

УДК 622.755 + 669.054.8 : 693.542.4  
 DOI 10.17073/0021-3438-2015-3-3-11

## ПЕРЕРАБОТКА ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

© 2015 г. **С.И. Евдокимов, В.С. Евдокимов**

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГМИ)  
 (государственный технологический университет), г. Владикавказ

ООО «Научно-производственное предприятие ГЕОС», г. Владикавказ

*Статья поступила в редакцию 03.11.13 г., доработана 01.04.15 г., подписана в печать 03.04.15 г.*

Приведены результаты исследования возможности утилизации песков хвостохранилища, образованного в результате производственной деятельности 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), потребительскую – нерудная часть (содержит до 65 % кварца и 20–25 % полевых шпатов, хлорита). Утилизацию 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. Отличительной особенностью аппаратного 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. Показана возможность использования нерудной части хвостов в составе закладки выработанного горного пространства, а также в составе асфальтобетонов. Результаты исследования доказывают возможность полной утилизации лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики, что отвечает требованиям ресурсосбережения и экологической реабилитации территорий.

**Ключевые слова:** лежалые хвосты, извлечение сульфидов, гравитационная сепарация, экономическая эффективность, переработка с рудой, флотация, нерудная часть, твердеющая закладка, выработанное горное пространство.

The results of the investigation into the possibility to utilize the sands of tailing storage formed due to the manufacturing activity of the flotation lead–zinc concentration plant are presented. The ore part (average content of Pb is 0,21 %, Zn – 0,50 %, Au – 0,17 g/t) has the recovering value in tailings, and the nonmetallic part (contains up to 65 % quartz and 20–25 % feldspar and chlorites) has the consuming value. Sulfides are utilized into commercial selective concentrates into two stages: (i) a sulfide product is recovered from them by gravitational methods using a module-type mobile installation in the burial place of tailings and (ii) the sulfide product is processed along with the currently mined ore or individually at the stationary plant of flotation technology of the acting production. A distinctive feature of the equipment for the gravitational technology is the use of screw-type separators and steeply inclined closed channels for the separation in thin-layer working zones. The novelty of the flotation technology is in the application of the jet principle of construction of concentration cascades and environmentally safe separation mode based on sodium dimethyldithiocarbamate permanganate. The possibility is shown of using the nonmetallic part of tailings in the composition of backfilling of the developed mining space as well as in the composition of asphalt concretes. The results of the investigation prove the possibility of the complete utilization of old tailings of the lead–zinc concentration plant, which corresponds to requirements of resource saving and environmental rehabilitation of territories.

**Keywords:** old tailings, recovery of sulfides, gravitational separation, economical efficiency, processing with ore, flotation, nonmetallic part, hardening backfilling, developed mining space.

### Введение

В условиях существенного уменьшения балансовых запасов большинства действующих крупных горно-металлургических предприятий актуальной задачей является увеличение полноты и комплексности использования отходов переработки руд. Вовлечение в эксплуатацию техногенного сырья по-

*Евдокимов С.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых СКГМИ (362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, корп. 10). E-mail: eva-ser@mail.ru.*

*Евдокимов В.С. – бакалавр той же кафедры, технолог ООО «НПП ГЕОС» (362035, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Леваевского, д. 253). E-mail: 19-Vadik-93@mail.ru.*

звояет существенно продлить срок службы предприятий, восполняя выбывающие производственные мощности по балансовым запасам руд при росте качественных показателей использования минеральных ресурсов недр [1–5]. Одновременно решаются проблемы экологической безопасности [6, 7]. В современных условиях хозяйствования техногенные отходы, выбранные в качестве объекта исследования, играют важную роль в звене «спрос—предложение».

Одна существенная трудность сдерживает предприятия от освоения техногенных отходов горно-металлургических производств — низкое содержание металлов в хвостах и небольшое количество производимых концентратов в некоторых случаях не позволяют окупить затраты на их производство. Экономически эффективным способом вовлечения в хозяйственный оборот отходов с относительно небольшими запасами металлов является их совместная переработка с рудами текущей добычи, как если бы они представляли собой одно крупное месторождение, обрабатываемое участками. В этих условиях их обобщенная рентабельность обычно становится существенно положительной, суммарные капитальные вложения и эксплуатационные затраты снижаются, но при условии, что прирост запасов при объединении в группу опережает снижение извлекаемой ценности руд.

### Характеристика объекта исследования

Унальское хвостохранилище образовано в результате обогащения на Мизурской обогатительной фабрике (МОФ) по схеме прямой селективной

флотации Pb—Zn-руд Садоно-Згидской группы месторождений. Хвостохранилище (проектная мощность — 4 млн т, площадь землеотвода — 20 га) находится на террасе левого берега р. Ардон в 7 км от МОФ. В настоящее время рудной базой МОФ служат руды Джимидонского месторождения (PCO-Алания).

Для исследований отобраны частные пробы хвостов из 98 скважин с внутренним диаметром 32 мм и глубиной до 8,5 м, пробуренных комплексом типа «Эмпайр» в сухой части хвостохранилища шириной от 45 до 60 м на протяжении 750 м в 14 профилях в азимуте 336° по сети 50×50 м.

Сульфидные минералы хвостов между собой и с нерудными минералами образуют сростки размером до +0,1 мм. Недостаточная степень измельчения руд на фабрике (выход класса (–0,3+0,1) мм составляет более 82 %) обусловила значительные потери золота (45,76 %), цинка (18,93 %), свинца (17,42 %), меди (20,09 %) и железа (26,01 %). Хвосты, как и исходные руды, состоят в основном из кварца, сульфидов (пирит, пирротин, сфалерит, галенит), полевых шпатов, карбонатов (кальцит, анкерит, сидерит, смитсонит, церуссит), слюд (биотит, мусковит, серицит) и хлорита. Подчиненное значение имеют арсенопирит, халькопирит, борнит, самородные элементы (Ag, Au, Bi, As, S), англезит, ильменит, гидроксиды железа, амфиболы, эпидот, апатит, циркон, сфен, анатаз (рутил), магнетит.

Возможные колебания качества хвостов Унальского хвостохранилища отражают данные табл. 1.

Пески Унальского хвостохранилища имеют извлекаемую (по благородным и тяжелым цветным металлам — в порядке убывания: цинк — 45 %,

Таблица 1

Статистические характеристики содержаний металлов в пробах хвостов

Наименование металла	Характеристика распределения						
	Среднее значение, %, (Au – г/т)	Дисперсия	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	Минимальное значение, % (Au – г/т)	Максимальное значение, % (Au – г/т)	Доверительный интервал среднего значения, % (Au – г/т)
Свинец	0,21	0,0141	0,1183	57,14	0,08	0,57	0,14–0,28
Цинк	0,50	0,2063	0,4542	72,58	0,14	0,93	0,35–0,88
Медь	0,04	0,00038	0,0195	48,75	0,01	0,07	0,03–0,05
Железо	7,49	10,9742	3,3127	40,42	4,18	10,78	6,19–10,19
Золото	0,17	0,0028	0,0533	31,29	0,08	0,27	0,14–0,20

сумма золота и серебра — 27 %, свинец — 20 %, медь — 8 %) и потребительскую (по нерудной части) ценность.

В условиях длительного пребывания в относительно агрессивной водной среде хвостохранилища перечисленные минералы, особенно сульфидные, с поверхности частично подверглись окислению и коррозии. Хвосты в основном состоят из частиц размером (–0,5+0) мм с очень небольшим количеством шламово-илистой массы и не нуждаются в процессах предварительной дезинтеграции и обесшламливания.

Установлено [8, 9], что при непродолжительном хранении хвостов из них можно извлечь флотацией в коллективные продукты от 35 до 70 % цветных металлов, но при длительном хранении (>30 лет) в связи с ухудшением фазового состава хвостов флотационное обогащение становится неэффективным, его заменяют металлургическими методами [10, 11], что повышает затраты на переработку.

## Разработка средств и метода решения задачи

Экономическая эффективность вовлечения в хозяйственный оборот лежалых хвостов определяется в основном величиной капитальных вложений и эксплуатационных затрат горного производства в целом. Сэкономить материальные и трудовые ресурсы позволяет применение сборно-разборных обогатительных комплексов модульного типа. Исходя из необходимости минимизации транспортных затрат на перевозку, предварительную переработку песков целесообразно осуществлять по месту их размещения. Сульфидные минералы обладают повышенной плотностью относительно нерудных, что предопределяет возможность использования разницы в этом физическом свойстве для сепарации материала хвостов. В табл. 2 приведен состав технологического оборудования мобильной установки, разработанной и спроектированной для выделения

Таблица 2

**Затраты на технологическое оборудование мобильной модульной установки производительностью 50 м<sup>3</sup>/ч**

№	Основное оборудование			Общая балансовая стоимость, тыс. руб.
	Наименование	Тип	Количество	
1	Земснаряд	Д 110/47 или УГБ-3	1	10 000
2	Вибрационный грохот	ГСС-1,25 или ГИЛ-31	2	1 800
3	Камерный гидроклассификатор	КГ-4 завода «Труд»	4	1 851
4	Винтовой шлюз	ШВ3-1000	42	31 080
5	Концентрационный стол	СКО-15	3	3 330
		СКО-7,5	2	1 554
6	Наклонные каналы гравитационной сепарации в потоках жидкости малой толщины	Аналог «Лавофлюкс»	10	3 418,8
7	Сгуститель:			
	нерудного продукта	СЦ-25	1	25 750
	сульфидного продукта	СЦ-9	1	14 540
8	Вакуум-фильтр	ДУ63-2,5	3	12 320
9	Вакуум-насос	ВВН-50	2	560,6
10	Насос песковый:			
	модуль гравитации	Warman 6/4D-АН	8	4 440
	модуль обезвоживания	Warman 2/1,5B-АН	4	600
11	Дизельная электростанция (560 кВт)	DSA-800	1	10 000
<b>Итого капитальные затраты</b>				<b>121 244,4</b>

Таблица 3

**Себестоимость добычи и переработки 1 м<sup>3</sup> песков хвостохранилища**

№	Статья затрат	Затраты, руб./м <sup>3</sup>
1	Прямые издержки: материалы (по средним ценам, с НДС), энергия и топливо (по действующим тарифам, с НДС)	14,51
2	Общие издержки: административные, производственные, маркетинговые	1,74
3	Затраты на персонал (АУП, основные и вспомогательные рабочие, служба маркетинга) с отчислениями (ставка ЕСН 35,6 % от фонда оплаты труда)	7,07
4	Амортизационные отчисления (средний срок полезного использования оборудования 15 лет)	5,95
5	Плата за пользование кредитом (срок кредитования 6 лет, в т.ч. 20 мес. – инвестиционная фаза, строительные-монтажные работы и организация переработки хвостов)	8,98
6	Налог на добычу полезных ископаемых	–
<b>Итого</b>		<b>38,25</b>

сульфидного продукта из лежалых хвостов Унальского хвостохранилища.

Основу технологии составляют винтовые шлюзы, тяжелую фракцию которых перечищают на концентриционных столах и гидросепараторах в виде крутонаклонных закрытых каналов для поликаскадно-противоточного разделения минерального сырья в потоках жидкости малой толщины [12, 13].

Расчетная себестоимость гидромеханизированной валовой выемки песков из хвостохранилища и сепарации на сульфидную и несульфидную фракции гравитационными методами обогащения приведена в табл. 3.

В структуре себестоимости прямые издержки составляют 37,9 %, затраты на персонал – 18,5 %. Если в смете затрат стационарной обогатительной фабрики стоимость оборудования и строительные-монтажные работы (СМР) составляет соответственно 20 и 80 %, то при сезонном режиме работы мобильной установки (120 дн./год по 20 ч/сут) снижение стоимости СМР (которые не превышают 25 % от стоимости оборудования) за счет увеличения стоимости оборудования втрое приводит к уменьшению общего размера капвложений на 25 %, а срока СМР – в 4–5 раз [14].

Однако небольшая извлекаемая ценность хвостов (10,25 долл. США/т при условном содержании основного металла, рассчитанном путем приведения содержания других металлов к основному, в хвостах 0,25 %) не позволяет окупить капитальные вложения в сколько-нибудь приемлемые сроки. Извлечение металлов из хвостов гравитационными

методами обогащения в коллективный сульфидный продукт обеспечивает возмещение всех затрат на его получение при нулевой рентабельности.

Достижение положительного финансового результата возможно за счет совместной эксплуатации и взаимного субсидирования рентабельного (переработка первичных руд) и низкорентабельного (переработка лежалых хвостов) объектов. Схема организации горно-обогатительных работ включает:

- извлечение из песков хвостохранилища с использованием недорогих гравитационных методов обогащения сульфидного продукта, который по содержанию металлов аналогичен свинцово-цинковой руде Джимидонского месторождения, перерабатываемой на МОФ;

- совместную переработку техногенного сырья и руд текущей добычи на МОФ по технологии действующего производства.

При суммировании запасов первичных руд и техногенного сырья увеличивается производственная мощность предприятия, являющаяся одним из основных технологических факторов, от которого зависит себестоимость добычи и переработки руд: чем она выше, тем меньше эксплуатационные затраты в пересчете на 1 т руды. Положительный кумулятивный экономический эффект при совместной переработке руд и продукта обогащения хвостов достигается [15] в результате роста в  $K_Q$  раз годовой производственной мощности всего комплекса:

$$K_Q = \sqrt[4]{(Q_\Sigma/Q)^3} \quad (1)$$

и увеличения в  $K_T$  раз срока разработки суммарных запасов по сравнению со сроком эксплуатации месторождения первичных руд:

$$K_T = \sqrt[4]{Q_\Sigma/Q}, \quad (2)$$

где  $Q$  — балансовые запасы первичных руд, млн т;  $Q_\Sigma$  — суммарные запасы сырья при совместной эксплуатации, млн т.

## Результаты исследований и их анализ

В табл. 4 приведены результаты выделения из хвостов Унальского хвостохранилища сульфидного продукта с использованием винтового шлюза; тяжелую фракцию винтовой сепарации перечищали на концентрационном столе.

По результатам обогащения 14 проб тяжелой фракции, выделенной из хвостов на винтовом шлюзе, построены кривые обогатимости (в координатах «извлечение металла — выход тяжелой фракции») сульфидов металлов и золота. Из их анализа следует, что для всех металлов наблюдается закономерное увеличение извлечения с ростом выхода тяжелой фракции (наименее выраженной является кривая обогатимости золота). Извлечение сульфидов железа, свинца и меди монотонно повышается во всем диапазоне значений выхода тяжелой фракции. Но извлечение золота является предельным уже при выходе тяжелой фракции 20—25 %, а прироста извлечения цинка не наблюдается при увеличении выхода тяжелой фракции свыше 30 %. С точки зрения извлекаемой ценности металлов выход тяжелой фракции рационально поддерживать на этом уровне.

В сульфидном продукте содержатся благородные, редкие и рассеянные элементы, г/т: 0,5—1,0 Au, 20—30 Ag, 1,22 In, 221 Tl, 1,29 Bi, 6,45 Ga, 1,11 Se, 7,49 Ge, 0,025 % Cd.

Применение винтовых шлюзов в голове процесса позволяет выделить около 70 % массы хвостов в относительно чистую легкую слюдисто-карбонат-полевошпат-кварцевую фракцию, содержащую около 3 % оксидов железа.

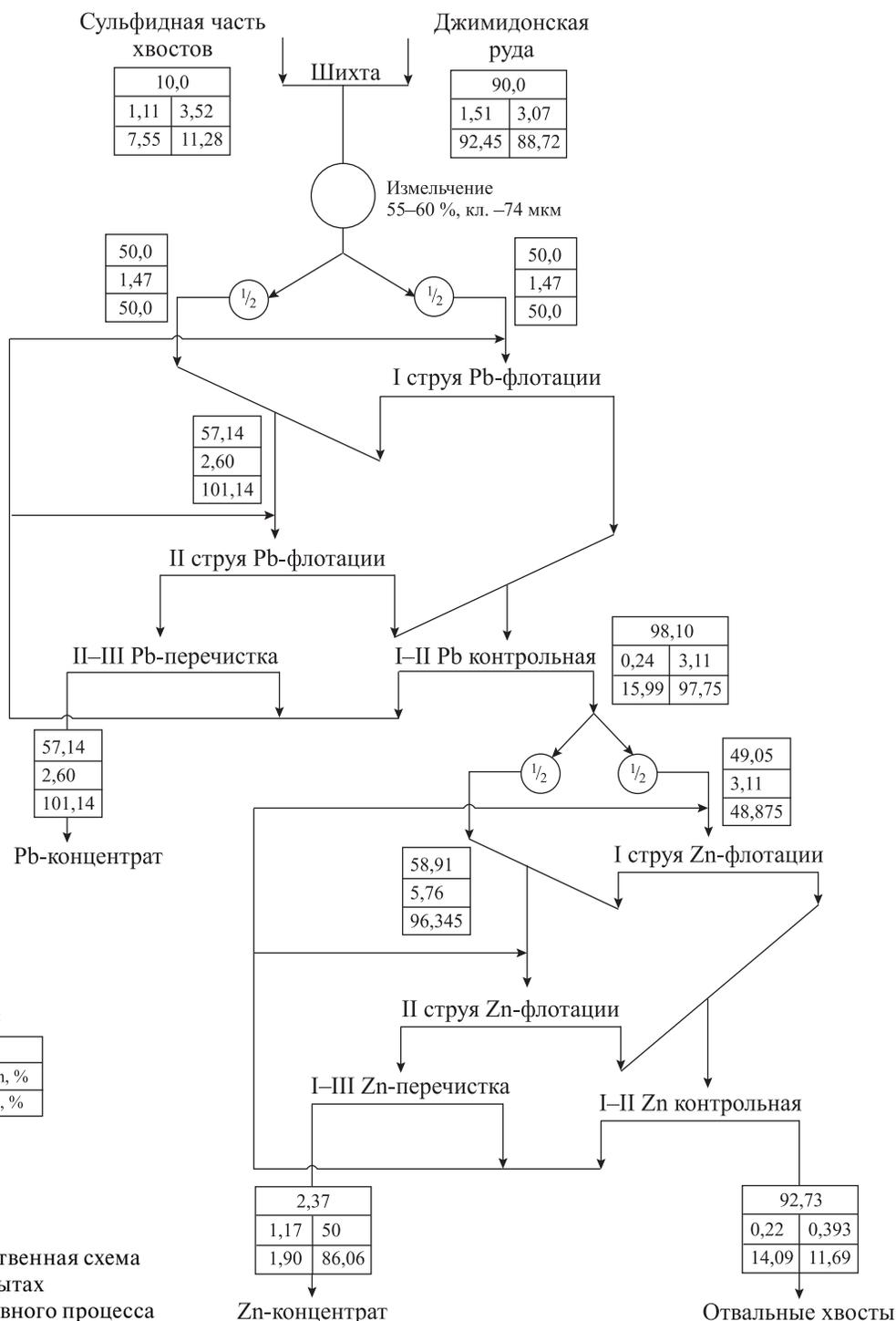
В настоящее время рудной базой Мизурской ОФ является участок Бозанг месторождения Джимидон. Руды перерабатывают по схеме прямой селективной флотации. Их отличительная особенность в том, что основной минерал цинка в них — марматит (железистый сфалерит), флотационные свойства которого с одинаковой эффективностью могут быть подавлены с использованием трех реагентных режимов: цианидного режима Шеридана—Гриссволда (в агитацию перед операцией основной свинцовой флотации подают 50 г/т NaCN и 200 г/т ZnSO<sub>4</sub>; в операцию I Pb-перечистки подают 10 г/т NaCN, а в операцию I контрольной Pb-флотации — 100 г/т ZnSO<sub>4</sub> и 10 г/т NaCN); режима с частичной заменой цианида натрия перманганатом калия (цианид натрия из расчета 10—20 г/т загружают только в операцию I Pb-перечистки, а в агитацию перед операцией основной свинцовой флотации подают 20 г/т KMnO<sub>4</sub>); безцианидного режима (на основе KMnO<sub>4</sub> (20 г/т), ДМДК — диметилдитиокарбамата натрия (200 г/т) [16] и ZnSO<sub>4</sub> (200 г/т)).

В лабораторных условиях по схеме МОФ и с использованием экологически безопасного режима селекции минералов проведены опыты по флотации руд (табл. 5).

Таблица 4

### Результаты гравитационного обогащения песков Унальского хвостохранилища

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %					Извлечение, %				
		Au, г/т	Zn	Pb	Cu	Fe	Au, г/т	Zn	Pb	Cu	Fe
Сепарация хвостов на винтовом шлюзе											
Тяжелая фракция	31,36	0,23	1,06	0,55	0,076	16,99	42,43	87,48	82,13	79,45	73,69
Хвосты-1	68,64	0,14	0,069	0,055	0,009	2,77	57,57	12,52	17,87	20,55	26,31
Перечистка тяжелой фракции винтовой сепарации на концентрационном столе											
Сульфидный продукт	4,39	1,09	5,22	2,71	0,36	38,38	28,15	60,30	56,57	52,68	23,30
Хвосты-2	26,97	0,09	0,38	0,20	0,03	13,51	14,28	27,18	25,56	26,77	50,39
Исходные пески	100	0,17	0,38	0,21	0,03	7,23	100	100	100	100	100



Качественно-количественная схема флотации шихты в опытах по принципу непрерывного процесса

Для опытов по флотации из сульфидного продукта, выделенного из лежалых хвостов, и руды Джимидонского месторождения, взятых в соотношении 1 : 9, была составлена шихта. Установлено, что при таком соотношении продуктов технологические показатели флотации шихты практически не отличаются от показателей флотации руды.

С целью повышения технологических показателей переработки шихты применили схему флотации с новой структурой разделительного каскада (струйную схему флотации). Ее отличительной особенностью является наличие двух секций обогащения, которые движением исходного сырья соединены параллельно, а движением обогащенного продук-

Таблица 5  
**Результаты флотации руд месторождения Джимидон в опыте, проведенном по принципу непрерывного процесса**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Pb-концентрат	1,96	61,70	3,90	80,62	2,55
Zn-концентрат	5,03	1,20	49,43	4,02	82,88
Отвальные хвосты	93,01	0,25	0,47	15,36	14,57
Исходная руда	100,0	1,50	3,00	100,0	100,0

Таблица 6  
**Результаты селективной флотации сульфидного продукта в опыте, моделирующем замкнутый цикл**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Pb-концентрат	3,48	67,70	2,83	86,94	1,89
Zn-концентрат	8,62	2,00	53,77	6,36	88,79
Отвальные хвосты	87,90	0,21	0,55	6,70	9,32
Исходный сульфидный продукт	100,0	2,71	5,22	100,0	100,0

Таблица 7  
**Состав и свойства закладочной смеси на основе отходов обогащения лежалых хвостов**

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			Предел прочности при сжатии, МПа, кубов с размером грани 70 мм при длительности твердения, сут (по ГОСТ 10180-78 и 5802-78)				Плотность, т/м <sup>3</sup>
Цемент ПЦ 300 Д0	Хвосты	Вода	3	7	28	90	
100	1470	400	1,35	2,90	5,29	6,62	1,92

та — последовательно: обогащенный продукт, выделенный из 1/2 части исходного сырья, смешивают со второй 1/2 его частью и выделяют готовый черновой концентрат, что гораздо выгоднее с точки зрения производительности всей установки, полноты выделения ценного продукта, непрерывности процесса, чем работа на одной секции обогащения [17–20]. По результатам флотации шихты в опытах, моделирующих замкнутый цикл, составлена качественно-количественная схема (см. рисунок).

Из сравнения результатов флотации руды по фабричной технологии (см. табл. 5) и шихты по схеме струйной флотации (см. рисунок) следует, что во втором случае извлечение металлов в одноименные концентраты выше (свинца — на 3,39 %, цинка — на 3,18 %) за счет снижения их потерь с отвальными хвостами.

С целью определения возможного уровня сквозного извлечения металлов из лежалых хвостов в селективные концентраты по вышеприведенной схеме (см. рисунок) проведены опыты по флотации сульфидного продукта без подшихтовки к руде (табл. 6).

Из результатов исследования флотиремости сульфидной части лежалых хвостов следует, что из нее могут быть выделены селективные концентраты с высокими технологическими показателями: в свинцовый концентрат марки КС2-А может быть из-

влечено (от исходных песков) 49,18 % Pb, в цинковый концентрат марки КЦ-2 — 53,54 % Zn.

Таким образом, сульфидный продукт, выделенный из лежалых песков хвостохранилища, по своему вещественному составу и технологическим свойствам может быть отнесен к качественному свинцово-цинковому сырью, которое может быть переработано самостоятельно или в виде добавки к руде.

В свинцовый концентрат извлекается, %: 32,71—37,45 Au, 65,42—74,90 Ag, 35,29—64,20 Bi; в цинковый концентрат — 51,40—58,85 In, 7,01—8,03 Tl, 20,56—23,54 Ga, 10,28—11,77 Se, 6,54—7,49 Ge, 67,77—77,57 Cd.

Повышение инвестиционной привлекательности проекта вовлечения в хозяйственный оборот лежалых хвостов возможно за счет утилизации их нерудной части, выделяемой при гравитационном обогащении хвостов.

В структуре себестоимости добычи руд стоимость закладки выработанного пространства достигает 30 %, а себестоимость 1 м<sup>3</sup> закладки пустот составляет 20—30 руб. Использование хвостов обогащения в составе закладки в подземных выработках рудников позволяет снизить себестоимость добычных работ на 20—40 % [21—23]. Установлено, что прочность закладочной смеси на основе отходов обогащения лежалых хвостов достаточна [24—26] для поддержа-

ния выработанного горного пространства и вмещающих пород в условиях объемного сжатия (табл. 7).

Выполнена оценка полученных на основе отходов переработки лежалых хвостов асфальтобетонов. Установлено, что отходы по основным характеристикам не уступают, а в ряде случаев, по отдельным характеристикам по ГОСТ Р 52129 (крупности, набуханию, водостойкости и др.), превосходят широко используемые в асфальтобетонных смесях и покрытиях всех типов (согласно ГОСТ 9128) минеральные порошки из молотых горных пород.

## Выводы

1. Из результатов исследования вещественного состава лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики следует, что они имеют извлекаемую (по благородным и тяжелым цветным металлам) и потребительскую (по нерудной части) ценность.

2. С использованием гравитационных методов обогащения из лежалых хвостов в тяжелую фракцию извлечено 56,57 % Pb, 60,30 % Zn, 28,15 % Au, что является высоким технологическим результатом, но не обеспечивает положительной экономической эффективности. Снижение суммарных капитальных, эксплуатационных и организационных затрат возможно при совместной эксплуатации лежалых хвостов и руд текущей добычи.

3. При обогащении тяжелой фракции, выделенной из хвостов, и руд Джимидонского месторождения по технологии действующего производства Мизурской ОФ получены товарные свинцовый (с содержанием 65 % Pb при извлечении 84,01 % Pb) и цинковый (с содержанием 50 % Zn при извлечении 86,06 % Zn) концентраты. Доказано, что применение в схеме струйного противоточного движения исходного питания и чернового концентрата обеспечивает повышение извлечения металлов за счет уменьшения потерь с хвостами; из тяжелой фракции гравитации был выделен свинцовый концентрат марки КС2-А (с извлечением от исходных песков 49,18 % Pb) и цинковый концентрат марки КЦ-2 (с извлечением от исходных песков 53,54 % Zn).

4. Обоснована возможность повышения эколого-экономической эффективности утилизации лежалых хвостов за счет использования нерудной части хвостов в составе закладки выработанного горного пространства, а также в асфальтобетонных смесях.

## Литература

1. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горн. журн. 2013. № 12. С. 29—33.
2. Ayeni F.A., Lbitoye S.A., Adeleke A.A. Evaluation of a magnetic-gravity processing route to recover columbitite from Jos Minesfield tailings dump, Nigeria // J. Mining Metall. Sect. A: Mining. 2012. Vol. 48 A. P. 143—151.
3. Chen Y., Mariba E.R., Van Dyk L., Potgieter J.H. A review of non-conventional metals extracting technologies from ore and waste // Int. J. Miner. Process. 2011. Vol. 1. P. 1—7.
4. Nam K.S., Jung B.H., An J.W. et al. Use of chloride-hypochlorite leachants to recover gold from tailings // Int. J. Miner. Process. 2008. Vol. 86, iss. 1-4. P. 131—140.
5. Valderrama L., Rubio J. Unconventional column flotation of low-grade gold fine particles from tailings // Int. J. Miner. Process. 2008. Vol. 86, iss. 1-4. P. 75—84.
6. Kashinath P., Harsha V., Mangalpady A. Investigation of contaminant transport in groundwater from the tailings pond of uranium mine: a case study // Int. J. Mining Miner. Eng. 2010. Vol. 2, № 4. P. 290—309.
7. Poling G.W. Mining/milling processes and tailings generation // Marine Geores. Geotechnol. 1995. Vol. 13, № 1—2. P. 19—31.
8. Квитка В.В., Кушакова Л.Б., Яковлева Е.П. Переработка лежалых хвостов обогатительных фабрик Восточного Казахстана // Горн. журн. 2001. № 9. С. 57—61.
9. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России // Горн. журн. 2007. № 2. С. 2—7.
10. Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е., Шрадер Э.А. и др. Прогрессивные (экологически значимые) технологии переработки медно-цинкового минерального сырья техногенных месторождений: проблемы и решения // Инж. экология. 2004. № 5. С. 3—11.
11. Шадрунова И.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование интенсивных низкотемпературных процессов выщелачивания некондиционных медьсодержащих георесурсов. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. М.: ИПКОН РАН, 2003.
12. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Ликвидация накопленного экологического ущерба путем утилизации лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики // Экология и пром-сть. 2014. Август. С. 8—13.
13. Панышин А.М., Евдокимов С.И., Солоденко А.А. Минералургия. В 2-х т. Т. 1. Золото: теория и промысел. Владикавказ: ООО НПБК «МАВР», 2010.

14. *Фролов О.М.* Малые горные предприятия в системе горнодобывающей промышленности: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб.: Санкт-Петерб. гос. ун-т экономики и финансов, 2004.
15. *Пешкова М.Х., Мацко Н.А., Харитонов М.Ю.* Оценка возможностей повышения доступности близко расположенных россыпных месторождений за счет их совместной разработки // Горный информ.-аналит. бюл. 2007. С. 29—35
16. *Глинкин В.А.* Исследование и разработка процесса селективной флотации полиметаллических серебро-содержащих руд с применением диметилдитиокарбамата натрия: Дис. ... канд. техн. наук. М.: Гинцветмет, 2004.
17. *Евдокимов С.И., Дациев М.С., Подковыров И.Ю.* Разработка новой схемы и способа флотации руд Олимпиадинского месторождения // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2014. № 1. С. 3—11.
18. *Евдокимов С.И., Дациев М.С., Подковыров И.Ю.* Гравитационное разделение в условиях специально формируемого высокого содержания металлов в исходном сырье // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2014. № 2. С. 3—9.
19. *Евдокимов С.И.* Совершенствование технологических схем отсадки и концентрации на столах при обогащении золотосодержащего сырья // Горн. журн. 2013. № 12. С. 59—62.
20. *Гершенкоп А.Ш., Мухина Т.Н., Артемьев А.В.* Применение «струйной» флотации для переработки бедных по апатиту руд Партомчоррского месторождения // Сб. матер. IX Конгр. обогатителей стран СНГ (26—28 февр. 2013 г.). М.: МИСиС, 2013. Т. 1. С. 156—160.
21. *Пешков А.М.* Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений Урала: Дис. ... канд. техн. наук. М.: ИПКОН РАН, 2014.
22. *Порцевский А.К.* Геохимическое обоснование выбора технологии подземной добычи руды с последующим использованием пустот: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. М.: Росс. гос. геологоразв. ун-т, 2007.
23. *Kwak M., James D.F., Klein K.A.* Flow behavior of tailings paste for surface disposal // Int. J. Mining Miner. Eng. 2005. Vol. 7, iss. 3. P. 139—153.
24. *Пакулов В.В.* Совершенствование технологии выемки маломощных крутопадающих жил на основе малогабаритных самоходных машин (на примере Дарасунского золоторудного месторождения): Дис. ... канд. техн. наук. Чита: Читинский гос. ун-т, 2010.
25. *Choudhary B.S., Kumar S.* Underground void filling by cemented mill tailings // Int. J. Mining Sci. Technol. 2013. Vol. 23, iss. 6. P. 893—900.
26. *Darweesh H.H.M., El-Meligy M.G.* Pulp white liquor waste as a cement admixture. Pt. I // Amer. J. Mining Metall. 2014. Vol. 2(4). P. 88—93.