

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		Гранулированный шлак, до 2.5		> 57000 (2000)
4		Плавильный цех комбината «Печенганикель»	1945	Действует			
5		Мончегорская ОФ	1935			1978	
6	ООО «Повозёрский ГОК»	ОФ «Карнасурт», поле 1	1951	1987	То же	6700	Nb ₂ O ₅ , Na ₂ O, K ₂ O
7		То же, поле 2	1987	Действует		> 9000 (2000)	
8		ОФ «Умбозеро»	1984	Законсервировано		> 16000 (2000)	
9		ДОФ, основное	1954	Действует		> 422810 (2012)	
10	АО «Олкон»	То же, аварийное		То же		> 9800 (2012)	Fe ₂ O ₃ , на силикат- ный кирпич
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		АНОФ-1 (16 км)	1957	1963	Песок, до 0.02	24000	
14		АО «Апатит»	АНОФ-2	1968	Действует	Песок, до 0.25	> 630000(2012)
15		АНОФ-3	1963	То же	Песок, до 0.25	> 268000(2012)	
16	АО «Ковдорсклада»	Вермикулитовая ОФ	1955	»	Песок, гравий, до 50	5920(1995)	Оливин, вермику- лит, 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 объему 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. Объем 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. Объем добычи дать можно, сроки могут быть только условные.			
2	Сорьинское 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 объемов добычи и сроков возможности нет https://pravdaurfo.ru/articles/158922-sud-obyazal-ugmk-potrati-sothi-millionov-na			

№ пп	Месторождение	Вид ПИ	Запасы по состоянию на 01.01.2019 категорий	
			ABC1	C2
		Вольфрам		
1	Барун-Нарыньское (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.

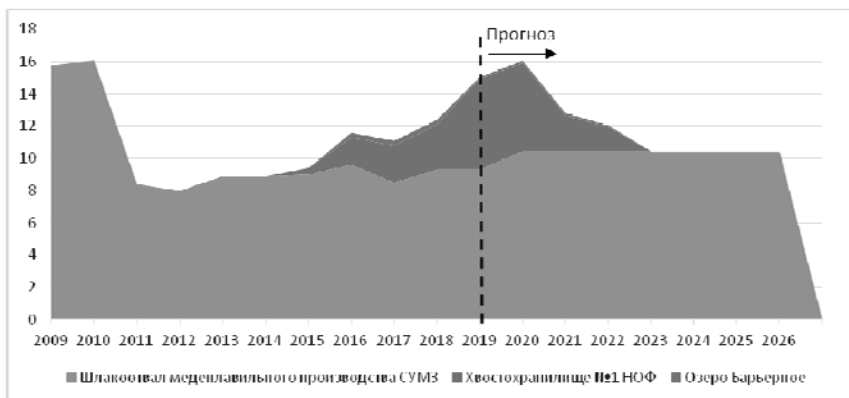


Рисунок 1 Фактическая добыча меди на техногенных объектах в 2009–2018 гг. и прогноз добычи до 2027 г. на основе утвержденных технических проектов разработки

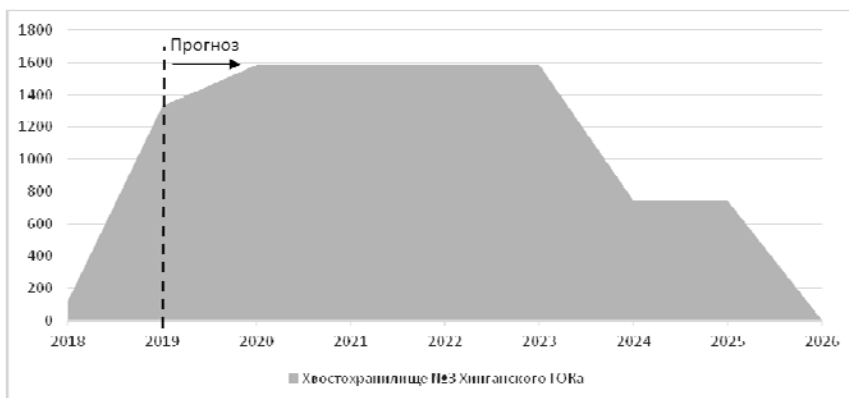


Рисунок 2 Фактическая добыча олова на техногенных объектах в 2018 г. и прогноз добычи до 2026 г. на основе утвержденных технических проектов разработки



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 редкометального 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].

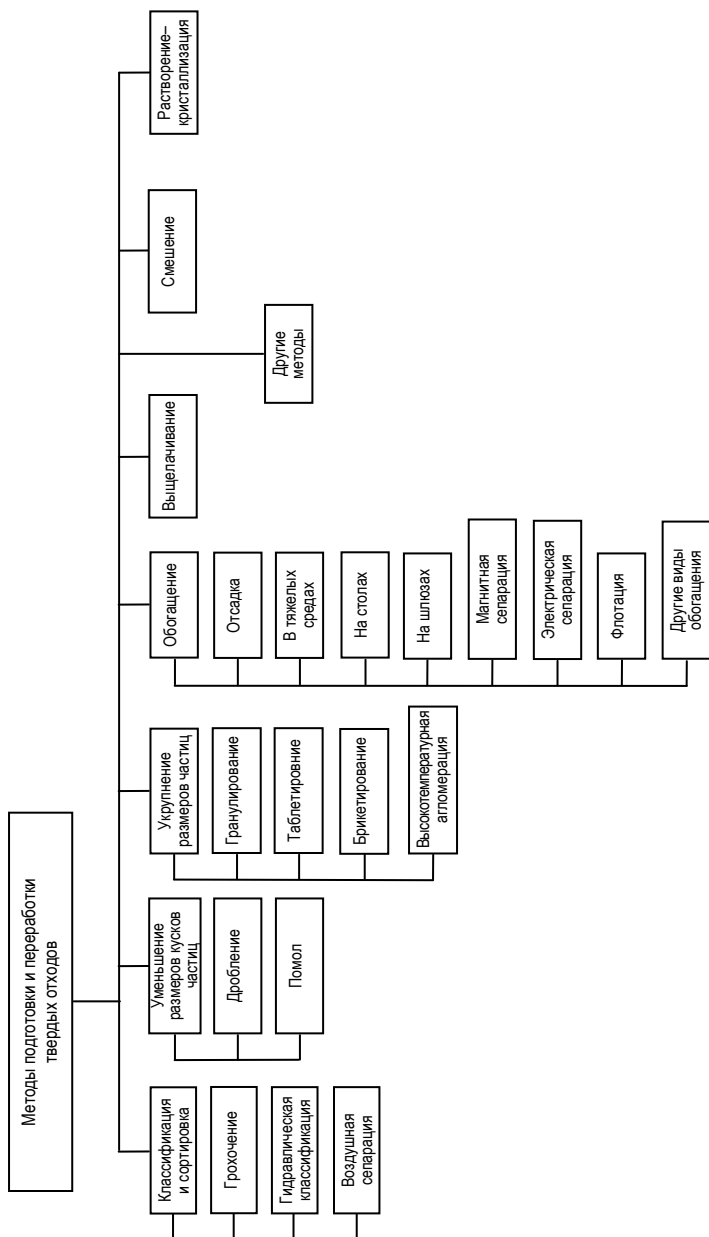


Рис. 4. Классификация методов подготовки и переработки отходов горного производства

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 потерь 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 перечисткой песков 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 золотонизвлекательных фабрик - перерабатывающих руды месторождения Иньтуньпо и месторождения Чин Чаньюй.

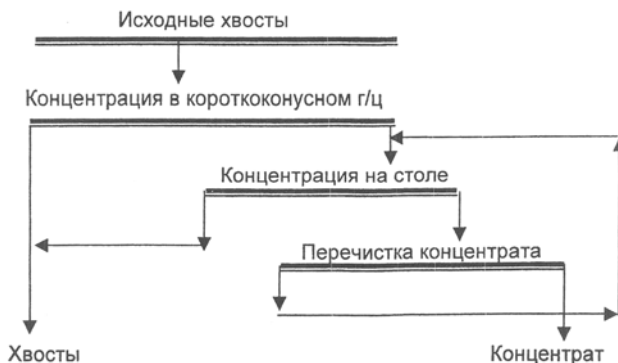


Рис. 5. Технологическая схема переработки техногенных месторождений золота

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 выпелачивание 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 изыскательские 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 серебросодержащие руды, заключающаяся во флотационном извлечении меди и серебра с последующим гравитационным выделением олова из хвостов флотации в оловосодержащие промпродукты и их химической переработкой.

Разработана ресурсосберегающая 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-слюдистых веществ в составе порообразующих минералов. Технология предусматривает совмещение операции измельчения руды с одновременным выпелачиванием окисленных минералов меди сульфатом аммония, последующую флотацию сульфидных минералов и гидрометаллургическую переработку отделенной 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 медьсодержащий 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].

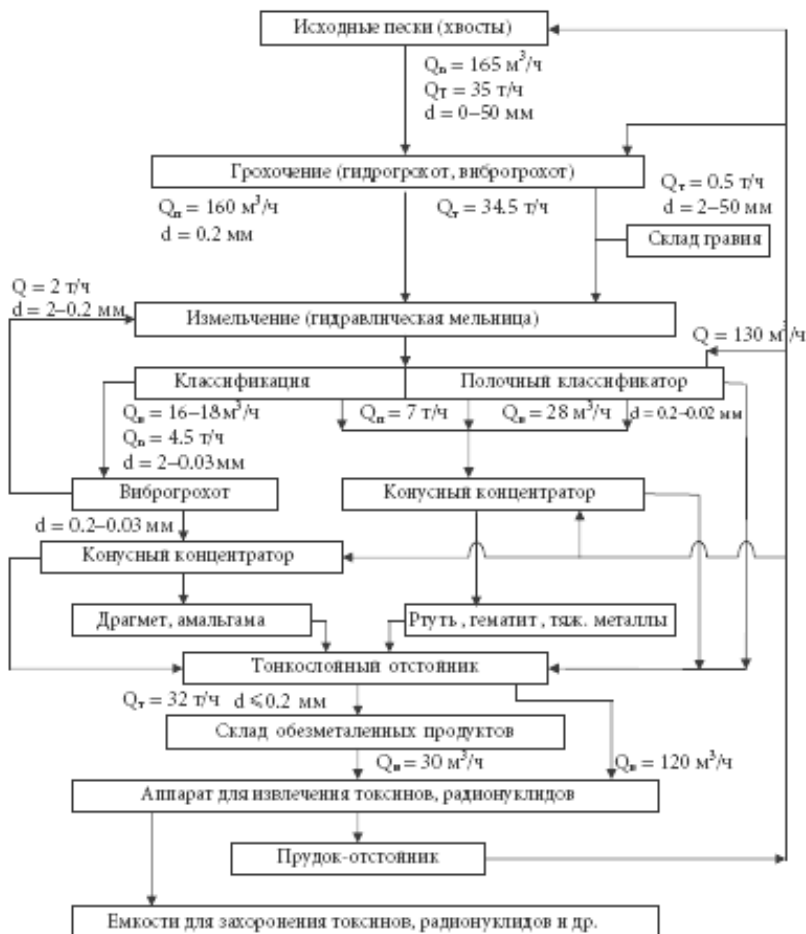


Рис. 6 Схема комплексной безотходной технологии переработки техногенных месторождений (отходов недропользования)

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 Тасгора, 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 обоганительных 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., Кенжашиев 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 вуглезабагачення як енергетичноу сировини в керамічних технологиях. et al. 36. наук, праць ПАТ "УКРНД1 вог-Нерпусіе". 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., Мелкомукова О. Г Худяков С. Г. Исследование процесса обогащения отходов титанового производства. Изв. Вузов. Химия и хим. Технол. 2019. 62, № 3, с. 37- 42. Рус.