 26-29 % CaF_2 и до 20-25 % CaCO_3 . Содержание флюорита в хвостах, проскладированных в хвостохранилище колеблется в пределах 13-23 %, кальцита - не более 12-14 %. По имеющимся данным, объём их оценивается более чем в 30 млн.т. Сырьё, с таким содержанием флюорита вполне заслуживает внимания, как объект для вторичной переработки.

Все руды Вознесенского рудного района (ВРР), являющиеся первичными сырьевыми источниками ЯГРК, относятся к разряду труднообогащаемых, что обусловлено очень тонким взаимным прорастанием минеральных фаз и наличием близких по флотационным свойствам флюорита и кальцита. В техногенных хвостах флюорит представлен наиболее проблемными зёрнами, не извлечёнными на стадии первичной переработки. Технология обогащения такого материала должна предусматривать тщательную подготовку материала по крупности, нейтрализацию остатков реагентов первичной стадии флотации и продуктов вторичных взаимодействий, образовавшихся в процессе хранения.

Изучение обогатимости техногенного сырья проводились на материале усреднённой пробы, отобранной из хвостохранилища обогатительной фабрики ЯГРК, с содержанием CaF_2 - 20,7 %, CaCO_3 , - 10,2 %, SiO_2 - 32,2 %, Zn - 0,38 %.

Для эффективной концентрации флюорита, представленного в техногенном сырье в основном зёрнами с тонкой вкрапленностью кальцита и силикатов, необходимо обеспечение тонкого помола. Было установлено, что при измельчении материала в течение 25-30 минут (содержание класса - 0,044 мм составляет при этом 90-96 %) соответствует оптимальному раскрытию минеральных компонентов. При флотации такого материала с использованием в качестве собирателя жирных кислот таллового масла

(ЖКТМ) в сочетании с комплексным модификатором на основе фторида аммония достигается извлечение флюорита в концентраты, содержащие CaF_2 93,28–94,14%, на 61,75–60,26 %, что для труднообогатимого вторичного сырья можно оценить как удовлетворительный результат.

Вместе с тем, высокие требования к качеству концентратов и, одновременно, дефицит высокоселективных жирных кислот на рынках РФ предполагают необходимость расширения ассортимента эффективно действующих собирателей. В состав ЖКТМ входят олеиновая кислота (до 26 %), линолевая (36–54,7 %) и линоленовая (5–15,7 %). Реагент хорошо зарекомендовал себя в лабораторных исследованиях и при практическом использовании на обогатительной фабрике ЯГРК.

Изучение особенностей действия собирателей различного состава проводилось по схеме открытого цикла, состоящей из основной флотации и семи перешлифов черногого концентрата. Помимо ЖКТМ изучалось действие технического мыла производства Уссурийского масложиркомбината, технической олеиновой кислоты марки В-115, а также двух марок жирных кислот производства Индии, которые рекомендованы как экономически перспективные для использования в России по результатам маркетингового исследования ООО «МАС Альбион».

Установлено, что лучшие результаты, получены с применением ЖКТМ и индийского собирателя MASOIL 1880. Применением в процессе олеиновой кислоты и жирных кислот MASOIL S сопровождается некоторым снижением качества концентратов при близких показателях по извлечению флюорита. Дозировка в процесс технического мыла обеспечивает получение качественных концентратов, однако извлечение флюорита при этом заметно снижается.

Флотационное обогащение по схеме открытого цикла, без доработки промпродуктов, позволяет получить из техногенных хвостов с содержанием CaF_2 -20,7 %, CaCO_3 , - 10,2 %, концентраты, содержащие CaF_2 93,83–93,98 % при извлечении флюорита до 60,33–61,19 %.

Таким образом, показана возможность применения различных собирателей при флотационном извлечении флюорита из техногенных хвостов. При этом возможно регулирование качественных показателей, в зависимости от текущих конъюнктурных требований потребителей к продукции предприятия. Расширение ассортимента собирателей с необходимым набором технологических характеристик при флотации в тонкодисперсных пульпах обеспечит необходимую стабильность в работе предприятия за счёт снижения остроты проблемы дефицита реагентов.

При флотационном обогащении техногенного сырья значительно увеличивается число факторов, влияющих на селективное взаимодействие минеральных частиц с используемой номенклатурой флото-реагентов, т.к. на минеральных зёрнах присутствуют остатки реагентов, использованных на стадии первичного обогащения, различные новообразования, связанные с длительным хранением в водно-солевой среде хвостохранилища.

Одним из методов повышения эффективности флотации может рассматриваться использование ультразвуковых колебаний. Ультразвук, влияя на процессы массообмена, способствует очистке природных плёнок и вторичных образований с поверхности минеральных частиц оказывает кондиционирующее, диспергирующее или иное энергетическое влияние, в зависимости от точки его приложения.

Накопленный объём хвостов обогащения флюоритовых руд предприятия Ярославской горнорудной компании (ЯГРК), базирующемся на пере-

работке руд Вознесенского рудного района Приморского края, оценивается более чем в 30 млн.т.

Содержание флюорита в хвостах, проскладированных в хвостохранилище колеблется в пределах 13-23 %, кальцита - не более 12-14 %, что заслуживает внимания для изучения возможности его вторичной переработки с предварительным воздействием ультразвука и последующей флотации с перечистками флюоритового продукта.

По разработанной комбинированной технологии получен флюоритовый концентрат, в котором содержание CaF_2 на 1,2-1,7%, а извлечение на 3,5-8,5% выше чем по стандартной технологии, при одновременном снижении в нем CaCO_3 .

В связи с существенными различиями в результатах флотации обработанной и необработанной ультразвуком пульпы проводилось исследование кинетики процесса флотации, в головной части схемы, и в циклах концентратии флюорита в перечистных операциях.

В обычном режиме флотации без использования ультразвука и в режиме с озвучиванием материала на стадиях подготовки к измельчению и перед основной флотацией пенный продукт каждой из девяти минут процесса отделимо собирался с целью дальнейшего его количественного и качественного анализа.

Полученные данные свидетельствуют о более высоком уровне селективности флотации.

Таким образом, в результате исследований влияния ультразвуковой обработки пульпы установлено:

1. В результате изучения кинетики основной флотации при обогащении техногенных хвостов по обычной технологии и технологии с использованием ультразвука показало, что скорость и селективность процесса после обработки заметно возрастает. Качественный состав пенного продукта в опытах без ультразвука после семи минут флотации соответствует пенному продукту, полученному по истечении шести минут в опытах с ультразвуковой обработкой.

Прирост извлечения в экспериментах с ультразвуком составил 1,75 %.

2. Установлена более высокая селективность обогащения в исследованиях кинетики перечистных операций на примере третьей перечистки пенного продукта. На протяжении всего периода флотации с использованием ультразвуковой обработки материала пенные продукты в экспериментах с озвучиванием питания флотации характеризуются более высоким качеством и одновременно, извлечением в них флюорита. Кроме того, они гораздо менее загрязнены кальцитом, что свидетельствует о росте селективности процесса [4].

Установлено, что существует разница в дислокации примеси сульфата кальция в отходах галургического и флотационного обогащения, которое затрудняет переработку галитовых отходов. Во флотационных отходах сульфат кальция дислоцируется преимущественно на поверхности солевых агрегатов и легко от нее отделяется.

В процессе галургического обогащения происходит перекристаллизация галитовых отходов, поэтому существенная часть примеси внедрена в поверхностный слой крупных кристаллов.

Для удаления примесных включений слабо закрепленных на поверхности крупных кристаллов достаточно традиционных механических способов очистки, таких как гидромеханическая обработка.

Для очистки от примесей, внедренной в поверхностный слой кристаллов и удаления примесей, распределенных по микротрещинам, а также частичного вскрытия агрегатов и удаления примесей, дислоцируемых в междокристаллическом пространстве, эффективно применение методов направленного акустического воздействия [5].

2. Переработка и утилизация отходов углеобогащения

В настоящее время любые отходы недропользования перспективно использовать в качестве вторичного сырья, как с экономической, так и с экологической точки зрения. В частности, это актуально для разнородных по количественному и качественному составу отходов, образующихся после процессов обогащения угля. В соответствии с изложенными факторами, влияющими на выбор направления их использования, предложены перспективные варианты применения углеотходов [6].

Представлены пути переработки крупнотоннажных отходов угледобычи - окисленного угля - в продукты технического и сельскохозяйственного назначения, основанные на рациональном и эффективном использовании некоторых измененных физико-химических свойств исходного угольного материала: повышенной скорости дальнейшего окисления этих углей при последующем их контакте с атмосферой; пониженной механической прочности; наличии на угольной поверхности гуминовых кислот и др. Изучены пути рационального использования окисленного угля в сельском хозяйстве, основанные на эффективном использовании угольных гуминовых кислот: добавка его раздробленных фракций на поля для выращивания зерновых и клубневых растений; целевое производство гуминовых препаратов (удобрения, биологические активные добавки на основе гуминовых кислот для земледелия и животноводства). Предложены новые приемы рекультивации нарушенных земель после добычи угля, основанные на использовании микробиологических деструкторов окисленного каменного угля [7].

Установлена возможность использования отходов обогащения угля в производстве пористого заполнителя. На основе жидкого стекла и монтмориллонитовой глины с применением отхода обогащения угля получен пористый заполнитель с высокими физико-мех. показателями. Использование отходов обогащения угля на основе жидкостекольных композиций и монтмориллонитовой глины в производстве пористых заполнителей способствует: а) утилизации пром. отходов; б) охране окружающей среды; в) расширению сырьевой базы для получения керамических пористых заполнителей. На составы разработанных композиций и способ производства пористых заполнителей получен патент РФ [8].

Мелкозернистые отходы углеобогащения являются ценным углеродистым сырьем, обладающим определенным энергетическим потенциалом. На их основе можно получать топливные композиционные материалы (дисперсно-зернистый композит), по свойствам не уступающие сортовому топливу аналогичного назначения. Запасы угольных мелкозернистых материалов огромны, но использование их в тонкодисперсном состоянии не эффективно. Со снижением добычи угля имеется дефицит сортового угля для нужд коммунально-бытового сектора и тепловых промышленных установок.

Для хранения угольных отходов отводятся значительные площади земель. Эти отходы наносят вред окружающей среде и среде обитания человека. Поэтому разработка технологии, позволяющей утилизировать угольную некондиционную мелочь и получать полезную продукцию, яв-

ляется актуальной проблемой как в экономическом, социальном, так и экологическом аспектах.

Наиболее приемлемым технологическим решением, которое может обеспечить получение топлива с удовлетворительными потребительскими характеристиками, является брикетирование некондиционных углеродсодержащих отходов со связующими веществами [9].

При анализе экологических и ресурсных характеристик активированного угля (АС) сравнивали преимущества и недостатки существующих технологий регенерации отходов АС. Проведена экономическая оценка возможностей регенерации отходов АС. Это дает возможность решить также экологическую проблему загрязнения окружающей среды отходами АС и отвечает существующим потребностям охраны окружающей природной среды [10].

Зола, образующаяся при сжигании бурых углей на теплоэлектростанциях (ТЭС), является крупнотоннажным отходом с многокомпонентным составом, что делает ее актуальным объектом исследования для комплексной переработки. Буроугольная зола представляет собой тонкодисперсный материал с высоким водопоглощением и повышенным содержанием окисленных соединений серы, а также содержит токсичные металлы, что делает затруднительным прямое использование золы наиболее распространенными способами – в золоцементных материалах и в строительстве, поскольку снижает качество материалов и приводит к загрязнению почвы и подземных вод опасными компонентами. Наличие ценных микроэлементов, в частности, редких и рассеянных, в количестве суммарно от 500 г/т дает возможность рассматривать золы от сжигания углей в качестве перспективного сырья для их попутного извлечения. Комплексная переработка золы позволяет утилизировать все компоненты в полезную продукцию, а также способствует освобождению больших площадей, занимаемых техногенными отходами.

В ИПКОН РАН проведены лабораторные исследования по установлению эффективных режимов и разработаны схемы комплексной переработки золы и золошлаковых отходов. Объектом настоящего исследования являлась зола от сжигания бурых углей Экибастузского угольного бассейна. Анализ состава золы показал, что она состоит из алюмосиликатной матрицы (содержит более 50% SiO_2 , 25% Al_2O_3), а также содержит кальций (CaO – 9%) и железо (Fe_2O_3 – 5%). Золы от сжигания бурых углей являются, как правило, более основными, чем золы от сжигания каменных углей, т.к. содержат больше гуматов кальция, однако в данном случае зола является пограничной между кислыми и щелочными золами.

Анализ распределения элементов по крупности показал, что имеются различия в содержании оксида кальция – в классе +100 мкм его содержание 7%, а в меньших классах повышается до 10%.

С уменьшением крупности частиц незначительно повышается содержание оксида железа. Зола является малосернистой – содержание триоксида серы на уровне 1% во всех классах крупности. В золе установлено низкое содержание углерода – 0,8%, что указывает на незначительное количество недожженных угольных частиц. Он сосредоточен в классе +100 мкм (содержание 5,75%), выход которого составляет 7%. Основными классами крупности в образце золы, по данным гранулометрического анализа, являются -71+40 мкм (30,1%) и -40+20 мкм (45,8%).

Химический состав ценных микроэлементов в пробе золы представлен в табл. 1. Анализ состава проведен после сплавления с боратами, мультикислотного растворения с последующим определением методом масс-спектро스코пии с индуктивно связанной плазмой. Ценные микроэлементы,

за исключением циркония, представлены в большей степени в тонких классах, особенно галлий. Суммарное содержание редкоземельных элементов в фракции -40 мкм 418,56 г/т, а совместно с цирконием (323 г/т) – 741,56 г/т. Для повышения степени извлечения ценных микроэлементов при выпечивании и комплексной переработки золы необходимы предварительные операции классификации и выделения дополнительных продуктов - магнитного и углеродсодержащего концентратов.

Таблица 1

Содержание ценных микроэлементов в пробе золы

Элемент	Zr	Ce	La	Y	Nd	Nb	Ga	Pr	Gd	Hf	Yb	Ag
Содержание, г/т	333,0	151,4	81,2	63,5	62,8	23,9	20,0	16,5	11,8	8,9	6,4	1,0

Электронно-микроскопические исследования с рентгеновским микроанализом показали, что основу золы во всех фракциях представляют алюмосиликатные агрегаты неправильной и сферической формы, являющиеся стеклофазой и сплавленными глинистыми минералами с различными соотношениями алюминия и кремния. Также зола содержит модификацию кварца, свободные оксиды кальция и магния и сульфаты щелочноземельных металлов. Подтверждено наличие во фракции +100 мкм пористых углеродных частиц, а также оксида железа (магнетита), осажденного на алюмосиликатной частице неправильной формы. Пористые углеродные частицы (недожженный уголь) проявляют сорбционные свойства, что обуславливает повышенный расход реагентов при выделении углеродных частиц флотацией.

Фракция -20+40 мкм содержит алюмосиликатные частицы неправильной формы и микросферы, в т. ч. содержащие сростки или покрытые пленкой оксида железа, осажденной при охлаждении золы после сжигания угля, и содержащие кальций и магний. Сложные по форме взаимопроникновение и осаждение оксида железа с алюмосиликатами являются причиной снижения качества магнитного концентрата при магнитной сепарации золы.

В мире разработано более 300 технологий переработки золошлаковых отходов. Для разработки схемы комплексной переработки золы, включающей извлечение потенциально ценных микроэлементов и других товарных продуктов, нами проведены экспериментальные исследования процессов сухой магнитной сепарации для выделения магнитного концентрата, флотации для выделения углеродного концентрата и выпечивания ценных элементов с использованием различных реагентов.

Исследование схем магнитной сепарации с использованием слабого (0,16 Тл) и сильного (0,25 Тл) магнитного полей показало большую эффективность схемы разделения на магнитный и немагнитный продукты в слабом магнитном поле. Полученный за одну стадию магнитный концентрат содержит 49% железа при выходе 3,6%. Также в него переходит 0,18% кобальта, 0,16% марганца, 0,10% титана. Наличие примесных элементов – кремния и алюминия – определяет применение магнитного концентрата в качестве заменителя ферросилиция, утяжелителя буровых растворов и пр. В хвостах остается железо с содержанием 2,9%, марганец - 0,06%, а содержание титана повышается до 0,74%. При этом в хвосты переходят основные редкоземельные элементы (Zr 390 г/т, Ce 150 г/т, La 90 г/т, Nb 20 г/т), за

исключением иттрия, который распределяется в обоих продуктах с содержанием порядка 60 г/т.

В целях последующего использования компонентов золы после выщелачивания ценных элементов в строительной отрасли с ограничениями по содержанию углерода необходимо выделение углеродсодержащего концентрата. После классификации по классу +100 мкм последующее выделение углеродсодержащего концентрата из фракции золы +100 мкм может быть проведено методом флотации с предварительным доизмельчением до флотационной крупности (порядка 80 мкм). Изучение флотации хвостов магнитной сепарации золы при т:ж = 1:5 с применением в качестве собирателя керосина марки КО-25 и в качестве вспенивателя МИБК показало, что может быть получен концентрат с максимальным выходом 12,2%. Полученный углеродсодержащий продукт может быть использован в качестве дополнительного энергоресурса.

Исследование выщелачивания ценных элементов, прежде всего, редкоземельных, проведено с использованием двухстадийных схем. Установлено, что при использовании на 1-ой стадии раствора аммиака с концентрацией 40 г/л и на 2-ой стадии кислотной смеси комплексообразующих веществ тиокарбамида и гипофосфита натрия при pH 1 наблюдаются более высокие содержания в растворе для Zr, Ga, Nb, Mo, Be, чем при использовании на 1-ой стадии раствора серной кислоты. Напротив, содержания редкоземельных элементов в фильтрате выщелачивания 2-ой стадии (La 1,8; Ce 3,7; Y 1,1; Pr 0,5; Nd 1,7 мг/л) были выше при использовании на 1-ой стадии кислотного раствора. После выделения из раствора ценных редкоземельных элементов методами сорбции либо экстракции полученный раствор направляется на выделение диоксида кремния с использованием методов осаждения, и глиноземного концентрата, пригодного для производства гидроксид алюминия или алюминийсодержащего коагулянта, а также нерастворимый остаток, содержащий сложные оксиды кремния и кальция, который может являться сырьем для производства цемента и строительных материалов [11].

В углеобогатительной отрасли тонкие угольные шламы крупностью 0-0,25 мм из-за высоких затрат на их обогащение и обезвоживание воспринимаются как серьезная экономическая проблема. На текущий момент только процесс флотации может обеспечить обогащение угля до «нулевой» крупности и сократить потери угля с отходами. Поэтому совершенствование флотационных технологий в применении к тонким угольным шламам, особенно коксующихся марок, является важной задачей для углеобогащения.

Наиболее известными и распространенными аппаратами для флотации угля являются камерные механические флотомашин.

В США и Австралии одной из наиболее распространенных систем флотации угольных шламов является колонная флотация. При эффективной конструкции и эксплуатации флотационная колонна обеспечивает высокое извлечение горючей массы в пенный продукт при низкой зольности концентрата.

В отличие от механических камерных флотомашин, исходная пульпа поступает в колонну и распределяется по ее сечению более равномерно. Пульпа движется вниз в противотоке специальным диспергаторами SlamJet, расположенными в нижней части колонны. Частицы сталкиваются с пузырьками, соединяются с ними и выносятся вверх в концентрирующий желоб. Невзаимодействующие с пузырьками частицы оседают на дно попадают в хвосты. Уровень пенного слоя поддерживается автоматической регулируемой передвижной задвижкой для разгрузки хвостов.

Другим преимуществом флотационных колонн, способствующим снижению зольности концентрата, является возможность подачи в верхней час-

ти колонны промывочной воды, которая равномерно распределяется по поверхности пенного продукта, вымывая из пены высокосольные глинистые частицы и улучшая ее разгрузку самотеком в желоб концентрата.

Для максимального увеличения площади поверхности генерируемых пузырьков компания CPT разработала промышленную систему аэрации флотационной пульпы CavTube, основанную на явлении гидродинамической кавитации. Сущность этого процесса заключается в возникновении и росте газовых пузырьков в жидкости за счет разрывов на границе разделов фаз жидкость-жидкость или жидкость-твердое, образующихся под действием внешних сил. Это происходит в момент, когда давление в отдельно взятой точке жидкости становится ниже давления насыщенного пара этой жидкости за счет высоких локальных скоростей в потоке жидкости.

Кавитация зависит от содержания в пульпе растворенного в жидкости воздуха, при этом добавление в процесс пенообразователя способствует образованию более мелких пузырьков и увеличению их количества за счет стабилизации процесса кавитации, получили название «пикопузырьков».

Вероятность взаимодействия пикопузырьков с частицами выше, нежели у пузырьков большого размера, в связи с тем, что пикопузырьки обладают более низкими скоростями всплытия и отскока от поверхности частицы, а также более высокой свободной поверхностной энергией. Наиболее эффективное взаимодействие пузырьков с частицами и достижение более высокой скорости флотации наблюдаются при совместном взаимодействии пикопузырьков с пузырьками больших размеров.

Пикопузырьки во флотационном процессе играют роль вторичного собирателя, снижая тем самым требуемый расход реагента-собирателя, увеличивая вероятность закрепления частиц и снижая вероятность их отрыва от пузырька. Все это обеспечивает существенное увеличение извлечения сверхтонких и крупных плохо флотирующихся частиц, а также снижение расхода реагентов, стоимость которых зачастую является основной статьей эксплуатационных расходов на флотацию. Например, применение этой технологии флотации на одной из углеобогадительных фабрик Австралии привело к увеличению выхода концентрата флотации на 15%, снижению расхода пенообразователя на 10%, снижению расхода собирателя на 50%.

Обычно по технологии CavTube происходит рециркуляционный возврат части хвостов во флотоколонну с насыщением их пикопузырьками воздуха. В результате чего угольные микрочастицы размером 0-40 мкм извлекаются в пенный продукт, способствуя тем самым увеличению извлечения горючей массы в концентрат.

Наибольшее распространение в мире получили колонны флотомашин «Coal Pro» компании CPT (Канада).

За последние 10 лет было установлено около 70 флотоколонн в Северной Америке, Австралии, России и Украине.

Большинство установленных на фабриках флотоколонн используются для флотации угля крупностью 0-150 мкм. Однако, как показала практика, предпочтительнее применять флотоколонны на предварительно дешламированном материале крупностью 40-150 мкм.

Как размеры каждой колонны, так и требуемая система аэрации зависят от многих факторов и подбираются индивидуально для каждого применения.

В конструкции новой флотомшины по технологии CavTube решены следующие задачи:

- Улучшен контакт пузырька и частицы;
- Обеспечены меньшие габариты корпуса и снижена масса машины;

- Упрощены транспортировка и монтаж машины;
- Компрессор высокого давления заменен на воздуходувку низкого давления;

- Снижен расход электроэнергии;
- Обеспечена простота обслуживания;

Итогом проводимых в последние 5 лет исследований компанией Eriez и СРТ явилась разработка технологии флотации на базе новой флотомашинны, получившей название «StackCell».

В новой флотомашине StackCell™ обеспечивается эффективный подвод энергии, используемой для генерации пузырьков и интенсивного контакта с частицами.

Благодаря более интенсивной агитации пульпы, время флотации машины значительно уменьшается и составляет секунды, а не минуты, как в колонной флотомашине. В новой машине обеспечивается высокая интенсивность турбулентности, так как в единицу объема вводится более высокая энергия, обеспечивается более высокое газонасыщение пульпы и, тем самым, увеличивается вероятность взаимодействия угольных частиц и пузырьков воздуха.

Новая технология флотации StackCell прошла промышленные испытания и уже применяется на обогатительных фабриках США. Использование высокоэффективного контактора в питании флотомашинны позволяет сократить время флотации и уменьшить высоту флотационного давления.

Небольшие размеры и масса, а также низкая стоимость новых флотомашин делают их применение идеальным при реконструкции действующих обогатительных фабрик. Так, в настоящее время планируется реконструкция ОФ «Антоновская» (Кузбасс), где предлагается установка двух флотомашин StackCell, которые отлично вписываются в стесненные условия главного корпуса фабрики без дополнительного строительства и обеспечивают стабильную и эффективную работу на разбавленных флотационных пульпах (~50 г/л).

Другие преимущества новой технологии включают низкое давление воздуха и более низкие капитальные и эксплуатационные затраты [12].

Совершенствование системы переработки крупнотоннажных отходов производства является одним из важнейших направлений развития алюминиевой отрасли. В число основных отходов входит угольная пена (далее – УП), образующиеся в ходе процесса электролиза криолит – глинозёмного расплава, как следствие неполного сгорания и эрозии анода, а также износа углеродистой футеровки подины. По разным оценкам масса УП в расчёте на тонну произведённого алюминия для электролизеров с самообжигающимся анодом варьируется от 15 до 40 кг/т Al и выше.

По своему составу УП является многокомпонентной системой, в составе которой преобладают углерод и фтор с содержанием в интервалах от 26,0 до 32,0 и от 28,0 до 46,0 масс.%, соответственно. Проведены исследования процесса рециклинга хвостов флотации, реализация которого позволит снизить экологическую нагрузку на полигоны хранения отходов и получить продукты, востребованные как в металлургическом производстве, так и в других отраслях промышленности.

Также в состав УП, помимо углерода и фтора, входят алюминий (22,6), натрий (11,7), сера (0,13), железо (0,29), кремний (0,45) масс.%. По результатам проведенных исследований можно отметить, что двухстадийная переработка отходов угольной пены и хвостов флотации позволяет извлечь промышленные продукты в виде креолита и углерода [13].

3. Запатентованные технические решения в области переработки и утилизации угольных отходов обогащения

Способ получения комплексного органоминерального удобрения на основе угольных отходов (Патент России № 1 322 756 от 20.12.1995)

Описываемое техническое решение относится к производству комплексных органоминеральных удобрений, используемых при рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности.

Цель описываемого способа - повышение биологической активности удобрения за счет увеличения выхода аминокислот.

Запатентованное техническое решение осуществляют следующим образом. Для приготовления удобрения используют угольные отходы, состоящие из алевролитов (40%), глинистых и углистых сланцев (30%), каолиновых и монтмориллиновых глин (5%), песчаника (8%), лессовидного суглинки (10%), углистого вещества (7%), имеющие фракционный состав 0,25-0,5 мм 60% 0,5-10 мм 40% и содержащие, мас.: С 17,9; N 0,2; Fe₂O₃ 5,6; CaO 8,6; MgO 1,7; K₂O 7,5; P₂O₅ 3,6; Mn 0,04; B 0,09; Cu 0,003; V 0,004; Ni 0,003.

Древесные ОПИЛКИ ЯВЛЯЮТСЯ отходами древесины и состоят из 60% целлюлозы и 40% лигнина.

Бактериальную культуру *Clostridium omeljanski* выделяют из полурасложившихся древесных опилок известным способом на питательной среде Омелянского.

Культуру *Azotobacter chroococcum* выделяют из почвогрунтов отвала разреза шахты на агаровой питательной среде Эшби.

Культуру минероорганизмов *Pseudomonas aeruginosa* выделяют из агаровой среды Стравинского.

В полевых условиях на выбранной площадке укладывают параллельно друг другу два вала угольных отходов в количестве 6250 кг. Между ними помещают 3000 кг древесных опилок. Затем бульдозером перемешивают угольные и древесные отходы с образованием общего вала высотой не более 40 см. Проводят инокуляцию водной суспензией 25 бактериальных культур *Clostridium omeljanski*, *Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas aeruginosa* по 250 л бактериальной суспензии по каждому виду.

Бактериальные суспензии готовят из сухих бактериальных культур, полученных в лабораторных условиях методом лиофильной сушки. Количество бактериальной культуры *Clostridium omeljanski* по сухой массе составляет 50 г с содержанием $2,5 \cdot 10^{12}$ клеток, культуры *Pseudomonas aeruginosa* 50 г с содержанием $2,5 \cdot 10^{13}$ клеток и культуры *Azotobacter chroococcum* с содержанием $2,5 \cdot 10^{13}$ клеток. После этого перемешивают компостируемую смесь дисковым лулциальником БДН. В процессе компостирования периодически орошают смесь водой, например, дисковым аммонизатором АДА. За период компостирования (30 сут) проводят контроль за температурным режимом. При температуре, превышающей 40°C, компостируемую смесь перемешивают дисковым лулциальником.

В процессе компостирования осуществляют контроль на содержание общего азота в смеси, а после завершения компостирования анализируют полученное удобрение на содержание органических веществ. Результаты эксперимента представлены в табл. 2 и 3.

Таким образом, описываемый способ получения комплексного органоминерального удобрения позволяет получить конечный продукт, содержащий больше ценных компонентов по сравнению с известным способом.

Таблица 2

Влияние соотношения исходных компонентов на содержание органических веществ

Углеотходы	Свойство удобрения				Содержание органических веществ в удобрении, %			
	Древесные опилки	Clostridium oemijanski	Azotobacter chroococcum	Pseudomonas aeruginosa	Сумма аминокислот	Сумма карбоновых кислот	Общий сахар	Гуминовые кислоты
70	22,5	2,5	2,5	2,5	31,02	7,32	1,10	8,56
62,5	30	2,5	2,5	2,5	42,51	18,23	3,81	23,41
50	42,5	2,5	2,5	2,5	38,44	13,71	2,74	19,24
42,5	50	2,5	2,5	2,5	33,63	8,14	4,92	10,81
30	62,5	2,5	2,5	2,5	28,41	2,20	0,23	3,68
50	42,5	2	2	2	30,63	11,22	2,11	15,23
50	42,5	3	3	3	38,43	13,70	2,72	19,23
62,5	30	2,5	2,5	-	28,23	12,68	2,65	-
62,5	30	2,5	-	2,5	24,38	10,88	2,33	-
Удобрение, полученное по известному способу					33,1	0,08	2,1	отсутствуют

**Влияние перемешивания на динамику роста содержания общего азота
в процессе получения удобрения**

Время от начала компостирования, сут	Содержание общего азота при следующих соотношениях угольных отходов, древесных опилок (соотношение бактериальных культур 2.5: 2.5: 2.5), %		
	62.5:30	50:42.5	42.5:50
1	0	0	0
2	0.3	0.2	0.1
6	1.6	1.4	1.1
9	2.2	2.0	1.8
10 (перемешивание)	1.9	1.7	1.5
11	2.3	2.0	1.7
15	3.5	3.1	2.6
19	4.4	4.0	3.5
20 (перемешивание)	4.0	3.6	3.2
21	4.3	3.9	3.4
24	5.2	4.7	4.1
27	6.2	5.6	4.8
30	6.8	6.1	5.4
32	6.8	6.1	5.4

Формула изобретения

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ УГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ, включающий их смешение с целевой добавкой, а затем с микробиологическим активатором с последующим компостированием смеси, отличающийся тем, что, с целью повышения биологической активности удобрения за счет увеличения выхода аминокислот, в качестве целевой добавки используют древесные⁵⁰ опилки, в качестве микробиологического активатора бактериальные культуры *Clostridium omeljanski*, *Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas aeruginosa*, причем смешение производят при следующем массовом соотношении компонентов: угольные отходы: древесные опилки: *Clostridium omeljanski*: *Azotobacter chroococcum*: *Pseudomonas aeruginosa* 50-62,5:30 42:2,5:2,5:2,5, а компостирование осуществляют при 60% от полной влагоемкости с периодическим перемешиванием смеси.

Способ получения гранул из отходов флотации угля (Авт. св. СССР №1171510)

Описываемое техническое решение относится к способам получения гранул высокодисперсных материалов, находящихся в суспензии, и может быть использовано в угольной промышленности для подготовки отходов флотации к транспортировке к потребителю и складированию в сухих отвалах.

Цель описываемого способа - получение гранул из отходов флотации угля.

Описываемый способ осуществляют следующим образом. Исходную суспензию отходов обогащения угля стущают до уровня вязкости не более 10000 П в стущителях гравитационного типа. Смешивают в массовом соотношении 1:(0,6-5) стущенную суспензию отходов обогащения угля с сухими отходами обогащения угля с размером частиц менее 10 мм, что обеспечивает создание системы с равномерной влажностью и свойствами упруго-пластичного тела. Из полученной смеси формуют гранулы, которые подвергают термообработке.

Пример осуществления заявленного технического решения. Отходы флотации массой 5 кг смешивают с водой в массовом соотношении 1:1 и выдерживают 24 ч. Полученную суспензию влажностью 46,9% смешивают в смесителе-экструдере с сухими отходами флотации размером менее 5 мм в массовом соотношении 1:0,5. Влажные (30,9%) гранулы склонны к агломерации и при сушке образуют агломерат.

При добавке к той же суспензии сухих отходов в соотношении 1:0,7 образуется система влажностью 27,5%, которая легко гранулируется, а влажные гранулы в сушилке псевдоожиженного слоя не агломерируются.

Формула изобретения.

Способ получения гранул из отходов флотации угля, включающий стущение отходов обогащения угля до уровня вязкости стущенной суспензии не более -10000 П, смешивание в массовом соотношении 1:(0,6-5) стущенной суспензии отходов обогащения угля с сухими отходами обогащения угля размером частиц менее 10 мм, последующее формование из смеси гранул и их термообработку.

**Способ получения комплексного органо-минерального
удобрения на основе угольных отходов.
(Патент России №2 082 702 от 27.06.1997)**

Описываемое техническое решение относится к производству удобрений, используемых при рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности.

Известен способ получения комплексного органо-минерального удобрения на основе угольных отходов, которые смешивают с навозом, инокулируют бактериальной культурой *Bacillus mycoides*, после чего вводят препарат гуминовых кислот, содержащий гуминовые кислоты, карбоновые, биомассы *Pseudomonas aeruginosa* *Bacillus megaterium*.

Известный способ не требует специального оборудования и длительных технологических операций для его Приготовления. Однако он применим только в тех условиях, где имеются животноводческие комплексы.

Недостатком также является то, что кроме инокулирования бактериальной культурой требуется препарат гуминовых кислот.

Известен способ приготовления комплексного органо-минерального удобрения, включающий смешивание угольных отходов с древесными опилками и смешение полученной смеси с микробиологическим активатором в качестве которого берут бактериальные культуры *Clostridium omeijanski*, *Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas aeruginosa*.

В процессе компостирования проводят периодическое перемешивание и орошение смеси водой до влажности 60% от полной влагоемкости.

В известном способе для получения удобрения помимо угольных отходов необходимо иметь древесные опилки, что ограничивает область применения использования этого решения. Наличие трех видов бактериальных культур влечет за собой определенные трудозатраты.

Задачей описываемого технического решения является упрощение технологии приготовления, снижение трудозатрат и расширение области использования за счет уменьшения количества компонентов, необходимых для приготовления удобрения при одновременном повышении биологической активности удобрений.

Поставленная задача решается путем смешения угольных отходов с микробиологическим активатором, в качестве которого берут штамм *Azotobacter chroococcum* K-1 "ВНИИСХМ-В34Д".

Компостирование смеси осуществляют при 60% от полной влагоемкости с периодическим перемешиванием смеси. Компостирование проводят в течение 2-4 недель.

Целесообразно угольные и штаммы *Azotobacter chroococcum* K-1 брать в соотношении 96,5:3,5-98,5:1,5.

Штамм *Azotobacter chroococcum* K-1 депонирован в группе азотфиксирующих микроорганизмов. Используется как продуцент физиологически активных веществ при рекультивации для повышения плодородия малопродуктивных земель.

Полученное удобрение содержит производственно ценные вещества, например, азот и другие необходимые для восстановления плодородия нарушенных земель, такие, как гуминовые и карбоновые кислоты, аминокислоты и полезную активную микрофлору, участвующую в почвообразовательных процессах.

Описываемый способ осуществляют следующим образом.

Для приготовления удобрения использовали угольные отходы, состоящие из 40% алеволита, 12% песчаника, 25% суглинков, 8% углистых веществ, 15% монтморилловых глин, имеющие фракционный состав: до 0,5 мм 60% до 10 мм - 40% и содержащие мае. СаО 11,5, МдО 9,5, К₂О 0,06, Р₂О₅ 0,8, С 0,3.

В полевых условиях на выделенной площадке укладывают вал перемешанных угольных отходов в количестве 9759 кг высотой не более 30 -40 см и проводят инокуляцию водной суспензией бактериальной культуры штамма *Azotobacter chroococcum* К-1 в количестве 250 л. Бактериальную суспензию готовят из сухой бактериальной культуры, полученной в лабораторных условиях методом лиофильной сушки. Количество бактериальной культуры по сухой массе составляет 100 г с содержанием 10⁹ клеток.

Компостируемую смесь перемешивают дисковым лущильником ВДН. В процессе компостирования периодически орошали смесь водой. За период компостирования осуществляют контроль за температурным режимом. При температуре, превышающей 40°С компостируемую смесь перемешивают. Осуществляют также контроль на содержание общего азота в смеси, а после завершения компостирования полученное удобрение анализируют на содержание органических веществ.

Приведенные результаты показали, что при введении бактериальной суспензии штамма *Azotobacter chroococcum* К-1 менее 1,5% содержание органических веществ снижается, а при введении 3,5% содержание органических веществ остается практически на уровне внесения культуры в количестве 2,5%

Использование описываемого способа по сравнению с известным позволяет увеличить содержание органических веществ, общего азота, количество сапрофитной микрофлоры и азотобактера. Также увеличивается высота растений в 1,4 раза.

Таким образом, запатентованное техническое решение получения удобрения позволяет получить конечный продукт, содержащий больше ценных компонентов по сравнению с известным, при более упрощенной технологии, при минимальных затратах, и расширить область применения, независимо от местонахождения нарушенных земель.

Формула изобретения.

1. Способ получения комплексного органоминерального удобрения на основе угольных отходов, включающий их смешивание с микробиологическим активатором и последующее компостирование, отличающийся тем, что в качестве микробиологического активатора берут бактериальную культуру штамма *Azotobacter chroococcum* ВНИИСХМ В-34 Д.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что угольные отходы и бактериальную культуру штамма *Azotobacter chroococcum* ВНИИСХМ В-34Д берут в массовом соотношении компонентов 96,5 3,5 98,5 1,5 соответственно.

Способ переработки отходов обогащения угля. (Авт. св. №1481253 от 23.05.1989)

Зпатентованное техническое решение относится к угольной промышленности, в частности к переработке отходов обогащения угля в пригодные к транспортировке и складированию брикеты, которые могут быть использованы для производства керамики и заполнителей бетона, а также для сжигания в топках с кипящим слоем, Кроме того, брикетирование отходов обо-

гащения угля позволит упростить решение задачи безотходной технологии угольных фабрик и защиты окружающей среды.

Цель описываемого технического решения упрощение и удешевление переработки отходов обогащения угля. Описываемое техническое решение осуществляют следующим образом. Сгущают суспензию отходов обогащения угля с содержанием в- сгущенной суспензии фракции до 0,1 мм 70-90 мас.% и зольностью 60-80%, смешивают сгущенную суспензию с отходами обогащения угля фракции с менее 10 мм, формуют из смеси брикеты и обезвоживают прессованием при 20-40 МПа в течение 10-20 с.

Пример осуществления запатентованного технического решения. Переработке подвергают отходы обогащения обогатительной угольной фабрики. Флотоотходы зольностью 57,1%, крупностью 0,5 -0 мм сгущают на стендовом гидроциклоне до 540 г/л (вязкость 3530 П). Сгущенная суспензия содержит 82 мас.% фракции 0,1-0 мм с зольностью 71%, Влажность отходов флотации 42%, содержание углерода - 22,88%, теплотворная способность 2120 ккал/кг.

Описываемый способ в отличие от известного позволяет выполнить обезвоживание и формование отходов обогащения меньшим, чем у известного, количеством операций и с меньшими затратами (за счет исключения операции термической сушки), затраты на переработку уменьшаются в 4,5 раза, что удешевляет переработку отходов, ускоряет процесс переработки отходов и создает предпосылки для увеличения производительности.

Формула изобретения.

1, Способ переработки отходов обогащения угля, включающий сгущение суспензии тонких фракций отходов обогащения угля, смешение ее с сухими отходами обогащения угля фракции менее 10 мм, формование и обезвоживание смеси отходов, отличающийся тем, что, с целью упрощения и удешевления переработки, формование брикетов и обезвоживание ведут прессованием смеси отходов при 20-40 МПа в течение 10-20 с.

2, Способ по п. 1, отличающийся тем, что используют сгущенную суспензию с содержанием фракций до 0,1 мм отходов обогащения угля 70-90 мас.% и зольностью 60-80%.

Список литературы

1. *Самуков А. Д.* Комплексная переработка отходов щебеночных производства ЭКИП: Экол. и пром-сть России. 2019. 23, №7, с. 15-19. Рус.

2. *Пучков А.Ю., Василькова М.А.* Системный анализ и оценка потенциала использования отходов апатит-нефелиновых руд горно-обогажительных комбинатов. Современные наукоемкие технологии. 2019. № 7. С. 85-89.

3. *Бобков В. И., Мешалкин В. П.* Научные основы энергоресурсоэффективной экологически безопасной переработки техногенного сырья фосфоросодержащих отвалов апатит-нефелиновых руд. 21 Менделеевский съезда по общей и прикладной химии, Санкт-Петербург, 9-13 сент., 2019: Сборник тезисов. Т. 3. Физико-химические основы металлургических процессов. Энергоресурсоэффективность, экологическая безопасность и управление рисками химических производств. Химические аспекты современной энергетики и альтернативные энергоносители. СПб. 2019, с. 300. Рус.

4. *Киенко А.А., Воронова О.В.* Влияние состава карбоксильных собирателей на результаты флотации флюорита из техногенного сырья ярославской

горнорудной компании. В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции: в 3 частях. Ответственный редактор А.В. Шапиева. 2018. С. 101-106.

5. *Лаповецкий В., Нисина О. Е., Косвинцев О. К.* Особенности процессов удаления сульфата кальция из твердых галитовых отходов калийных обогатительных фабрик. 21 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Санкт-Петербург, 9-13 сент., 2019: Сборник тезисов. Т. 3. Физико-химические основы металлургических процессов. Энергоресурсоэффективность, экологическая безопасность и управление рисками химических производств. Химические аспекты современной энергетики и альтернативные энергоносители. СПб. 2019, с. 326. Рус.

6. *Хабарова Е. И., Зарубина Е. С.* К вопросу об использовании отходов углеобогащения. Горн, инф.-анал. бюл. 2019, № 5, спец. вып. 10, с. 153-158. Рус.

7. *Шевченко Т. В., Устинова Ю. В., Попов А. М., Новикова Я. А. и др.* Рациональное использование окисленных каменных углей. ЭКП: Экол. и пром-сть России. 2019. 23, № 5, с. 22-27. Рус.

8. *Абдрахимов В. З.* Повышение экологической безопасности за счет использования отхода обогащения угля в производстве пористого заполнителя на основе жидкого стекла и монтмориллонитовой глины. Энергосбережение и водоподгот. 2019, № 3, с. 33-38. Рус.

9. *Буравчук Я. И., Гурьянова О. В.* Влияние технологических факторов на свойства дисперсно-зернистых композитов на основе отходов углеобогащения. ЭВР: Экол. вестн. России. 2019, № 7, с. 30-36, 74, 75. Библ. 12. Рус.; рез. англ.

10. *Wu Xiao-xiao, Wang Xing-min, Tang Ai-min, Yang Shi-bo.* Анализ экономических, экологических выгод регенерации отходов активированного угля. Environmental economic benefit analysis of waste activated carbon regeneration. Yingyong huagong = Appl. Chem. Ind. 2018. 47, № 1, с. 181-184, 189. Кит.; рез. англ.

11. *Лавриненко А.А., Кунилова И.В., Гольберг Г.Ю., Аусиян О.Г., Кравченко В.Н., Шимкунас Я.М.* Исследование процессов комплексной переработки золы от сжигания бурых углей ТЭС В сборнике: Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения -2019). Материалы Международного совещания. 2019. С. 392-396.

12. *Козлов В.А., Пикалов М.Ф.* Существующие флотационные технологии для обогащения угольного шлам, «Уголь», февраль 2014, с. 65-69.

13. *Мальшикин А.В., Рознев А.Н.* Переработка хвостов флотации угольной пены алюминиевого электролизера. Сборник докладов 10 Международного конгресса «Цветные металлы-2018», Красноярск, 10-14 сент., 2018 Красноярск. 2018, с. 468-474. Библ. 10. Рус.

ЗАПАТЕНТОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Д.т.н., профессор А.Я. Шубов, Д.т.н., профессор С.П. Иванков,
А.В. Троицкий, К.А. Скобелев, И.Г. Доронкина*

Содержание

Введение

1. Отходы химической промышленности

- 1.1. Общие сведения. характеристики отходов химического производства
- 1.2. Запатентованные технические решения переработки и утилизации пиритных огарков
- 1.3. Запатентованные технические решения переработки и утилизации фосфогипса

Выводы по главе 1

2. Золошлаковые отходы ТЭС

- 2.1. Общие сведения. характеристика золошлаковых отходов
- 2.2. Запатентованные технические решения переработки и комплексного.

Выводы по главе 2

Список литературы

ВВЕДЕНИЕ

Из всего многообразия отходов производства, пригодных в современных технико-экономических и экологических условиях к переработке и утилизации в качестве вторичного сырья, рассмотрены многотоннажные отходы химической и топливно-энергетической промышленности, образующие большие скопления (техногенные месторождения). Они находят практическое применение главным образом для изготовления строительных и дорожных материалов, значительно реже их используют в качестве агрохимического сырья и почти не применяют как сырьевые материалы для извлечения ценных компонентов (в первую очередь металлов).

Среди многотоннажных отходов химической и топливно-энергетической промышленности наибольшее значение как вторсырье имеют:

- нефелиновые шламы (используются в дорожном строительстве);
- пиритные огарки (используются в производстве минеральных пигментов и стройматериалов; потенциально могут использоваться в производстве чугуна и стали и как сырье для извлечения цветных и благородных металлов);
- фосфогипс (используется в получении гипсовых вяжущих и в производстве цемента; весьма перспективен для извлечения РЗЭ);

— золошлаковые отходы тепловых электростанций (используются для производства аглопоритового щебня и гравия, глиноземного керамзита, зольного гравия, в дорожном строительстве; могут использоваться в качестве сырьевого источника для извлечения ценных компонентов, в т.ч. микросфер, золота, редких и редкоземельных металлов; для повышения уровня строительно-технологических свойств целесообразна оптимизация состава ЗПО – с применением методов обогащения).

1. ОТХОДЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1. Общие сведения. Характеристики отходов химического производства

Основные источники образования многотоннажных отходов в химической промышленности – производство серной кислоты и производство фосфорной кислоты и минеральных удобрений (фосфорная кислота – полупродукт в производстве удобрений).

Основной многотоннажный отход производства серной кислоты – *пиритные огарки* (результат обжига пирита FeS_2); твердым отходом является также пыль (на стадии газоочистки)¹. Основной многотоннажный отход производства экстракционной фосфорной кислоты и минеральных удобрений (переработка апатитового концентрата) – фосфогипс (сульфат кальция CaSO_4)².

Состав пиритных огарков как отходов производства серной кислоты (её получают путем переработки диоксида серы SO_2 , которую в свою очередь получают путем обжига пирита) зависит от состава исходного сырья – от вида пиритных огарков: огарки из колчеданов (пиритных флотационных концентратов), огарки из флотационных хвостов обогащения сульфидных руд и углистые огарки (пиритсодержащие хвосты обогащения угля). Огарки первых двух типов отличаются значительным содержанием металлов и могут использоваться как сырьевой источник цветных и благородных металлов. Примерный состав пиритных огарков, %: Fe_2O_3 79, FeO 6,3, SiO_2 10, Al_2O_3 1,4, S 7, Cu 0,3-0,8, Au 0,8-2 г/т, Ag 6-12 г/т. Крупность пиритных огарков –100+10 мкм.

Примерный состав фосфогипса (представляет собой гипс, загрязненный соединениями фосфора и фтора), %: P_2O_5 0,8-1,6, CaO 37-39,5, фтор 0,4, оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ, сумма лантаноидов и иттрия) 0,1-0,8, SiO_2 0,3-0,8, Sr 0,5-3, SO_4 67-68. Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в фосфогипсе составляет 70-97%; основные примеси – непрореагировавшие фосфаты, неотмытая фосфорная кислота, органические вещества, соединения фтора, соединения металлов. Фосфогипс – серый мелкокристаллический комкующийся порошок, влажность 25-40%.

В РФ накоплено около 300млн.т пиритных огарков. Четыре крупных хранилища пиритных огарков сосредоточены на Урале в районах бывших сернокислотных производств (суммарно более 25 млн.т огарков): г. Черепо-

¹Пыль сернокислотного производства (а также на промывных башнях) является одним из основных источников получения селена и теллура.

²Фосфорную кислоту H_3PO_4 преимущественно получают из природных фосфатов (из флотационных концентратов фосфатных руд) двумя методами – сернокислотным (экстракционным) и электротермическим.

При использовании сернокислотного метода основной процесс протекает по реакции: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{CaSO}_4\downarrow$.

вец (ООО «Аммофос»), г. Красноармейск (ОАО «ППГХО»), г. Мелеуз (Мелеузский завод минеральных удобрений), Кировоградское месторождение. В настоящее время потребителем уральского техногенного сырья является только цементная промышленность (пиритное железо используется для формирования вяжущего алюмоферрита кальция). Подсчитано: за 50 лет на Новороссийские цементные заводы в составе пиритных огарков поступило до 10 т золота. Утилизация пиритных огарков весьма актуальна – как с экологических позиций (из огарков, под влиянием атмосферных осадков, вымываются высокотоксичные соединения, загрязняющие окружающую среду), так и с позиций ресурсосбережения. Направления переработки и утилизации огарков:

- извлечение цветных и благородных металлов;
- производство чугуна и стали;
- производство минеральных пигментов;
- производство стройматериалов (добавка к шихте для получения цемента).

В отвалах на территории РФ находится более 200 млн.т фосфогипса (ежегодно образуется около 10 млн.т). В мировой практике ежегодно удаляется в отвал до 100 млн.т фосфогипса (затраты на удаление фосфогипса в отвалы сопоставимы с затратами на добычу такого же количества природного гипсового камня). Для снижения кислотности фосфогипс перед складированием в отвалы обрабатывают известковым молоком. Основные направления переработки и утилизации фосфогипса:

- в производстве цемента;
- получение гипсовых вяжущих;
- получение сульфата аммония;
- извлечение РЗЭ.

В промышленном масштабе переработка фосфогипса в РФ практически не реализована (несмотря на достаточно высокое содержание РЗЭ). По расчетам, извлечение РЗЭ из фосфогипса позволит полностью обеспечить РФ дефицитными металлами³.

За исключением магнитных сплавов переработка вторсырья, содержащего РЗЭ, в мировом производстве практикуется крайне редко. В РФ основные ресурсы РЗЭ представлены месторождениями лопаритовых, фосфоритовых и апатитовых руд. Основной источник РЗЭ в России – Ловозерское лопаритовое месторождение в Мурманской области (его руды содержат РЗЭ преимущественно цериевой группы, среднее содержание 1,12%; РЗЭ извлекаются попутно). За все время эксплуатации хибинских недр (Кольский полуостров) получено 620 млн.т апатитового концентрата (содержание в руде оксидов РЗЭ 1%) – без извлечения РЗЭ и с полной потерей стронция (20 млн.т – трехкратный мировой баланс стратегически важного металла). 85% получаемого апатитового концентрата перерабатывают по сернокислотному способу, при котором основная масса РЗЭ переходит в состав твердой фазы – фосфогипс

³К редкоземельным металлам (редкоземельным элементам, РЗЭ) относят иттрий, лантан и лантаноиды (иногда скандий) – всего 16 химически сходных элементов (процессы их разделения известны, но весьма сложны). Оксиды РЗЭ отличаются высокой температурой плавления и твердостью.

90% добываемых РЗЭ используется в виде неразделенных природных смесей. Основные запасы РЗЭ сосредоточены в рудах Китая и США (минералы бастнезит и монацит).

(отход производства). Накопленные запасы фосфогипса как техногенного сырья ~200 млн.т. Его отличительные особенности:

- РЗЭ находятся в достаточно легко извлекаемой форме;
 - он не содержит радиоактивных элементов (выделенные из него РЗЭ также не радиоактивны – в отличие от многих источников редких земель; очистка от радиоактивных примесей не требуется);
 - он содержит РЗЭ, пользующиеся наибольшим спросом в сфере высоких технологий (самарий, европий, тербий, иттербий, иттрий и др.);
 - не требуется проведение горных работ.
- Вовлечение фосфогипса в переработку – важнейшая экологическая и экономическая задача ⁴.

О целесообразности вовлечения фосфогипса в переработку в качестве вторсырья для извлечения РЗЭ свидетельствует постоянно расширяющаяся область применения РЗЭ в различных областях техники.

Основные области применения РЗЭ:

- нефтеперерабатывающая промышленность (в процессе крекинга нефтепродуктов используют цеолитовые катализаторы, насыщенные РЗЭ – увеличивают выход легких фракций, наиболее ценных продуктов); для изготовления катализаторов крекинга в мировой практике расходуется ~50% всех производимых РЗЭ;
- автомобильная промышленность (каталитическое обезвреживание отработанных газов автотранспорта – каталитическая очистка газов от оксидов углерода и азота);
- металлургическая промышленность (модифицирование чугунов и сталей; мировое годовое потребление РЗЭ – несколько тысяч т); РЗЭ связывают остаточное количество кислорода, серы и фосфора, снижают содержание водорода, способствуют образованию мелкозернистой структуры; способствуют получению высокопрочного чугуна (предел прочности 500-600 МПа против 210-250 МПа у серого чугуна), заменяет дорогую сталь;
- стекольная промышленность (физическое обесцвечивание достигается небольшими добавками неодима и эрбия, химическое обесцвечивание бутылочного и хрустального стекла – заменой мышьяка на церий; качество изделий улучшается, снижается негативное влияние технологии производств на окружающую среду); черниевые стекла не теряют прозрачность при рентгеновском облучении и используются в ядерной технике и телевидении; диоксид церия в смеси с диоксидом титана окрашивают стекло в желтый цвет; для производства художественного стекла используется оксид неодима (розовый и фиолетовый цвета), празеодима (зеленый);
- оптическая промышленность (оксид лантана используется при изготовлении высококачественных линз для объективов и волоконно-оптических лазерных материалов; оксиды иттрия и гадолиния применяют в

⁴В РФ редкоземельное производство находится на низком уровне: в 2010 г. Россия экспортировала ~1,5 тыс.т редкоземельной продукции, при этом на внутренний рынок поставлено всего 30 т продукции (в РФ уровень потребления РЗЭ перестал расти после 1990 г.).

Мировое производство оксидов РЗЭ в 2010 г. составило около 125 тыс.т; основной производитель – Китай (95%). Основные потребители РЗЭ: Китай (54%), Япония и Южная Корея (34%), Германия и Франция (13%), США (8%).

В РФ спрос на РЗЭ полностью удовлетворяется за счет импорта из Китая (фактор риска для национальной безопасности и развития отечественной промышленности).

оптических стеклах; стекла, легированные неодимом, используются в лазерах – особенно мощных); оксид церия эффективен при использовании в качестве полирующего материала – полирита (используется в производстве очковых стекол);

- керамическая промышленность (в производстве тиглей для плавки металлов используется сульфид церия с температурой плавления 2900⁰С; оксид иттрия применяют в ракетостроении и авиации; стабилизированный иттрием оксид циркония используется в качестве нагревателей);

- производство сверхмощных магнитов – на основе сплава самария и кобальта (SmCo₅) и сплава неодим-железо-бор (Nd₂Fe₁₄B); новые магниты в 7 раз превышают энергию магнитов на основе керамических ферритных материалов (используются, в частности, в производстве нового поколения магнитных сепараторов – широко применяются при обогащении вторсырья);

- постоянно расширяющееся производство люминофоров различного свечения (применяются в телевидении, светотехнике, электронной технике, медицинской диагностике); для цветного телевидения в основном используется красный люминофор – оксисульфид иттрия, активированный европием; в люминесцентных лампах используются люминофоры красного, голубого и зеленого свечения; рентгенолюминофоры для медицины (оксисульфиды или оксидбромиды иттрия и лантана, в качестве активаторов используют тербий, европий и тулий) позволяют в два раза снизить рентгеновское облучение для пациента, улучшают качество рентгеновских снимков и увеличивают срок службы рентгеновского оборудования;

- производство сверхпроводящих керамических материалов (обладают высокотемпературной проводимостью); содержат иттрий, стронций (барий) висмут и медь, могут использоваться неодим и церий.

1.2. Запатентованные технические решения переработки и утилизации пиритных огарков

Пиритные огарки

Утилизация и переработка пиритных огарков как вторсырья (в частности, с получением из огарков железокислородных пигментов) развиты в рассмотренных ниже запатентованных технологических решениях.

1. Цель запатентованной технологии – получение из пиритных огарков железокислородного полицветного пигмента для использования в лакокрасочной и строительной промышленности, в производстве бумажных изделий, пластмасс, кожаной и резино-технической продукции [1].

В настоящее время железосодержащие пигменты получают преимущественно из природного железосодержащего сырья – гематитовых железных руд, бокситов и др. Утилизация пиритных огарков, содержащих не менее 87% Fe₂O₃, позволяет сохранить запасы первичных ресурсов.

Сущность и особенности технологии:

- грохочение и перемешивание пиритных огарков (удаление включений крупностью +5 мм);

- сушка фракции –5мм при температуре 150-550⁰С (при 110⁰С удаляется физически связанная вода, при 150 ⁰С – химически связанная вода, при 260-370⁰С происходит разложение сульфатов железа, при 485⁰С – частичный переход γ-Fe₂O₃ в α - Fe₂O₃);

- грохочение по классу 1,2 мм (удаление не прогоревших кусочков серы);

- измельчение фракции –1,2 мм (до крупности –15 мкм);
- термообработка при температуре 450-900⁰С (получение из огарка пигментов), время обжига 0,5 ч; переход всех оксидов в α - Fe₂O₃;
- охлаждение (пропускание материала через холодильник).

Полученный железооксидный пигмент обладает разными цветовыми характеристиками (обладает колористическими свойствами) – в зависимости от температуры прокаливания:

- красно-коричневый цвет – 450-550⁰С;
- красный – 550-650⁰С;
- красно-сиреневый – 650-700⁰С;
- сиреневый – 700-750⁰С;
- сиренево-черный – 750-900⁰С.

Технология извлечения из пиритных огарков оксида железа с получением соответствующего пигмента экологически привлекательна – образуется незначительное количество сточных вод, получение самого пигментного оксида не связано с использованием методов химического воздействия.

2. Цель запатентованной технологии – переработка пиритных огарков с получением железооксидных пигментов и удобрения (а также цементной меди) [2].

Основные технологические операции:

- окатывание пиритных огарков с постепенным добавлением концентрированной серной кислоты (получение прочных гранул);
- сульфатизирующий обжиг окатышей при температуре 250-300⁰С;
- водное выщелачивание продукта обжига в ультразвуковом поле при температуре 80-90⁰С в течение 0,5-2 ч с получением смеси водорастворимых сульфатов железа, меди, цинка, алюминия и частично титана;
- разделение твердой и жидкой фазы фильтрованием;
- выделение меди из полученного водного раствора (осаждение железом – процесс цементации);
- обработка сульфатсодержащих растворов аммиачной водой (водный раствор NH₄OH) с целью дробного осаждения гидроксидов металлов – путем изменения pH (последовательное выделение гидроксидов титана, алюминия и цинка; в водном растворе остается железный купорос):
 - при pH 1,5-2,2 осаждается гидроксид титана,
 - при pH 3,5-5,5 осаждается гидроксид алюминия Al(OH)₃,
 - при pH 5,4-7,5 осаждается гидроксид цинка Zn(OH)₂;
- выделение осадка гидроксида железа Fe(OH)₂ при pH 8-9,5 из водного раствора железного купороса фильтрованием; осадок промывают водой;
- термическое окисление осадка гидроксида железа в токе воздуха при температуре 400-1000⁰С (от температуры зависит цвет железооксидных пигментов):
 - при температуре 550-650⁰С получают красный пигмент;
 - при температуре 650-700⁰С получают красно-сиреневый пигмент;
 - при температуре 700-750⁰С получают сиреневый пигмент;
 - при температуре 750-1000⁰С получают сиренево-черный пигмент;
- окисление кислородом воздуха в течение 0,5-1 ч фильтрата, полученного в операции отделения гидроксида железа; процесс окисления интенсифицируется ультразвуком; в итоге получается осадок желтого пигмента FeOOH;

- ультразвуковое фильтрование и сушка при температуре не выше 120°C осадка желтого пигмента;

- упаривание объединенных фильтратов с получением удобрения в виде сухого сульфата аммония (без упаривания получают жидкое удобрение).

Технология позволяет получить из пиритных огарков железооксидные пигменты с содержанием оксида железа 97,8-99,9% широкой цветовой гаммы (для окрашивания пластмасс, бетонов, керамической плитки, фаянсовых и фарфоровых изделий), а также получить удобрение.

3. Цель запатентованной технологии – переработка пиритных огарков с получением железооксидного пигмента (а также цементной меди) [3].

Основные технологические операции:

- смешивание пиритного огарка (содержание Fe_2O_3 46% и FeO 24%) с хлоридом аммония NH_4Cl (расход реагента на 20-30% выше стехиометрического соотношения для образования хлоридов железа);

- хлорирование смеси (обжиг при температуре 200-300°C в течение 2 ч – до полного прекращения выделения газообразных продуктов реакции); выделяющиеся хлорид водорода и аммиак реагируют с образованием хлорида аммония в виде раствора (его упаривают, твердую соль направляют в операцию хлорирования следующей партии огарка);

- водное выщелачивание растворимых хлоридов металлов при температуре 60-90°C и $T:Ж=1:(3-5)$ в ультразвуковом поле (частота 22 кГц, плотность мощности 0,5-1 Вт·см⁻³);

- разделение твердой и жидкой фазы фильтрованием (средняя скорость 22 л/час); осадок состоит из минералов кремния, гипса, барита, хлорида серебра, золота и других нерастворимых металлов и их хлоридов;

- выделение из фильтрата цементной меди (процесс цементации); осадок меди направляют на плавку;

- обработка жидкой фазы аммиаком до pH 4-5 с получением осадка гидроксида трехвалентного железа;

- отделение ультрафильтрованием гидроксида трехвалентного железа (характеристика ультразвукового поля неизменна);

- термоокисление оксида трехвалентного железа прокаливанием при температуре 300-1000°C в течение 2 ч (в зависимости от требуемого цвета производимого пигмента);

- при температуре 400-500°C получают красно-коричневый пигмент;

- при температуре 550-650°C получают красный пигмент;

- при температуре 650-700°C получают красно-сиреневый пигмент;

- при температуре 700-750°C получают сиреневый пигмент;

- при температуре 750-1000°C получают сиренево-черный пигмент;

- окисление кислородом воздуха жидкой фазы (после первой стадии фильтрования) в течение 0,5-1,5ч в ультразвуковом поле; в итоге выпадает желтый осадок;

- ультразвуковое фильтрование и сушка при температуре не выше 120°C желтого осадка.

Технология позволяет получать железооксидные пигменты (содержание оксида железа ~98,5%) широкой цветовой гаммы, пригодные для окрашивания материалов в различных областях.

4. Цель запатентованной технологии – извлечение из пиритных огарков черных, цветных, редких и благородных металлов и их соединений, а также утилизация отходов переработки.

Сущность и особенности технологии [4]:

- пеллетирование (окускование) пиритных огарков с использованием в качестве связующего концентрированной серной кислоты;
- обжиг пеллет при температуре 250-300°C в течение 20 минут;
- выщелачивание продукта обжига водой в ультразвуковом поле гидроакустического преобразователя (плотность мощности 0,5-1 Вт см⁻³) в течение 15-30 минут при 50-55°C;
- разделение фильтрованием твердой и жидкой фазы с их раздельной последующей переработкой;
- из твердой фазы (кек) извлекают благородные металлы (по известным технологиям);
- из жидкой фазы извлекают цементную медь (осаждают железом) и гидроксиды цветных и редких металлов (дробное осаждение); из раствора выделяют также химически чистый сульфат одноводного железа (высаливание из раствора в течение 2-5 минут этанолом в ультразвуковом поле; ультразвук ускоряет процесс воздействия этанола на водный раствор соли) – при соотношении этанол:жидкая фаза=3:1; этанол из раствора извлекают дистилляцией для повторного использования (операция перегонки этанола хорошо отработана);
- сульфат одноводного железа растворяют в воде и осаждают из раствора в виде гидроксида двухвалентного железа (подщелачивание аммиаком до pH 9-9,5);
- хвосты после отгонки этанола, содержащие сульфат аммония, используют в качестве удобрения.

Гидроксиды цветных и редких металлов перерабатывают известными способами. Гидроксид двухвалентного железа направляют либо на изготовление активной массы железо-никелевых аккумуляторов, либо на термоокисление (400-1000°C) для получения красителей (железооксидные пигменты широкой цветовой гаммы). Остаточная масса содержит в основном оксиды кремния, гипс и барит и направляется в производство строительных материалов.

5. Цель запатентованной технологии – извлечение золота и серебра из пиритных огарков [5].

Основные операции гидрометаллургической технологии:

- кислотная обработка огарков (в качестве кислых растворов можно использовать промывные воды сернокислотного производства): при температуре 60-70°C, в течение 3 ч, T:Ж=1:0,8;
- разделение твердой и жидкой фазы (содержание в растворе, г/дм³: железо общее 16, медь 2, цинк 7,2, мышьяк 1,2, серная кислота 12);
- извлечение из раствора меди и цинка;
- измельчение твердой фазы (отмытый огарок) в известковой среде (до крупности 95%- 0,074 мм);
- аэрация при температуре 80-150°C и давлении 1,3 атм. при T:Ж=1:2;
- цианирование в автоклаве (в течение 2 ч);

- охлаждение и загрузка сорбента (анионит АМ-2Б, количество 5% от объема пульпы, в течение 8 ч при комнатной температуре и атмосферном давлении).

Извлечение золота и серебра соответственно 82% и 69% (суммарно на 30-40% выше по сравнению с технологическим аналогом).

6. Цель запатентованной технологии – извлечение из пиритных огарков цветных, благородных и черных металлов на основе использования комбинации методов металлургической обработки и флотации [6].

Основные операции технологической схемы:

- составление шихты: пиритные огарки, сульфидизатор (серосодержащий материал, например, флотационный пиритный концентрат, пирит-содержащие хвосты обогатительных фабрик, бедные колчеданные руды или их комбинации) и небольшое количество кокса (для розжига, при недостатке в шихте серы); соотношение огарки: сульфидизатор 1:(0,2-2);

- обработка шихты методом сульфоагломерации при температуре 1200-1400⁰С в течение 15-35 минут; в процессе агломерации образуются сульфиды меди и других металлов; примерное содержание металлов в агломерате, %: меди 0,56, железа 35, золота 1,6 г/т, серебра 21,8 г/т;

- дробление полученного агломерата;
- измельчение агломерата в щелочной среде (до крупности 78% - 0,074 мм);
- флотация с получением медного концентрата (в него переходят драгметаллы) в виде пенного продукта, железного концентрата – в виде хвостов; в качестве собирателя при флотации меди используют бутиловый ксантогенат.

Технологические показатели обогащения:

- извлечение меди ~75%, золота ~65%, серебра ~68%;
- содержание в концентрате меди 17,8%, золота ~8 г/т, серебра ~69 г/т.

Технологические показатели сравнительных процессов заметно ниже.

7. Цель запатентованной технологии – переработка пиритных огарков с извлечением благородных металлов [7].

Суть технологии – плавка пиритных огарков в присутствии углеродистого восстановителя и флюса с получением расплава штейна (сплав сульфидов цветных металлов и железа) и шлака (расплав оксидов, формируется из флюсов и FeO с образованием Fe₂SiO₄); из полученного штейна извлекают благородные металлы.

Основные технологические операции:

- составление шихты из пиритного огарка (состав приведен ниже), коксовой мелочи и флюса (SiO₂ – речной песок);

- нагрев шихты до 1100-1150⁰С и её плавка (при соотношении огарка и коксовой мелочи от 1:0,06 до 1:0,15) путем продувки шихты воздухом – с использованием верхнего и бокового воздушного дутья, при отношении объема верхнего дутья к объему бокового дутья 1:(0,1-1); плавку ведут в две стадии, они отличаются режимом – во второй стадии боковое дутье не используют (кокс сжигается на поверхности шлака под действием верхнего непогружного дутья). Условия первой стадии способствуют сжиганию части твердого углеродистого восстановителя с выделением тепла, необходимого для поддержания температуры; оставшаяся часть кокса идет на восстановление оксидов меди, цинка и частично железа в форме FeO (FeO взаимодействует с флюсом SiO₂, образуя шлак Fe₂SiO₄). Во второй стадии тепло идет на перегрев шлака для снижения его вязкости (снижение потерь штейна).

Наличие SO₂ в отходящих газах не обнаружено.

Примерный состав штейна, %: Fe 45-46, Cu 30-33, S 21-23, Au 15 г/т, Ag 620 г/т.

Примерный состав железо-силикатного шлака, %: Fe 55, Si 13, Cu 0,09 г/т, Au 0,07 г/т, Ag 1,1 г/т.

Примерный состав исходного пиритного огарка, %: Cu 0,5, Zn 0,3, Fe 56, S 1,4, SiO₂ 10, Al₂O₃ 1,2, Au 1,35 г/т, Ag 19 г/т.

Извлечение золота в штейн 96-97%, серебра 96-97%.

Технология легко реализовать, используя металлургические агрегаты, оснащенные верхним непогружным и боковым дутьем. Полученный медный штейн можно переработать на объектах цветной металлургии, получающих медь из сульфидных концентратов с извлечением из них драгоценных металлов.

Технология отличается простотой и экологически привлекательна (снижение выбросов в атмосферу SO₂).

8. Цель запатентованной технологии – переработка пиритных огарков с извлечением железа, цветных и благородных металлов [8].

Основные технологические операции:

- выщелачивание железа и цветных металлов в противоточном режиме в две стадии раствором соляной кислоты (концентрация 150-240 г/л) при температуре не менее 60°C;

- разделение фильтрованием твердой и жидкой фазы (отделение от раствора нерастворенного остатка и его отмывка горячей водой, подкисленной соляной кислотой до pH 1); отмытый кек направляют на извлечение благородных металлов;

- обработка растворов выщелачивания (фильтрат) газообразным хлором (регулировка pH ~ 0,5);

- после обработки хлором в раствор дозируют сульфиды металлов или сероводород для осаждения мышьяка; образующиеся осадки мышьяка отделяют от раствора (содержит хлорид железа);

- раствор хлорида железа упаривают до концентрации 200-600 г/л;

- термообработка раствора хлорида железа – термическое разложение хлорида железа с получением чистого оксида железа (направляют на получение железоокисных пигментов); выделяющийся хлористый водород улавливают растворами отмывки осадка после выщелачивания огарка (получающуюся соляную кислоту возвращают в процесс выщелачивания);

- извлечение золота и серебра из отфильтрованного отмытого кека после выщелачивания известными методами (например, с применением технологии выщелачивания золота и серебра из осадка подкисленными серной кислотой растворами тиокарбамида; при содержании в кеке 1-1,4 г/т Au и 11-12 г/т Ag извлечение благородных металлов в раствор составило соответственно 70-77% и 40-49%); осадок после извлечения благородных металлов является дополнительным видом полезной продукции (в основном содержит кварцевый песок).

Состав исходного пиритного огарка, %: Fe₂O₃ ~71, FeO ~6, SiO₂ ~16, Al₂O₃ 2,5, MgO 0,9, CaF₂ 1,1, Cu 0,37, Zn 0,37, As 0,12, Au 1,2 г/т, Ag 5,3 г/т.

Извлечение в раствор после двухстадийного выщелачивания пиритного огарка соляной кислотой, %: железа, меди и цинка – на уровне 91-94%, извлечение мышьяка ~87%.

9. Цель запатентованной технологии – утилизация пиритных огарков и пылевидных отходов сталеплавильного производства в качестве вторсырья для получения металлокерамической дробы [9].

Металлокерамическая дробь используется для дробеструйной обработки деталей машин различного назначения или в качестве абразива.

Технология получения металлокерамической дроби с высокими эксплуатационными свойствами при одновременном снижении стоимости изготовления базируется на использовании определенного соотношения компонентов, входящих в состав дроби и способа её изготовления.

Соотношение компонентов в металлокерамической композиции:

- керамический материал – 3-40%;
- пылевидные отходы сталеплавильного производства – 3-50%;
- пиритные огарки – остальное.

Керамический материал является связующим для металлических компонентов при формировании металлокерамической дроби. Состав керамического материала, %: Si 50-70, Al_2O_3 20-30, Fe_2O_3 0,28-0,6, TiO_2 0,4-0,5, CaO 0,28-0,4, MgO 0,17-0,3, K_2O 2-2,8, Na_2O 0,3-1,5.

Состав пылевидных отходов сталеплавильного производства (шламы газоочисток мартеновских печей, конвертеров и электросталеплавильных печей) и пиритных огарков рассмотрен выше.

Металлокерамическую дробь получают обжигом высокочастотными лучами СВЧ:

- измельчение компонентов до наноразмеров в водной среде в ультразвуковом поле или используют мельницы тонкого помола (до крупности 0,001 мкм);
- смешивание компонентов в требуемом соотношении;
- прессование на таблетирующих пресс –автоматах (придание формы шара, цилиндра, таблетки или сферы);
- обжиг высокочастотными лучами СВЧ: длина волны от 1 м (частота 300 МГц), до 1мм (частота 300 ГГц).

Типичные примеры составов металлокерамической дроби: (керамика-пыль-огарки) 10-20%, 30-40%, 60-40%.

Размеры получаемых металлокерамических материалов от 0,1 мм до 50 мм.

Экологическая значимость технологии связана с вовлечением в утилизацию большого количества многотоннажных отходов производства.

10. Цель запатентованной технологии – переработка пиритных огарков с получением железомедного сплава (обогащен благородными металлами) и высокоосновного железокальциевого расплава [10].

Последовательность технологических операций:

- окомкование пиритного огарка с введением реагента-восстановителя (расход 6-12% от массы огарка);
- обжиг полученных окатышей в слабоокислительной атмосфере (0,2-3% кислорода) в присутствии известняка (расход 30-40% от массы окатышей);
- плавка продукта обжига при температуре 1350-1450°C с получением железомедного сплава (обогащен драгметаллами) и высокоосновного железокальциевого расплава;
- обработка высокоосновного железокальциевого расплава кислородсодержащим окислителем при температуре 1350-1450°C (до соотношения трех- и двухвалентного железа 3-25).

11. Цель запатентованной технологии – комплексная металлургическая переработка пиритных огарков с получением цинково-свинцовых возгонов (полупродукт, может быть переработан по известной технологии), глинозе-

мистого цемента – в виде шлака (товарный продукт), сплава на основе железа – в виде донного продукта (обрабатывают фосфогипсом) [11].

Основные операции технологии:

- нагрев огарков до 1100-1150°C и их расплавление в присутствии углеродистого восстановителя (25-30% от массы огарка) и флюсов; в качестве флюсов используют CaO и Al_2O_3 – содержащие материалы в соотношении (0,5-1):1; расход флюсов 40-100% от массы огарка (практически флюсами служат известняк и некондиционное алюмосиликатное сырье – содержит 35-45% Al_2O_3 и 12-17% CaO);

- обработка сплава (в жидком или твердом состоянии) на основе железа твердыми окислителями (содержат сульфат кальция; расход 50-80% от массы сплава); в качестве твердых окислителей рекомендуется использовать гипсо-содержащие отходы химической промышленности (фосфогипс, борогипс).

При температуре расплавления огарка выделяются цинкового-свинцовые возгоны (поступают на переработку известными методами).

Сплав на основе железа, выделяемый в виде донного продукта (выход ~65%), обогащен благородными металлами (~2 г/т Au и 28 г/т Ag) и медью (~0,45%) и может быть направлен в конвертерный передел медного производства (с извлечением золота и серебра в черновую медь).

Извлечение из пиритного огарка золота ~96%, серебра ~95%, меди 60-90%.

1.3. Запатентованные технические решения переработки и утилизации фосфогипса

Рассмотренные запатентованные технологические решения расширяют возможности утилизации фосфогипса. Резервом рыночной востребованности этого ценного сырья становятся разработки комплексной технологии его переработки, менее энергоемкой и повышающей качество выделяемых продуктов (в первую очередь гипса и РЗЭ), а также повышающей извлечение ценных продуктов.

1. Цель запатентованной технологии – извлечение редкоземельных элементов (РЗЭ) из фосфогипса [12].

Основные операции гидрометаллургической технологии:

- обработка фосфогипса раствором серной кислоты ($T:Ж=1:3$), температура 50°C, продолжительность 3 ч);

- разделение твердой и жидкой фазы фильтрованием (раствор содержит 0,2-2 г/л РЗЭ);

- выделение из раствора суммы РЗЭ (в виде фторидов) путем обработки раствора фтористоводородной кислотой HF (концентрация 2-5 г/л) при 30-85°C в течение 0,5-1,5 ч, при непрерывном перемешивании; извлечение РЗЭ из раствора 76% (в отдельных опытах – более 90%);

- отделение осадка фторидов РЗЭ от маточного раствора фильтрованием (маточный раствор после отделения осадка фторидов РЗЭ можно использовать в качестве сернокислого раствора для обработки фосфогипса в головке процесса); содержание РЗЭ в концентрате ~42%.

Эксперименты проведены с использованием фосфогипса, полученного в условиях АО «Святогор» (г. Красноуральск).

2. Цель запатентованной технологии – извлечение РЗЭ из фосфогипса [13].

Основные операции гидрометаллургической технологии:

- обработка фосфогипса раствором серной кислоты (0,1-0,5 г-экв./л) при $T:Ж=1:5$ в течение 0,5 ч;

- разделение твердой и жидкой фазы фильтрованием;
- нейтрализация раствора оксидом или карбонатом магния (при перемешивании в течение 1 ч, pH 5,5; в качестве карбоната магния можно использовать магнезит) с выделением РЗЭ в осадок;
- отделение осадка РЗЭ фильтрованием и его сушка; извлечение РЗЭ ~33%.

Преимущества технологии:

- получение хорошо фильтрующихся осадков (скорость фильтрования повышается, влажность – снижается);
- утилизация образующегося раствора сульфата магния – использование в качестве оборотного выпелачивающего раствора (после отделения осадка, содержащего РЗЭ); присутствие в выпелачивающем растворе сульфата магния практически не влияет на переход РЗЭ в раствор.

3. Цель запатентованной технологии – комплексная переработка фосфогипса для получения концентрата РЗЭ и гипса [14].

Основные операции гидрометаллургической переработки:

- приготовление пульпы фосфогипса;
- трехстадийное выпелачивание серной кислотой РЗЭ и фосфора при перемешивании пульпы в течение 5-30 минут при Т:Ж=1:(2-3); pH пульпы на стадиях выпелачивания – не более начала осаждения фосфатов РЗЭ; в каждую стадию выпелачивания подается равное количество пульпы фосфогипса, а серную кислоту подают только на первую стадию; концентрация кислоты в пульпе первой стадии 5-15% (начальная концентрация), а на последней стадии 1-3% (остаточная концентрация, pH не более 2);
- разделение твердой и жидкой фазы пульпы фильтрованием (в растворе – РЗЭ, в осадке – гипс);
- водная промывка гипса на фильтре с получением промывного раствора (направляют на сорбцию РЗЭ катионитом);
- нейтрализация гипса основным соединением кальция (известняк, известь и их смеси) до pH 5,7;
- сорбция РЗЭ при pH 1-2 сильнокислотным сульфокатионитом марки КУ-2-8н с получением насыщенного РЗЭ катионита и маточного раствора сорбции РЗЭ (его делят на две части: одну используют для приготовления пульпы фосфогипса в голове процесса, из второй – осаждают фосфор и фтор основным соединением кальция; полученный осадок отделяют от водной фазы и утилизируют, водную фазу используют в обороте); сорбцию РЗЭ из раствора выпелачивания ведут в аппарате колонного типа при восходящем потоке раствора РЗЭ и нисходящем движении уплотненной массы катионита;
- десорбция раствором сульфата аммония РЗЭ с получением регенерационного катионита (возвращают на стадии сорбции РЗЭ) и десорбата; десорбцию проводят при противоточном движении насыщенного РЗЭ катионита и десорбирующего раствора (например, в многокамерном барабанно-шнековом аппарате);
- выделение концентрата РЗЭ из десорбата.

Извлечение РЗЭ из фосфогипса в раствор – на уровне 70-75%, извлечение на стадии сорбции – около 97%, на стадии десорбции ~94%.

Получаемый для утилизации гипс не загрязнен фосфором и фтором. Содержание РЗЭ в гипсе ~0,12%. Содержание РЗЭ в исходном (фосфогипсе) 0,44% (сумма оксидов иттрия и лантаноидов).

4. Цель запатентованной технологии – извлечение РЗЭ из фосфогипса [15]. Основные операции гидрометаллургической технологии:

- выщелачивание фосфогипса (последовательная обработка нескольких порций фосфогипса одним раствором серной кислоты при Ж:Т=2-3, концентрация кислоты 20-25%) с переводом РЗЭ в раствор;
- кристаллизация РЗЭ, перешедших в раствор, добавкой серной кислоты до её концентрации не менее 30% при температуре 20-80°C; кристаллизацию концентрата РЗЭ проводят в присутствии затравки сульфатов РЗЭ при Ж:Т не более 100 в течение 0,5-3 ч;
- разделение кристаллизовавшегося осадка (концентрат РЗЭ) и жидкой фазы фильтрованием;
- обработка концентрата РЗЭ раствором $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ или CaCl_2 с получением концентрированного раствора нитратов или хлоридов РЗЭ (пригоден для разделения РЗЭ известными методами).

Содержание РЗЭ в концентрате 30-45%. Извлечение РЗЭ из фосфогипса (от исходного) – на уровне 50-60%.

Раствор после отделения концентрата РЗЭ используют для выщелачивания фосфогипса; образующийся в ходе технологического процесса гипс направляют в отвал.

5. Цель запатентованной технологии – извлечение из фосфогипса лантаноидов и гипса [16].

Основные операции гидрометаллургической технологии:

- выщелачивание фосфогипса 22-30%-ным раствором серной кислоты в течение 20-25 минут с переводом фосфора и лантаноидов в пересыщенный по лантаноидам раствор и получением осадка гипса;
- разделение твердой и жидкой фазы центрифугированием (остаточная влажность осадка гипса – не более 20%);
- обработка гипса основным соединением кальция (известь, известняк) до pH более 5;
- выделение концентрата лантаноидов из раствора выщелачивания кристаллизацией и отделение концентрата от маточного раствора; маточный раствор направляют либо на стадию выщелачивания (при величине произведения содержания примеси фосфора в маточном растворе и остаточной влажности осадка гипса менее 180, причем фосфор пересчитывают на P_2O_5 , г/л), либо предварительно подвергают очистке (при величине этого показателя ≥ 180);
- очистка (при необходимости) маточного раствора от фосфора с помощью соединения титана, используя титанилсульфат моногидрат $\text{TiOSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в сухом виде или в виде раствора в серной кислоте).

Извлечение лантаноидов в раствор выщелачивания – на уровне 65-75% (до 82%), извлечение в концентрат 64-68%; содержание в концентрате 25-29%.

6. Цель запатентованной технологии – извлечение лантаноидов из фосфогипса [17].

Основные операции гидрометаллургической технологии:

- измельчение фосфогипса до крупности 100 мкм;

- порционное выщелачивание фосфогипса раствором серной кислоты при $J:T=2-3$ с переводом лантаноидов в раствор; раствор выщелачивания используют не менее трех раз (предельная концентрация серной кислоты 24%), причем выщелачивание проводят с использованием промывного раствора; выщелачивание первой порции фосфогипса осуществляют 2-6%-ным раствором серной кислоты, а при выщелачивании последующих порций фосфогипса концентрацию серной кислоты увеличивают, исходя из соотношения процентного приращенния концентрации серной кислоты к приращению (в г/л) концентрации P_2O_5 при выщелачивании предыдущей порции фосфогипса ≥ 4 ;

- разделение твердой и жидкой фаз;
- промывка фосфогипса водой; промывной раствор используют при выщелачивании фосфогипса.

Концентрация лантаноидов в растворе ~ 3 г/л, извлечение в раствор – на уровне 35% (его ошибочно считают высоким).

Отличительная особенность технологии:

- увеличение концентрации серной кислоты от стадии к стадии;
- предполагаемое извлечение лантаноидов из раствора выщелачивания – с помощью ионной флотации (собирает – алкилфосфорные кислоты).

Пути утилизации промывной водой фосфогипса не отмечаются. Понижение общего извлечения лантаноидов в раствор с увеличением числа стадий выщелачивания не объясняется.

7. Цель запатентованной технологии – переработка фосфогипса с извлечением РЗЭ, радиоактивных элементов (РАЭ), получением удобрений и фосфатного цементного вяжущего [18].

Основные технологические операции:

- обработка фосфогипса раствором серной (5-15%) и фосфорной (15-30%) кислот с получением жидкой (содержит РЗЭ и РАЭ) и твердой (в виде гипсосодержащего материала) фазы; $T:Ж=(0,5-1):1$, время перемешивания 1ч; обработка смесью кислот повышает извлечение РЗЭ, урана и тория;

- разделение твердой и жидкой фаз выщелачивания фильтрованием;
- обработка твердой фазы водой (получение суспензии, отмытой от кислых растворов), $T:Ж=(0,5-1):1$;

- разделение отмытой суспензии на твердую фазу (промывтый гипсосодержащий материал) и жидкую фазу фильтрованием;

- объединение полученных в процессе двух фильтратов (содержат РЗЭ, уран и торий) с получением кислого раствора;

- для извлечения РЗЭ и РАЭ из объединенного раствора применяют ионообменную технологию: последовательно пропускают объединенный раствор через ионообменный фильтр с катионитом (извлечение РЗЭ) и через ионообменный фильтр с анионитом (доизвлечение РЗЭ и извлечение урана и тория); остаточный кислотный фильтрат (полученный на выходе анионита) утилизируют в ходе процесса (на стадии получения готовой продукции);

- смешивание промывного гипсосодержащего материала с силикатом магния природного происхождения (например, с серпентинитом, тальком) или техногенного (например, с отходом производства асбеста) – с последующей утилизацией в ходе процесса (на стадии получения готовой продукции);

- утилизация путем смешивания остаточного кислотного фильтрата с промывным гипсосодержащим материалом с добавленным к нему серпентинитом; при смешивании получается готовая продукция – пастообразная масса, об-

ладающая свойствами магнезиального и фосфатного вяжущего, может быть использована в качестве строительного материала; эта же масса может быть использована в качестве экологически безопасного минерального удобрения (содержит агрохимически важные компоненты – фосфор, серу, кальций и магний);

- десорбция (осуществляют периодически) РЗЭ из ионообменного фильтра с катионитом сульфате аммония с получением жидкого концентрата РЗЭ (при его обработке карбонатом аммония получают твердый концентрат РЗЭ – в виде осадка);

- десорбция (осуществляют периодически) урана, тория и остатков РЗЭ из ионообменного фильтра с анионитом нитратом аммония с получением жидкого концентрата урана, тория и остатков РЗЭ (при его обработке карбонатом аммония получают твердый концентрат).

Избыток нитрата аммония утилизируют (используют в качестве жидкого азотного удобрения).

Рекомендации по использованию ионообменных фильтров:

- катионит типа КУ-2 (Россия) – обладает селективностью к РЗЭ;
- анионит типа АВ-17 (Россия) – обладает селективностью к урану и анионным комплексом РЗЭ.

Технология испытана в опытно-промышленном масштабе. Получен готовый продукт (пастообразная масса) состава, %: P_2O_5 5,5, SO_3 21, SiO_2 12,9, MgO 14,5, CaO 14,5; содержание РЗЭ не превышает 0,05%, уран и торий не обнаружены. При использовании метода распылительной сушки получают мелкогранулированный материал, характеризующийся высокой агрохимической ценностью. При высушивании на воздухе получают плотный материал – в виде строительного камня.

8. Цель запатентованной технологии – переработка фосфогипса с извлечением РЗЭ и получением высококачественного сульфата кальция [19].

Основные операции технологического процесса:

- нейтрализация фосфогипса путем его обработки гидроксидом натрия или известью (в частности, известковым молоком) до pH 6,5-11,5;

- выдержка фосфогипса с целью медленного созревания (кристаллизации) сульфата кальция (до образования $CaSO_4 \cdot 2H_2O$);

- измельчение агломератов, образовавшихся во время созревания (использование быстрходной мешалки);

- выщелачивание фосфогипса серной кислотой (концентрация 2-20%) при перемешивании в течение 1-2 ч при температуре 20-30°C; отношение серная кислота: созревший сульфат кальция во время выщелачивания составляет предпочтительно от 0,15 до 0,35; РЗЭ переходят в раствор (жидкая фаза);

- разделение фильтрованием твердой и жидкой фазы; предпочтительна рециркуляция раствора на стадии выщелачивания (2-8 раз);

- промывка твердой фазы водой (предпочтительно обработанной известью).

Технология способствует повышению извлечения РЗЭ и получению сульфата кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ высокой чистоты (остаточное содержание P_2O_5 менее 0,05%, обычно 0,4-1%; отличается также низким содержанием Na_2O). Высококачественный фосфогипс обеспечивает быстрое схватывание цемента; соответствует требованиям, предъявляемым к сульфату кальция при его применении для изготовления гипсового картона; можно получать гипсокартон с большим содержанием фосфогипса.

9. Цель запатентованной технологии – комплексная переработка фосфогипса с выделением ценных компонентов и продуктов (получение сульфата натрия Na_2SO_4 , карбоната кальция CaCO_3 , концентрата стронция и РЗЭ) [20].

Отличительные особенности технологии (рис. 1.):

- обработка исходного фосфогипса содой обеспечивает переход сульфата фосфогипса в сульфат натрия (на 96-98%) и получение концентрированного раствора сульфата натрия;
- извлечение РЗЭ в раствор из твердой фазы производят с помощью соляной кислоты (в присутствии аскорбиновой кислоты); извлечение РЗЭ в раствор 96-98%, в конечный продукт ~96%;
- получение концентрата Sr в виде осадка после выщелачивания РЗЭ соляной кислотой (с добавлением аскорбиновой кислоты в примерном соотношении аскорбиновая кислота:РЗЭ=0,5:1).

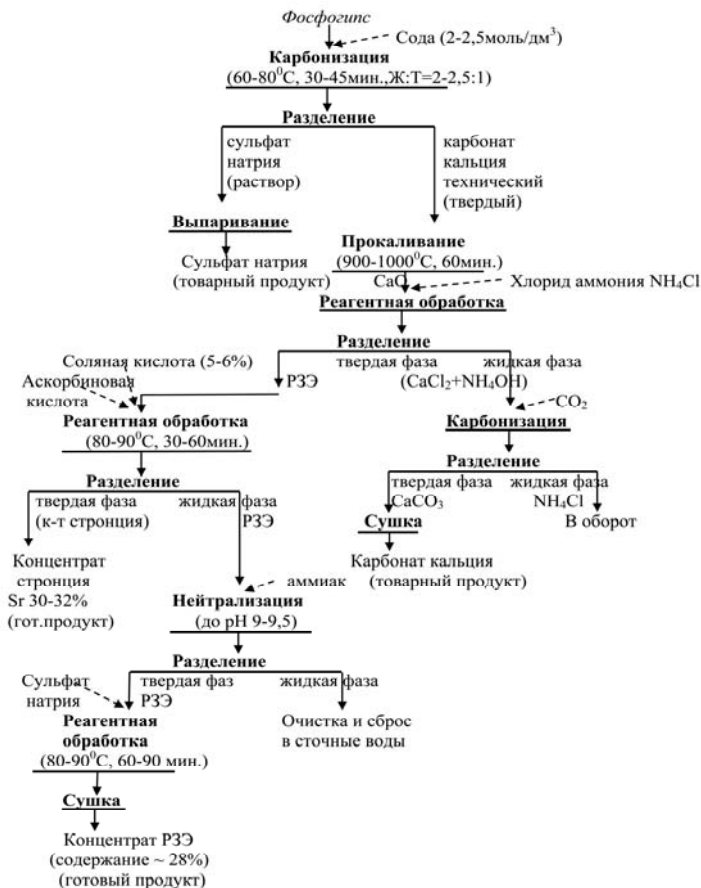


Рис. 1. Технологическая схема комплексной переработки фосфогипса с извлечением целевых продуктов (получение сульфата натрия, карбоната кальция, концентрата стронция и РЗЭ)

Выводы по главе 1

1. По количеству образующихся отходов химическая промышленность занимает третье место (после горно-металлургической промышленности и теплоэнергетики).

Основные источники образования многотоннажных отходов в химической промышленности – производство серной кислоты и производство фосфорной кислоты и минеральных удобрений.

2. Основной многотоннажный отход производства серной кислоты – пиритные огарки (результат обжига пирита FeS_2). В РФ накоплено около 300 млн.т пиритных огарков. Основные направления их переработки и утилизации:

- извлечение цветных и благородных металлов (содержание в пиритных огарках: Cu 0,3-0,8%, Au 0,8-2 г/т, Ag 6-12 г/т);
- производство чугуна и стали (огарки содержат до 60% железа)
- производство минеральных пигментов;
- производство стройматериалов (добавка к шихте для получения цемента).

Огарки могут использоваться в качестве дополнительных источников ценного вторичного сырья.

В настоящее время потребителем пиритных огарков является только цементная промышленность (производство вяжущих).

3. Основные направления изыскания технологических решений экологических задач при использовании пиритных огарков в качестве вторичных ресурсов (анализ патентного фонда):

- получение железооксидных пигментов широкой цветовой гаммы (без использования методов химического воздействия, с повышением содержания оксидов железа, с попутным получением ценных компонентов);
- комплексная переработка пиритных огарков (извлечение черных, цветных, редких и благородных металлов и их соединений, утилизация отходов переработки);
- изыскание новых методов переработки пиритных огарков и решения технологических задач.

4. Основной отход производства фосфорной кислоты и минеральных удобрений – фосфогипс (основной компонент $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). В отвалах на территории РФ находится более 200 млн.т фосфогипса. Основные направления его переработки и утилизации:

- производство цемента;
- получение гипсовых вяжущих;
- получение сульфата аммония;
- извлечение РЗЭ (содержание оксидов РЗЭ 0,1-0,8%).

По расчетам, извлечение РЗЭ из фосфогипса позволяет полностью обеспечить РФ дефицитными металлами (в промышленном масштабе извлечение из фосфогипса РЗЭ практически не реализовано).

5. Основные технологические разработки, связанные с вовлечением в переработку и утилизацию фосфогипса, предусматривают получение в качестве целевых продуктов солей кальция, сульфата натрия, сульфата аммония, сернистого газа. Технологии комплексной переработки связаны в первую очередь с извлечением из фосфогипса лантанондов, фосфатов, с получением ряда других продуктов (фосфатного гипсового вяжущего, удобрений).

Особое внимание уделяется разработке технологий извлечения из фосфогипса РЗЭ. Суть гидрометаллургических технологий – обработка фосфогипса кислотой (серной, азотной, фосфорной, иногда соляной – применительно к продуктам переработки фосфогипса) с переводом РЗЭ в раствор с последующим их извлечением из раствора с применением разных способов (анализ патентного фонда):

- обработка реагентом-осадителем (аммиаком, щелочами, фтористоводородной кислотой, карбонатом магния);

- ионная флотация;

- ионнообменная технология.

6. В соответствии с мировым опытом кардинальное изменение в редкометальной отрасли возможно только при активном участии государства. Доля государства в финансировании программ развития редкоземельной промышленности составила: в Японии 75-80%, в Канаде 40%, в Австралии 30-40%, в Великобритании 35% [21].

2. ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТХОДЫ ТЭС

2.1. Общие сведения. Характеристика золошлаковых отходов

Золошлаковые отходы (ЗШО) образуются при сжигании угля на ТЭС и являются многотоннажными отходами теплоэнергетики, потребляющей около 30% добываемого угля. При сжигании угля образуется от 2 до 30% отходов, иногда до 40% (сравнить: при сжигании дров образуется 1% отходов, при сжигании мазута – до 0,2%) [22].

В РФ в отвалах накоплено около двух млрд.т ЗШО, ежегодно образуется не менее 20 млн.т ЗШО. Хранение ЗШО в отвалах приводит к загрязнению окружающей среды (загрязнение почвы, грунтовых вод, воздушного бассейна), к изъятию земель.

Среди ЗШО различают золу-унос (продукт газоочистки), шлак (содержит агрегированные и сплавившиеся частицы золы) и золошлаковую смесь (механическая смесь золы-уноса и шлаков: в топках с твердым шлакоудалением в шлак переходит 10-20% золы, с жидким – 20-40%).

По гранулометрическому составу зола-унос – тонкодисперсный материал, размер частиц от 0,16 мкм до –1 мкм (выход класса менее 50 мкм ~60%, класса +90 мкм до 10%), улавливается на стадии газоочистки (в электрофильтрах, скрубберах). Плотность золы ~2,2 г/см³.

Топливные шлаки по составу отличаются от металлургических. Основными компонентами ЗШО являются SiO₂ и Al₂O₃.

По химическому составу золы классифицируют на высоко-кальциевые (содержание CaO более 20%) и кислые (содержание CaO менее 20%), на легкоплавкие (содержание Fe₂O₃ более 12%) и золы средней плавкости (содержание Fe₂O₃ менее 12%).

Решение экологической и технологической проблемы ЗШО – их вовлечение в масштабную переработку и утилизацию (уровень утилизации ЗШО в РФ около 10%, в Финляндии 90%, во Франции, Великобритании и Германии 70%). Наиболее перспективное направление масштабного использования топливных отходов как термически обработанного и негорячего продукта (содержит реакционноспособные оксиды кальция, кремния и алюминия, обладает низкой теплопроводностью) – использование в строительной индустрии (практикуется с 30-х годов XX века); возможна оптими-

зация состава ЗШО перед использованием – в соответствии с требованиями нормативной и технической документации:

- заполнители для тяжелых и легких бетонов;
- материал для изготовления силикатного кирпича;
- материал для приготовления строительных растворов;
- кремнеземистый компонент для ячеистых бетонов;
- вяжущие для ячеистых бетонов;
- минеральный порошок в асфальтобетонные смеси;
- мелкий заполнитель для конструкционно-теплоизоляционного бетона (ТУ21-33-73, лимитируется крупность зерен, насыпная плотность, удельная поверхность, содержание SO_3 и недожога).

По способности проявлять вяжущие свойства ЗШО условно делят на три группы [23]:

- *активные* (самотвердеющий материал, может применяться в качестве самостоятельного вяжущего), образуются при сжигании углей Канско-Ачинского угольного бассейна; содержание СаО: общего 20-60%, свободного – до 30%; возможная область использования – дорожное строительство, изделия автоклавного твердения;

- *скрыто активные* (требуется интенсификация твердения), образуются при сжигании хакаских, черемховских, богословских, райчихинских углей; содержание СаО: общего 5-20%, свободного – до 2%; возможная область использования – дорожное строительство, производство твердеющих при тепловой обработке изделий;

- *инертные*, образуются при сжигании экибастузских, подмосковных, кузнецких, нерюнгринских углей; содержание свободного СаО – менее 1%, высокое содержание SiO_2 и Al_2O_3 ; возможная область использования – дорожное строительство, техногенный грунт, производство кирпича, зольного гравия.

ЗШО ТЭС (рекомендуются высококальциевые золы) используются для производства цемента – в соответствии с требованиями к глинистому компоненту шихты.

Использование зол в дорожном строительстве связано с сооружением земляного полотна, устройством укрепленных оснований, возведением насыпей, устройством дорожных одежд. Дороги на основе золошлаковых отходов оказывают положительное влияние на содержание углекислого газа в воздухе – за счет карбоксилизации щелочных составляющих цемента (метод снижения содержания углекислого газа в воздухе, исследования в Англии).

В дорожном строительстве перспективно применение аглопорита – искусственного пористого заполнителя из ЗШО ТЭС (смесь ЗШО и глины). Аглопорит – хороший заполнитель в конструкционных высокопрочных легких бетонах. Его можно закатывать в состав слоя основания в дорожном строительстве, в цементобетон, в состав асфальтобетонной смеси для верхнего слоя дорожной одежды, использовать в качестве минеральной составляющей в битумоминеральной смеси. Увеличивается срок службы дорог и их морозостойкость. В сыром виде зола для отсыпки дорог не подходит (пыление). В дорожном строительстве, в соответствии с мировым опытом, цементобетонные покрытия по долговечности превосходят покрытия из асфальтобетонов.

Перспективные направления утилизации ЗШО [24]:

- использование в производстве стеклокристаллических материалов строительного и технического назначения: производство шлакоиситаллов,

стекло-шлаковых облицовочных плиток, коррозионно-стойких стекло-шлакоэмалевых покрытий металлов (толщина покрытий 300-500мкм);

- экономически эффективное использование при изготовлении пено-стекла (взамен традиционной технологии его получения из смеси тонкоизмельченного стеклобоя и пенообразователя); пеностекло обладает огнестойкостью и низкой теплопроводностью, отличается долговечностью и экологичностью;

- в производстве высокопрочного устойчивого к хлоридам бетона с тройным связующим: комбинация ЗШО с кварцевой пылью и гранулированным доменным шлаком (опыт строительства дамб в Дании и Гонконге);

- использование в производстве гранулированного удобрения (повышает плодородие кислых почв);⁵

- использование как сырьевого источника для извлечения ценных компонентов: микросфер (концентрируются в классе $-0,18+0,09$ мм), металлов (черных, цветных, благородных, редких, редкоземельных), недожога (концентрируется в классе -80 мкм, снижает качество строительных изделий при использовании ЗШО в производстве стройматериалов);

- возможно использование в технологиях захоронения ТКО (изоляция отходов);

- использование для очистки слабозагрязненных сточных вод (летучая зола обладает адсорбционными свойствами).

На основе использования микросфер:

- прочность легкого бетона повышается в три раза;
- при добавке к буровым растворам увеличивается срок службы бурильного оборудования (нефтегазовая промышленность);

- возможно получение защитного покрытия (смесь микросфер, крахмала и воды) – защита различных поверхностей от налипания сварочных брызг;

- добавки в эпоксидную смолу снижают её массу без уменьшения прочности на разрыв (использование в авиатехнике);

- возможно изготовление принципиально нового абразивного инструмента (повышенная производительность высокопористых шлифовальных кругов при скоростях до 120м/с);

- возможно изготовление теплоизоляционных безобжиговых материалов и жаростойких бетонов;

- повышаются тепло-, электро- и звукоизоляционные характеристики пластмасс и керамики (использование микросфер в качестве наполнителя); полимерные материалы с микросферами (сферопластики) применяются для изоляции теплотрасс, в радиотехнике (создание радиопрозрачных теплоизоляционных экранов), в мебельном производстве;

- возможно изготовление керамических плит для обшивки космических аппаратов;

- возможно получение керамической губки для концентрирования и отверждения жидких опасных отходов;

- при сжигании бурых углей образуются ЗШО с содержанием более 10% MgO , пригодные для получения магнезии (пользуются спросом в цветной металлургии).

⁵Известкование почвы с помощью мелиоранта, полученного из отходов, можно рассматривать как природоохранную и ресурсосберегающую технологию, поскольку при её применении снижается расход азотных и фосфорных удобрений.

2.2. Запатентованные технические решения переработки и комплексного

1. Цель запатентованной технологии – извлечение из ЗШО магнитной фракции и получение обогащенного продукта для производства строительных материалов [25].

Технология включает (рис. 2) магнитную сепарацию и перемешивание магнитной фракции (после измельчения в шаровой мельнице) в магнитном поле с использованием барабанных высокоградиентных магнитных сепараторов типа СТН-612 с постоянным магнитом (диаметр барабана 600 мм, длина 1200 мм, скорость вращения 24 об/мин.; магнитная индукция на поверхности барабана 600 мТл).

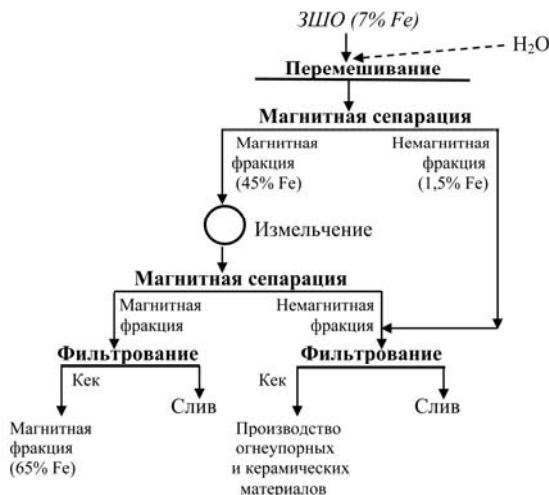


Рис. 2. Схема процесса полупромышленной установки обогащения золошлаковых отходов с извлечением магнитной фракции (Дальневосточный регион)

Перед магнитной сепарацией пульпа разбавляется водой (операция перемешивания в емкости 3 м³ – с механической мешалкой или соплами для подачи воды под напором).

Магнитная и немагнитная фракция подвергаются обезвоживанию с использованием дисковых вакуум-фильтров.

Крупность зерен магнитной фракции –2+0,01 мм.

2. Цель запатентованной технологии - извлечение золота из ЗШО [26]. В качестве исходного сырья использована сухая зола от сжигания угля (пыль электрофильтров) на Благовещенской ТЭЦ при температуре, превышающей температуру плавления золота, что обеспечивает крупность золота в золе ультратонких размеров и наноразмеров и приводит к изменению физико-химических свойств золота (содержание золота в золе 3,2 г/т). При контакте исходного сырья с 0,1%-ным раствором серной кислоты в течение 6 часов при перемешивании золото переходит в растворяющую фазу и затем

извлекается из раствора с помощью активированного угля в известковой среде (сорбционный процесс); уголь отделяется и регенерируется с извлечением золота из регенерирующих растворов электролизом и плавкой на шиховое золото. Содержание золота в сернокислотном растворе составляет 0,152 мг/л (представляет интерес для промышленного извлечения). Извлечение золота в растворяющую фазу (сернокислотное выщелачивание) – около 80%.

3. Цель запатентованной технологии – удаление из ЗШО недожога флотационным методом до содержания не более 5% (подготовка к производству строительных материалов) [27].

ЗШО из отвала подаются в бункер, измельчаются до крупности не более 50 мм (предусмотрено удаление каменных и металлических включений) и дозированно направляются в смеситель с лопастной мешалкой, заполняемый водой и золошлаковой смесью.

Золошлаковая пульпа подвергается гидроциклонированию в двух последовательно установленных гидроциклонах; пески первого гидроциклона доизмельчаются и являются питанием второго гидроциклона. Фракционный состав ЗШО после доизмельчения: 80% –90 мкм, 15% –200+90 мкм, 5% –900+200 мкм.

Слив гидроциклонов (содержит преимущественно недожог) поступает на флотацию (в качестве собирателя используется керосин). Выход недожога ~25% (от исходного), выход золы ~75%.

Недожог при флотации переходит в пенный продукт и собирается в сборник недожога; оставшаяся вода возвращается в голову процесса, а недожог фронтальным погрузчиком транспортируется на площадку для подсушки, брикетруется и используется в качестве топлива.

Хвосты флотации (зольная фракция) отстаиваются и направляются на переработку в строительные материалы (или для извлечения ценных компонентов).

Усредненный химический состав материала, направляемого на переработку, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Усредненный химический состав обогащенных ЗШО

Химические соединения	Показатели							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	RO
Содержание, % (масса)	61,24	22,82	4,47	5,93	2,08	1,63	0,18	1,65

4. Цель запатентованной технологии – извлечение золота из золотосодержащих продуктов сгорания углей (содержание золота – до 200 мг/т) [28]. При обогащении используется различие в плотности разделяемых компонентов и воздействие центробежных сил. Эксперименты проведены на ЗШО, образующихся при сжигании угля Экибастузского месторождения (зола содержит до 80 мг/т тонкого золота, шлак – до 125 мг/т мелкого золота).

Технологическая схема (рис. 3) включает операцию обезвоживания материала в гидроциклоне (до содержания твердого 25–35%), грохочение материала по классу 6 мм (крупный класс является отвальным) на дуговом грохоте, обогащение в центробежном поле (золото концентрируется в рифлях футеровки центробежного сепаратора, извлечение золота 80%). Центробежный сепаратор– обогатительная чаша, установлена с возможностью вращения вокруг вертикальной оси; легкие частицы выносятся потоком пульпы через борт чаши и сбрасываются в отвал, тяжелые – концентрируются в рифлях футеровки чаши и выгружаются по мере накопления.



Рис. 3. Технологическая схема извлечения золота из ЗПО

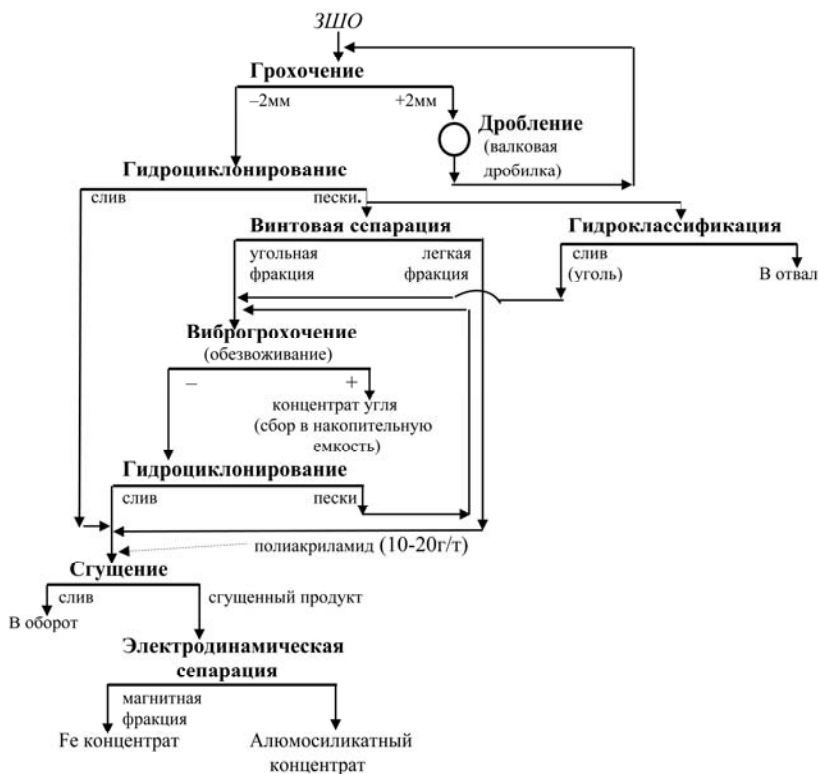


Рис. 4. Технологическая схема обогащения ЗПО с выделением магнитной фракции, алюмосиликатного концентрата и недожога

5. Цель запатентованной технологии – комплексное обогащение ЗШО ТЭС (также углесодержащих отходов шахт и обогатительных фабрик) с получением трех продуктов – алюмосиликатов (используются в качестве вяжущих и для производства стройматериалов), железосодержащих концентратов (утяжелитель суспензий при обогащении минерального сырья) и углерода (недожог, используется в качестве топлива) [29].

Рекомендуемое оборудование для реализации технологической схемы (рис. 4):

- грохот типа ГСТ (производитель НПО «РИВС», Санкт-Петербург);
- валковая дробилка типа ДДЗ (производитель ОАО «Уралмашзавод», Екатеринбург);
- гидроциклон типа ГРЦ (производитель НПО «РИВС», Санкт-Петербург);
- винтовой сепаратор типа ШВЭ (производитель фирма «Новые технологии и оборудование», Москва);
- виброобезвоживатель (производитель фирма «Шауенбург МАБ», Германия, г.Мюльхайм);
- гидроклассификатор типа Гидросорт (производитель фирма «Шауенбург МАБ», Германия, г.Мюльхайм);
- сгуститель (осветлитель-сгуститель) типа АКА-SET (производитель фирма «АКВ», Германия, г. Динхоф);
- электродинамический сепаратор типа ЭДС-МС (производитель НПП «Экопромпереработка», г. Белгород).

В гидроклассификаторе (в него поступают грубозернистые фракции угольной суспензии песков гидроциклона) разделение частиц по плотности и крупности осуществляется в восходящем потоке воды (подается в подрешетное пространство); над решеткой образуется кипящий слой из минеральных частиц, легкие частицы угля всплывают на поверхность слоя и восходящими потоками воды выводятся в слив гидроклассификатора (отверстия решетки захлопываются при прекращении поступления воды снизу рабочей камеры, предотвращая попадание твердых частиц в подрешетное пространство).

В винтовом сепараторе угольная фракция отделяется от остального материала под действием центробежных сил.

Электродинамический сепаратор используется для выделения магнитной фракции; немагнитная фракция – алюмосиликатный концентрат.

Дробленый продукт возвращается в операцию грохочения в виде суспензии.

Расход технической воды – 1 м³/т обогащаемого сырья.

Характеристика крупности продуктов обогащения:

- угольный концентрат – 800 мкм;
- железосодержащий концентрат – 200 мкм;
- алюмосиликатный концентрат – 200 мкм.

6. Цель запатентованной технологии – комплексная переработка ЗШО (извлечение недожога, магнитной фракции, алюмосиликатного концентрата и благородных металлов – золота, платины). Технология отработана в полупромышленном масштабе на ЗШО Ангарской ТЭЦ №9 (работает на углях Иркутского угольного бассейна) [30].

Гранулометрический состав ЗШО (преобладающая крупность – 0,16 мм):

- фракция +10 мм 0,29%;
- 10+5 мм 0,28%;

- 5+2,5 мм 0,07%;
- 2,5+1,25 мм 0,18%;
- 1,25+0,63 мм 0,50%;
- 0,63+0,315 мм 0,53%;
- 0,315+0,16 мм 0,87%;
- 0,16 мм 97,28%.

Технологическая схема, рекомендуемая для комплексного обогащения ЗПО с повышенным содержанием благородных металлов, представлена на рис. 5. В случае низкого содержания благородных металлов рекомендуется из технологической схемы исключить операции винтовой сепарации, концентрации на столах (алюмосиликатный концентрат получается в виде хвостов 2-й магнитной сепарации).

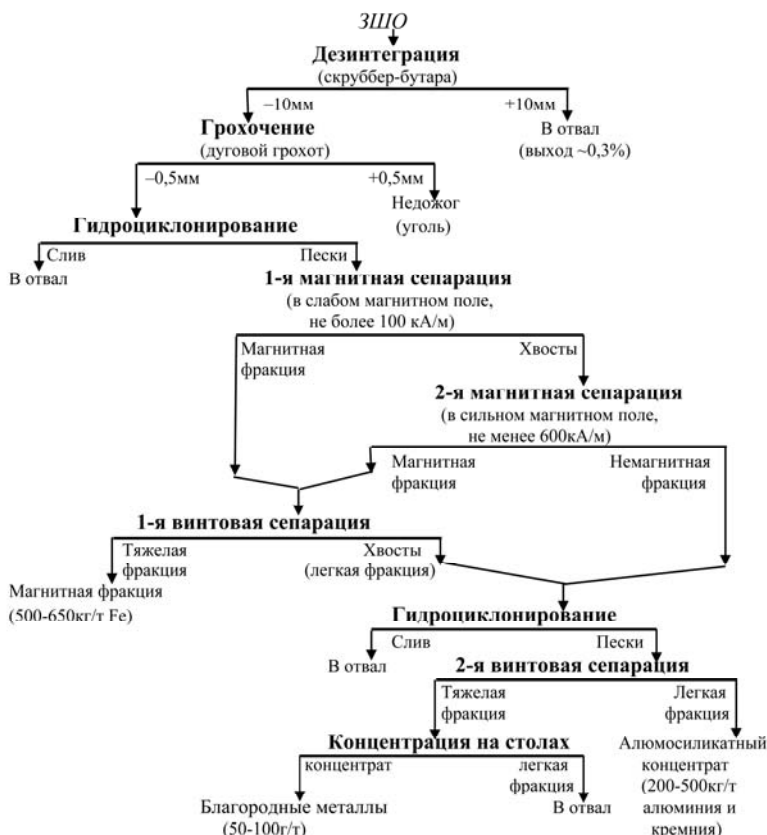


Рис. 5. Технологическая схема комплексного обогащения ЗПО (выделение недожога, магнитной фракции, алюмосиликатного концентрата и благородных металлов)

Примечание. Железосодержащий и алюмосиликатный концентраты содержат по 4 кг/т титана.

Химический состав ЗШО и продуктов обогащения

Химический состав	Содержание, %			
	ЗШО	Железосодержащий концентрат	Алюмосиликатный концентрат	Концентрат благородных металлов
SiO ₂	48-67	15-20	55-65	25-35
Al ₂ O ₃	18-26	2-10	22-30	~5
Fe ₂ O ₃	4-6	50-65	2-5	25-35
CaO	2-4,5	3-5	5-8	10-15
MgO	0,8-2,2	1-2	1-2	следы
K ₂ O	1,0-1,3	0,1-0,5	0,5-1	следы
Na ₂ O	0,1-0,2	0,1-0,5	0,1-0,5	следы
TiO ₂	0,5-0,7	1,5-2	0,5-1	~
Золото	-	-	-	50-100 г/т
Платина	-	-	-	50-100 г/т

Химический состав ЗШО и продуктов обогащения представлен в табл. 2.

7. Цель запатентованной технологии – извлечение из ЗШО ценных компонентов (микросферы, коллективный концентрат – содержит недожог и редкоземельные элементы, магнитная фракция и алюмосиликатный концентрат) с применением методов обогащения (грохочение, отстаивание, классификация, флотация, магнитная сепарация). Технология отработана в полупромышленном масштабе на ЗШО Алексинской ТЭЦ (Гульская область), переработано около 5 т ЗШО. Технологическая схема обогащения ЗШО представлена на рис. 6 [31].

В голове процесса с помощью мокрого двухстадийного грохочения предусмотрено выделение крупных несгоревших частиц угля (недожог), спекшейся золы и инородных включений (фракция +1 мм, подвергается дроблению). Фракция –1 мм направляется на извлечение микросфер (перемешивание пульпы в чане с мешалкой и её отстаивание; микросферы всплывают и удерживаются на поверхности, удаляются с поверхности сьемником).

Для удаления недожога используют флотацию. Тонкость помола материала перед флотацией 90% –40 мкм. Флотационные концентраты характеризуются высоким извлечением редкоземельных элементов (РЗЭ) – недожог (органический остаток) является сорбентом РЗЭ; суммарное содержание РЗЭ в концентратах 18 кг/т (в ЗШО ~1 кг/т).

Высокое извлечение железа обеспечивается последовательной магнитной сепарацией в слабом магнитном поле (извлечение сильномагнитной фракции) и в сильном поле (извлечение слабомагнитной фракции). Магнитные продукты могут быть направлены в доменный процесс (получение чугуна).

Алюмосиликатный концентрат получается в виде хвостов магнитной сепарации (извлечение Al₂O₃ около 92%), направляется на Пикалевский глиноземный завод.

Химический состав ЗШО и продуктов обогащения представлен в табл. 3 (содержание в ЗШО органического углерода 0,35%).

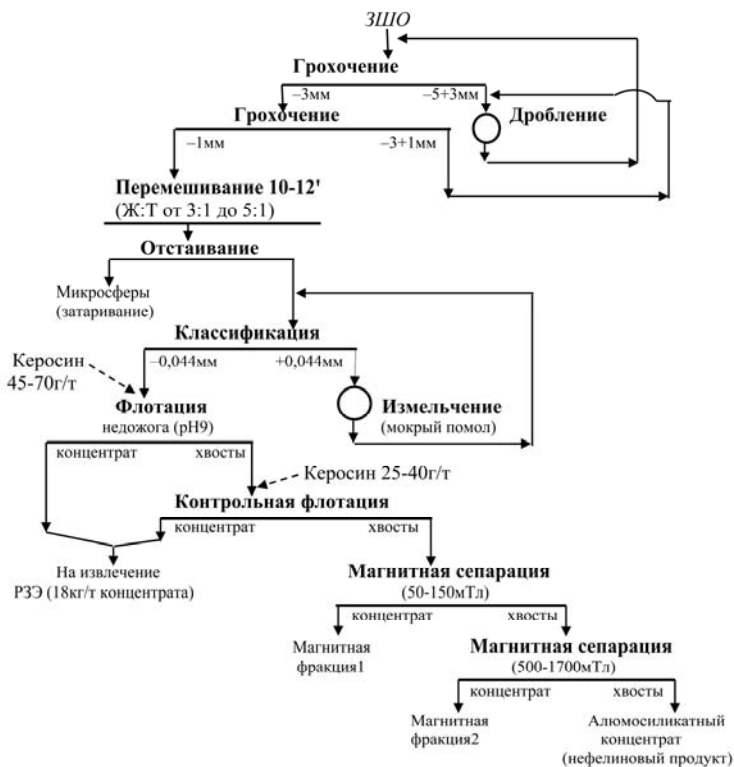


Рис. 6. Технологическая схема полупромышленных испытаний обогащения ЗШО с извлечением ценных компонентов (микрошферы, магнитная фракция, алюмосиликатный концентрат, редкоземельные элементы совместно с недожогом)

Таблица 3

Химический состав ЗШО и продуктов обогащения

Химический состав	Содержание, %					
	ЗШО	Железосодержащий концентрат		Алюмосиликатный концентрат	Микрошферы	Фракция +1мм
		№1	№2			
SiO ₂	46	26,38	33,28	45,54	44,16	30,6
Al ₂ O ₃	35,2	23,06	26,02	37,47	40,62	27,08
Fe ₂ O ₃	7,65	50,08	36,44	3,09	3,06	5,22
CaO	3,92	1,75	3,14	4,34	4,26	4,37
MgO	-	0,24	0,3	0,23	1,18	1,22
K ₂ O	0,48	0,04	0,05	0,47	-	0,33
Na ₂ O	-	0,01	0,01	0,16	-	0,05
Cu	-	0,007	0,005	0,003	0,018	0,092
Zn	-	0,042	0,034	0,022	0,043	0,031
Pb	-	0,011	0,011	0,008	0,014	0,011
Co	-	0,04	0,004	0,004	0,004	0,009
Ni	-	0,019	0,017	0,007	0,0094	0,017

8. Цель запатентованной технологии – извлечение из ЗШО редкоземельных металлов и скандия [32].

Последовательное извлечение суммы редкоземельных металлов и скандия с торием обеспечивают кислотное выщелачивание и ионообменное концентрирование (рис. 7).

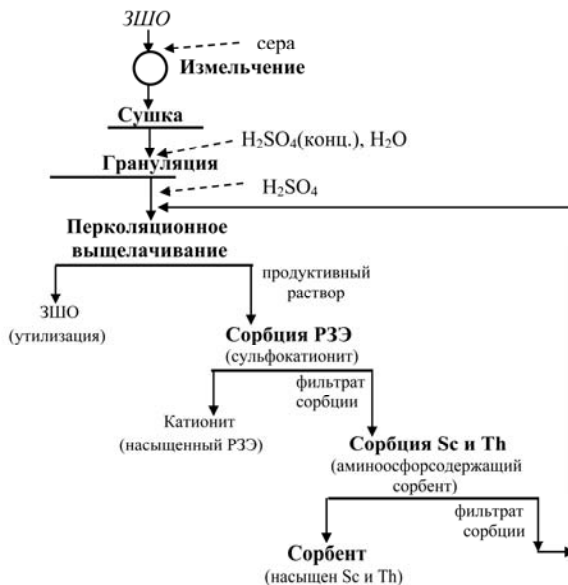


Рис. 7. Технологическая схема переработки ЗШО с извлечением редкоземельных металлов и скандия (непрерывный бесфильтрационный процесс)

Примечание. ЗШО после извлечения РЗЭ и скандия рекомендуется использовать в дорожном строительстве в качестве самостоятельного медленно твердеющего вяжущего или гидравлической добавки к цементу.

Основные операции технологического процесса:

- измельчение и грануляция ЗШО с концентрированной серной кислотой;
- перколяционное выщелачивание суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) и скандия из гранулированного материала раствором серной кислоты 5-15 г/л при температуре 18-25°C, Ж÷Т=2:1÷1:1; продуктивный раствор рециркулирует в замкнутом цикле выщелачивание – сорбция;
- сорбция суммы РЗЭ сульфокатионитом в Н-форме из продуктивного раствора, температура 18-25°C (извлечение металлов в сорбент 80-90%);
- сорбция скандия аминофосфорсодержащим сорбентом из фильтрата РЗЭ, температура 18-25°C (с извлечением металлов в сорбент 80-85%);
- возврат фильтрата сорбции скандия в операцию выщелачивания.

Технология отработана на ЗШО Северской, Каширской, Кумертаузской и Дорогобужской ТЭЦ.

9. Цель запатентованной технологии – извлечение редкоземельных и благородных металлов из золошлаковых отходов на основе использования биотехнологии [33].

Биотехнология – совокупность промышленных методов, использующих микроорганизмы и биологические процессы для решения искоемых задач.

Традиционные технологии бактериального выщелачивания редкоземельных и благородных металлов из золошлаков включают операции подготовки ЗПО, собственно бактериального выщелачивания (после смешивания подготовленных отходов с выщелачивающими растворами), разделения твердой и жидкой фазы и выделения из жидкой фазы ценных компонентов. Недостаток традиционных технологий – низкое извлечение металлов: редкоземельных – на уровне 40-45%, благородных – на уровне 60%.

Главное отличие запатентованной технологии, обеспечивающее практический успех – использование флотоконцентрата активного ила в качестве эффективной добавки в осветленную жидкость (перед выделением металлов). (Активный ил – совокупность сообщества микроорганизмов и субстрата; по внешнему виду активный ил представляет собой темно-коричневую или черную жидкую массу.)

Детали и особенности технологии:

- подготовка ЗПО на концентрационном столе;
- смешивание концентратов золошлаков с выщелачивающим раствором (представляет собой набор веществ, необходимых для питания клеток микроорганизмов, а также компоненты энергетического субстрата);
- накопление биомассы микроорганизмов рода *Acidithiobacillales*;
- бактериальное выщелачивание редкоземельных металлов в режиме перемешивания от 50 до 1000 об/мин (режим позволяет осуществить доставку питательных веществ для микроорганизмов); в результате жизнедеятельности микроорганизмов происходит разрушение зольных частиц с выделением в раствор редкоземельных и благородных металлов;
- разделение твердой и жидкой фазы (выделение осадка и осветленной жидкости);
- добавление в осветленную жидкость флотоконцентрата активного ила, используемого в течение от 1 до 600 минут после его получения, причем объемное соотношение жидкость: концентрат составляет 1:(0,1-1,5), а сам флотоконцентрат перед добавлением в осветленную жидкость аэрируют с расходом воздуха от 0,1 до 0,3 м³/м² мин. (интенсивность перемешивания флотоконцентрата активного ила с осветленной жидкостью составляет от 50 до 500с⁻¹).

Флотоконцентрат активного ила получают путем флотации суспензии активного ила, образующейся в процессе биологической очистки сточных вод (расход воздуха 1-15% от расхода суспензии активного ила, размер пузырьков воздуха 0,01-0,9 мм). Флотоконцентрат активного ила содержит 10-90% бактерий рода *Pseudomonas* (бактерии, обитающие в реакторах с активным илом).

В результате бактериального выщелачивания извлечение металлов в раствор составляет, %:

- скандий 63-89;
- иттрий 61-72;
- лантан 62-72;
- золото 81-88;
- серебро 79-85.

Эксперименты проведены с использованием ЗШО Кумертаузской ТЭЦ.

10. Цель запатентованной технологии – получение цементного клинкера с использованием ЗШО [34].

Суть и особенности технологии:

- сырьевые компоненты, ЗШО (содержат 16-46% оксида алюминия) и вода смешиваются в процессе измельчения;
- 15-25% образовавшегося шлама обрабатываются в шламовбассейне отходящими из печи газами с температурой 350-450°C (газы пропускают со скоростью 1,5-5 м/с, используя для этого 15-20% от общего объема отходящих газов);
- обжиг в течение 40-50 минут во вращающейся печи всего материала (в т.ч. обработанного отходящими газами);
- охлаждение цементного клинкера до 50-60°C;
- добавка в клинкер материала влажностью 8-13%;
- измельчение клинкера;
- очистка отходящих газов в скруббере.

11. Цель запатентованной технологии – переработка золы-уноса и шлаков угольных ТЭС для получения заполнителей бетонов (производство строительных материалов) [35].

Суть и особенности технологии.

Жидкий шлак или шлаковый расплав (расплавление твердого шлака для получения вяжущего производят в электропечи, температура 1450-1710°C) подвергают быстрому охлаждению воздушно-водяными струями путем аэрогидродинамического распыления жидкого шлака или шлакового расплава (скорость воздушно-водяных струй 250-300 м/с при добавлении воздуха и воды на входе распылительного устройства соответственно 0,5 и 0,6 Мпа).

Полученный твердый гранулированный шлак (в виде стекловидных сфер диаметром 0,1-1 мм) подвергают сухому измельчению (при необходимости – с добавками активатора твердения типа извести или цементного клинкера) и смешивают с золой уноса; твердый мелкогранулированный шлак может быть утилизирован самостоятельно в качестве наполнителя.

Состав смеси:

- зола-уноса 72-81%;
- шлаковое вяжущее 18-9%;
- вода – до 10%;
- добавка активатора твердения гранул – до 0,5%.

Одновременно с интенсивным перемешиванием компонентов осуществляют гранулирование смеси (размер зерен до 5 мм) с последующей термообработкой полученных сырьевых гранул переработанной золы-уноса паром (образуется при охлаждении шлакового расплава) и затем – регулируемым охлаждением готового продукта (время пропарки и регулируемого охлаждения зависит от состава продуктов сжигания угля и скорости достижения прочности конечного продукта).

Технология допускает возможность, при необходимости, сортировки промпродуктов (при обработке шлаков – отделение легкой фракции для получения из нее гранулированного шлака и тяжелой фракции, обогащенной тяжелыми металлами; применительно к золе-уноса возможна её классификация по крупности, а также аэросепарация с целью извлечения недожога).

Выводы по главе 2

1. Золошлаковые отходы (ЗШО) образуются при сжигании угля на ТЭС и являются многотоннажными отходами теплоэнергетики. Хранение ЗШО в отвалах приводит к загрязнению окружающей среды (загрязнению почвы, грунтовых вод, воздушного бассейна). Весьма актуально решение задачи вовлечения ЗШО в хозяйственный оборот.

2. Масштабная утилизация ЗШО традиционно привязана к стройиндустрии и строительству дорог. В перспективе ожидается комплексное использование ЗШО (в частности развитие технологий извлечения металлов). На сегодня степень утилизации ЗШО в РФ – около 10% (например, в Финляндии – до 90%).

3. Сдерживающий фактор повышения уровня и степени утилизации ЗШО – нестабильный состав и свойства ЗШО как техногенного сырья, в связи с чем необходима оптимизация состава ЗШО перед их переработкой и утилизацией, их подготовка к промышленному использованию (на основе применения методов обогащения), а в перспективе – стандартизация ЗШО как сырья для переработки. Качество ЗШО должно удовлетворять требованиям их эффективной переработки и утилизации. Экологические требования не только ставят задачу переработки ЗШО, но и возвращения в производство материалов с улучшенными свойствами.

4. В соответствии с исследованиями Объединенного института высоких температур РАН и другими исследованиями остаточный продукт после выделения из ЗШО магнитного и глиноземного концентрата однороден по составу, в основном состоит из белила и поддается стандартизации. Обогащенная зола характеризуется высоким уровнем строительно-технологических свойств. В то же время современная строительная индустрия – высокотехнологичная отрасль промышленности, и использовать ЗШО без предварительной подготовки малопримемлемо. Технология строительного производства основана на получении экологически чистых материалов с требуемыми свойствами. По-видимому, использование необогащенных ЗШО приемлемо в технологиях захоронения ТКО, в дорожном строительстве, при рекультивации территорий и др. В принципе существует множество технологий и методов переработки ЗШО; добавки ЗШО весьма выгодны и востребованы при получении ряда конструкционных материалов с улучшенными свойствами, для получения высокопрочных цементных смесей. Но при этом качество ЗШО должно соответствовать требованиям их эффективной переработки и утилизации.

5. Рациональная комплексная переработка ЗШО обеспечивает извлечение и получение ресурсноценных компонентов и материалов и соблюдение действующих норм утилизации отходов.

Целесообразность извлечения тех или иных компонентов зависит от рыночного спроса и во многом определяется величиной выхода ценных компонентов – выход должен быть достаточным для реализации масштабной переработки ЗШО как техногенного сырья, реального сокращения количества образующихся и образовавшихся ЗШО и решения в конечном итоге проблемы ЗШО.

6. Организация малоотходной и безотходной переработки ЗШО в полезную продукцию может быть связана в данных технико-экономических условиях с применением технологии извлечения и получения:

- железосодержащего концентрата (магнитная фракция, направляется в металлургическое производство);

- глинозема (дефицитное сырье для производства алюминия);
- белитового шлама (сырье для производства цемента);
- углеродного концентрата (недожог, направляется на сжигание) – его содержание лимитируется ГОСТом;
- концентрата РЗЭ.

Предпочтительный метод удаления из ЗШО недожога – флотация. Хвосты флотации угля – глиноземный (алюмосиликатный) продукт (содержит 3-5% углерода).

При химической переработке алюмосиликатного продукта можно извлечь кремнезем методом растворения его щелочью с получением глиноземного концентрата и раствора силиката натрия. При обработке силиката натрия известью образуется щелочь и белит (дикальциевый силикат Ca_2SiO_4).

Потенциально возможно извлечение из ЗШО редких, рассеянных и благородных металлов (требуется исследование в каждом конкретном случае), а также микросфер.

Упрощенная технологическая схема переработки ЗШО – извлечение магнитной фракции и недожога; хвосты переработки – в производство стройматериалов и дорожное строительство.

7. Основные направления патентования:

- получение обогащенных продуктов для производства строительных материалов;
- извлечение из ЗШО редких, редкоземельных и благородных металлов;
- извлечение алюмосиликатов, микросфер, недожога, черных металлов;
- получение цементного клинкера.

8. Применение золошлаков выгодно с экологической точки зрения не только за счет ликвидации отходов и их вовлечения в хозяйственный оборот, но и как метод снижения содержания углекислого газа в воздухе.

Список литературы

1. Патент ЕС №009278 C09C1/24, 28.12.2007. Способ получения неорганических полицветных пигментов из пиритного огарка// Патент ЕС №009278 C09C1/24, 2006/ Комов А. Г., Поклонский С. Н, Кудачков Е. Г.
2. Патент РФ №2655336 C22B7, 27.11.2015. Способ получения железоксидных пигментов// Патент РФ №2655336 C22B7, 2014/ Бибики Е. Г., Бикбаев А.Ш., Ларин В. К.
3. Патент РФ №2657489 C09C3, 17.04.2016. Способ получения железоксидного пигмента// Патент России №2657489 C09C3, 2015/ Ларин В. К., Бикбаев А. Ш., Бибики Е. Г.
4. Патент РФ №2659505 C22B3, C22B11, 07.10.2016. Способ предобработки пиритных огарков// Патент России №2659505 C22B3, C22B11, 2015/ Ларин В.К., Бикбаев А. Ш., Бибики Е. Г.
5. Патент РФ №2034062 C22B11, 30.04.1995. Способ извлечения благородных металлов из пиритных огарков// Патент России №2034062 C22B11, 1992/ Смирнов И.П.; Водолазов Л.И.; Иванов Г.Ф.; Москвичева Г.И.; Меньшиков Ю.А.; Жиличев М.А.; Грищенко Н.В.; Ясенков В.И.; Чухлебова Т.Д.; Шкляр Е.М.; Яковлев А.П.; Штоллер Я.В.; Блюденков В.Ф.; Нерлов В.А.; Девбилов В.Ф.

6. Патент РФ №2149707 B03D1/00, B03B1, 27.05.2000. Способ переработки пиритных огарков// Патент России №2149707 B03D1/00, B03B1, 1998/ Баков А.А.; Аржанников Г.И.

7. Патент РФ №2394924 C22B7, 20.07.2010. Способ переработки пиритных огарков, содержащих благородные металлы// Патент России №2394924 C22B7, 2009/ Власов О.А., Мечев В. В.

8. Патент РФ №2623948 C22B7, 29.06.2017. Способ комплексной переработки пиритных огарков// Патент России №2623948 C22B7, 2016/ Литвиненко Л. Г., Литвиненко В. Г., Щелконогов М. А., Морозов А. А.

9. Патент РФ №2541262 B24C11, 10.02.2015. Металлокерамическая дробь// Патент России №2541262 B24C11, 2013/ Колпаков В. С., Федосов М.А.

10. Патент РФ №1124594 C22B7, 20.09.2000. Способ переработки пиритных огарков, содержащих благородные металлы// Патент России №1124594 C22B7, 1999/ Ватолин Н.А., Галимов М.А., Корепанова Е.С., Кузнецов П.А., Окунев А.И., Селиванов Е.Н., Сорокин А.А., Чумарев В.М.

11. Патент РФ №2172788 C22B7, 27.08.2001. Способ переработки пиритных огарков// Патент России №2172788 C22B7, 2000/ Шин С.Н., Гуляева Р.И.

12. Патент РФ №2109686 C01F17, 27.04.1998. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса// Патент России №2109686 C01F17, 1996/ Дмитриев А.О., Яковлева Е.Ю., Шемякин В.С., Мартынов А.И.

13. Патент РФ №2158317 C22B3, 27.10.2000. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса// Патент России №2158317 C22B3, 1999/ Лебедев В.Н., Локшин Э.П.

14. Патент РФ №2520877 C22B59, 27.06.2014. Способ переработки фосфогипса для производства концентрата редкоземельных металлов и гипса// Патент России №2520877 C22B59, 2013/ Фокин К. С., Нестерова Е. О.

15. Патент РФ №2520877 C22B59, 27.06.2014. Способ переработки фосфогипса для производства концентрата редкоземельных металлов и гипса// Патент России №2520877 C22B59, 2013/ Фокин К. С., Нестерова Е. О.

16. Патент РФ №2337879 C01F11, 10.11.2008. Способ переработки фосфогипса, содержащего соединения фосфора и лантаноиды// Патент России №2337879 C01F11, 2007/ Локшин Э.П., Гришин Н.Н., Сергиенко В.С., Тареева О.А., Калинин В.Т.

17. Патент РФ №2167105 C01F17, 20.05.2001. Способ извлечения лантаноидов из фосфогипса// Патент России №2167105 C01F17, 2000/ Локшин Э.П., Вершков А.В., Вершкова Ю.А., Маслобоев В.А.

18. Патент РФ №2630072 C22B59, 05.09.2017. Способ обеспечения экологической безопасности производственных отходов в виде фосфогипса с получением двухкомпонентного целевого продукта// Патент России №2630072 C22B59, 2016/ Конов М. А., Хамизов Р. Х.

19. Патент РФ №2599299 C22B59, 10.10.2016. Способ обработки фосфатной породы// Патент России №2599299 C22B59, 2012/ ГИДИ, Томиэль, ЖЕРМО, Алэн, ФАТИ, Дорина.

20. Патент РФ №2258036 C01F17, 10.08.2005. Способ комплексной переработки фосфогипса// Патент России №2258036 C01F17, 2004/ Колокольников В.А., Титов В.М., Шатов А.А.

21. Редкие и редкоземельные металлы: технологии, функциональные материалы и применение. Под. ред. А.С. Буйновского, М.А. Казаряна, В.И. Сачкова, ООО «Издательство НТЛ», 2014г., 495с.

22. Шубов А.Я., Скобелев Д.О., Иванков С.П., Дорожкина И.Г. Аналитическая оценка золошлаковых отходов как техногенного сырья (к обоснованию эко-

логической промышленной политики). //Экология промышленного производства 2018, №3 (103), с. 15-23.

23. *Путилин Е.И., Цветков В.С.* Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог (обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС) //Государственный дорожный научно-исследовательский институт ФГУП «Союздорнии», 2003.

24. *Делицын А.М., Власов А.С., Рябов Ю.В., Самыгин В.А., Галубев Ю.Н.* Комплексное обогащение и переработка золы угольных электростанций в РФ //IX Конгресс обогатителей стран СНГ, 2013, с. 225-230

25. Патент РФ №2476270 В03В9 27.02.2013. Линия для переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций// Патент России №2476270 В03В9, 2011/ Науменко Е.Н.

26. Патент РФ №2607112 С22В7, С22В11, 10.01.2017. Способ извлечения золота из золошлаковых отходов// Патент России №2607112 С22В7, С22В11, 2014 / Чурсина А.А., Кузьминых В.М., Сорокин А.П.

27. Патент РФ №2494816 В03В9, 10.10.2013. Технологическая линия для переработки золошлаковых отходов – продуктов сжигания угольного топлива// Патент России №2494816 В03В9, 2012 / Таскин А.В., Обухов И.В.

28. Патент РФ №2123890 В03В9, 27.12.1998. Линия выделения металла из золошлаковых отходов тепловых электростанций// Патент России №2123890 В03В9, 1997 / Федотов К.В., Потемкин А.А.

29. Патент РФ №2607836 В03В9, 20.01.2017. Установка по обогащению углесодержащих отходов шахт и обогатительных фабрик // Патент России №2607836 В03В9, 2015 / Делицын А.М., Батенин В.М., Власов А.С., Рябов Ю.В.

30. Патент РФ №2588521 В03В9, 27.06.2016. Способ комплексной переработки золошлаковых отходов (варианты) // Патент России №2588521 В03В9, 2015 / Прокопьев С.А., Болотин М.А.

31. Патент РФ №2296624 В03В9, 10.04.2007. Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций// Патент России №2296624 В03В9, 2000 / Машурьян В.Н., Царев В.В.

32. Патент РФ №2657149 С22В, Способ извлечения редкоземельных металлов и скандия из золошлаковых отходов// Патент РФ №2657149 С22В, / Власова Т. В., Величкина Н. С., Калашников А. В., Захаров А. А., Новиков П.Ю., Кольцов В. Ю., Звонарева М. Е., Юдина Т. Б.

33. Патент РФ №2580258 С22В7, С22В11, С22В59, 10.04.2016. Способ бактериального выщелачивания редкоземельных и благородных металлов из золошлаков// Патент России №2580258 С22В7, С22В11, С22В59, 2014/ Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А., Виноградов М.С., Сеник Е.В., Воропаева А.А.

34. Патент РФ №2097350 С04В7, 27.11.1997. Способ получения цементного клинкера// Патент России №2097350 С04В7, 1995/ Потехин С.Н., Кузнецов С.Н., Помазков В.В.

35. Патент РФ №2515786 С04В18, 20.05.2014. Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций для производства строительных изделий// Патент России №2515786 С04В18, 2012/ Ерихемзон-Логвинский А. Ю., Нойбергер Н., Рахлин М. Я., Целыковский Ю. К., Зыков А.М.

*по Отделу научной информации по глобальным проблемам
Всероссийского института научной и технической информации
ВИНИТИ РАН*

1. «Проблемы окружающей среды и природных ресурсов»

В журнале публикуются обзоры и оригинальные работы по широкому кругу проблем связанных с изучением систем окружающей среды, включая вопросы оценки последствий реализации антропогенных сценариев по реконструкции земных покровов и изменения гидрологических циклов. Авторами публикаций являются известные специалисты по исследованию климата, биосферы и гидросферы. В публикациях рассматриваются задачи разработки и применения методов численного моделирования динамики окружающей среды, имея в виду обеспечение возможностей более полного анализа данных наблюдений, рассматриваются ключевые аспекты глобальной экоинформатики. Обсуждаются принципиальные проблемы численного моделирования динамики системы «природа-общество» в глобальных и региональных масштабах. Рассматриваются глобальные биогеохимические круговороты химических элементов, и в частности, углерода в связи с парниковым эффектом. Особое внимание уделяется анализу динамики окружающей среды в Арктике и ее роли в глобальных процессах. Уделяется внимание мониторингу газоконденсатных месторождений морских акваторий и эстуариев и загрязнению морских вод.

2. «Экономика природопользования»

Важная роль в решении проблем устойчивого развития общества отводится научным коммуникациям, позволяющим ознакомиться с последними достижениями в области экономики природопользования широким слоям научной общественности и специалистов-практиков, а также студентам, аспирантам и преподавателям.. Значительный вклад в эти процессы вносит журнал «Экономика природопользования», на страницах которого публикуются результаты исследований в области обеспечения устойчивого развития, безопасности жизнедеятельности и риск-анализа, организации охраны окружающей среды, разработок ресурсосберегающих технологий, региональной экономики.

В журнале публикуются обзоры и оригинальные исследования по экономическим проблемам оптимизации взаимодействия человека и природы с целью поиска эффективных стратегий природопользования, включая разработку оптимальных соотношений между затратами на охрану окружающей среды и доходами от использования природных ресурсов. Авторами

публикаций являются известные специалисты по построению основ концепции управления устойчивым развитием системы природа-общество на базе математического моделирования и информационных технологий.

3. «Научные и технические аспекты охраны окружающей среды»

На страницах этого журнала, в основном, публикуются статьи и обзоры по проблемам отходов, малоотходной и безотходной технологиям.

Быстрый рост населения и экономический рост являются определенными причинами возрастающего истощения наших некогда обильных природных ресурсов. Скорость их истощения быстрее, чем могла бы заменить природа. В то же самое время обрабатывающие отрасли промышленности, загрязняят биосферу и ставят под угрозу выживание и разнообразие многих видов растений и животных. Вредные выбросы в воздух, водные объекты и почву препятствуют восстановлению природных ресурсов. В стремлении удовлетворения нынешних потребностей населения нельзя ставить под угрозу требования будущих поколений. Поэтому использование ресурсов требует устойчивого и комплексного управления отходами, которое является одним из важнейших аспектов использования ресурсов.

Образование отходов является естественным результатом экономической и общественной деятельности хозяйствующих субъектов и потребителей, и оно происходит на протяжении всей истории человечества. С отходами связаны затраты и выгоды – природные ресурсы используются в производственных процессах, а выгоды приобретаются от потребления товаров и услуг. Ключом является обеспечение того, чтобы ценности, которые мы извлекаем из природных ресурсов, не превышали затраты на их использование. Важно также обеспечить оптимальное управление отходами с тем, чтобы затраты общества на обращение с отходами, включая природоохранные затраты, были минимизированы.

4. «Экологическая экспертиза»

На страницах журнала обсуждаются задачи проведения экологической экспертизы при оценке последствий реализации крупномасштабных антропогенных проектов, приводящих к изменению систем окружающей среды. Проведение экологической экспертизы необходимо решать задачи по оценке последствий антропогенных сценариев преобразования элементов окружающей среды. В большинстве случаев это решение реализуется на экспертном уровне, основываясь на опыте, приобретенном в прошлом. В настоящее время все большее внимание уделяется применению новейших информационных технологий, которые позволяют без ущерба окружающей среде рассмотреть самые невероятные сценарии антропогенного вмешательства в природные системы. Особенно это важно при решении глобальных проблем биосферы.

В журнале публикуются материалы по экологическому аудиту. Экологический аудит, широко применяемый в промышленно развитых государствах, наряду с решением задач по снижению экологических рисков, реализации прав граждан на благоприятную окружающую среду и обеспечение экологической безопасности на уровне отдельных организаций, производственных комплексов и территорий, выполняет и экономическую функцию – позволяет вывести предприятия на международные рынки и тем самым повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Рассматриваются вопросы оптимизации систем мониторинга окружающей среды, новые технологии синтеза гибких информационно-моделирующих систем, обеспечивающих экономический эффект при диагностике окружающей среды.

Значительный объем информационных материалов в журнале занимает оценка экологического воздействия, которая является процессом идентификации, количественного определения и оценки потенциальных эффектов, связанных с планированием предложенных действий на среды обитания, виды и экосистемы. Данные оценки могут помочь компетентным органам решать экологические проблемы более успешными методами.

**Уважаемые коллеги! Большая просьба представлять
для опубликования в наши журналы результаты Ваших научных,
научно-исследовательских и производственных разработок.**

*Зав. Отделом научной информации
по глобальным проблемам, к.т.н.*

И.И.Потанов
ipotapov37@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОТХОДЫ. МАЛООТХОДНАЯ И БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Иванков С.И., Троицкий А.В., Скобелев К. Д.</i> Современные тенденции создания технологии переработки и утилизации отходов обогащения горно-обогатительной отрасли	2
<i>Троицкий А.В., Иванков С.И., Скобелев К. Д.</i> Перспективы привлечения техногенных отходов неметаллического сырья в процесс их переработки и утилизации	40
<i>Шубов А.Я., Иванков С.И., Троицкий А.В., Скобелев К.Д., Доронкина И.Г.</i> Запатентованные технические решения в области переработки и утилизации отходов химической и топливно-энергетической промышленности	59
СБОРНИКИ ОБЗОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ	94

Ответственный за выпуск *И.И. Потапов*

ИД № 04689 от 28.04.01	Подписано в печать: 26.04.2021 г.	Гарн. литературная
Бумага “Хероx”	Формат бумаги 60x90 1/16	Печать цифровая
Усл. печ. л. 6,13	Уч.-изд. л. 6,26	Тираж 30 экз.

Адрес редакции: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усневича, д. 20
Тел. (499) 152-5500

Отпечатано в ООО «Типография Форпринт»
г. Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 1, корп. 11. Тел. +7 (495) 211-38-33

ДЛЯ ЗАМЕТОК