

УДК 553.08; 553.493.43; 622.7

**ПОТЕНЦИАЛ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ
КАК ИСТОЧНИКА БАРИТОВОГО СЫРЬЯ**

**А. Ш. Шавекина^{1,2}, С. С. Волынкин¹, В. П. Бондаренко^{1,2},
С. Б. Бортникова¹, Н. В. Юркевич¹**

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
E-mail: khusainovaas@ipgg.sbras.ru, просп. Академика Коптюга, 3, 630090, г. Новосибирск, Россия

²Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
просп. Академика Коптюга, 3, 630090, г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены возможности использования хвостохранилищ Талмовские пески и Урской отвал Кемеровской области в качестве техногенного объекта для получения баритового сырья посредством добычи и переработки. Оценены минералого-геохимические параметры и типоморфные характеристики барита согласно морфологии, минеральным ассоциациям, содержанию, распределению по гранулометрическим фракциям. Проведены технологические исследования и получены баритовые концентраты из вещества хвостохранилищ методами гравитации и флотации, которые охарактеризованы на соответствие по содержанию барита для дальнейшего применения в качестве утяжелителей буровых растворов по ГОСТ 4682-84. Выполнена оценка потенциала хвостохранилищ Талмовские пески и Урской отвал применительно к извлечению барита.

Баритоносность, барит, ресурсы, гравитация, флотация, баритовое сырье, техногенные объекты

DOI: 10.15372/FTPRPI20240411

EDN: OJHWPI

Эффективное использование и повторная переработка техногенных месторождений — значимая проблема России и мира в целом [1 – 6]. Ее решение возможно с помощью комплексных исследований: при корректной оценке объемов техногенных объектов, ресурсов ценных и токсичных компонентов, определении форм нахождения минералов (исходных и образованных в результате переотложения), выявлении условий их концентрирования вследствие протекающих геохимических процессов.

В России баритовое минеральное сырье является критическим товарным продуктом [7, 8]. После распада СССР большая часть источников барита оказались в Казахстане и Грузии, поэтому поиск и оценка баритовых месторождений на отечественной территории актуальны.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-27-00340, <https://rscf.ru/project/23-27-00340>.

Предприятия, перерабатывающие полиметаллические руды с получением концентратов Au, Ag, Cu и Zn, обычно отказываются от попутного производства баритового концентрата в связи с дополнительными расходами на доведение его до приемлемых кондиций [9]. Перспективной представляется возможность освоения техногенных месторождений барита, образованных на обогатительных фабриках, извлекавших сульфидные и баритовый концентраты с существенными потерями. В данном случае хвосты компактно находятся на дневной поверхности. При их разработке уменьшаются эксплуатационные расходы по добыче и дроблению рудной массы, доведению баритовых концентратов до требуемой кондиции [8, 10, 11]. В [12–18] выполнены технологические исследования и разработаны патенты, посвященные вопросам обогащения методами гравитации, флотации и пирометаллургии для получения баритового концентрата, соответствующего требованиям промышленности. При этом до сих пор не разработана оптимальная технология и схемы получения баритового концентрата из лежалых отходов.

Цель настоящей работы — анализ перспективности техногенных объектов на примере хвостохранилищ Салаирских и Урских месторождений как потенциальных источников баритового сырья. В процессе исследования решались следующие задачи: изучение минералогеохимических особенностей техногенных объектов и баритового концентрата; подбор рациональной схемы обогащения с получением кондиционного концентрата; оценка физико-химических свойств концентратов на соответствие пригодности применения для приготовления буровых растворов; мониторинг ресурсного потенциала техногенных объектов.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования — хвостохранилище Талмовские пески и Урской отвал — техногенные объекты, образованные в результате переработки барит-полиметаллических месторождений Салаирского и Урского рудных полей (Салаирский кряж, Кемеровская область). Месторождения отрабатывались в 1930–1975 гг. на благородные (Au, Ag) и цветные (Cu, Zn, Pb) металлы с применением при обогащении методов гравитации, флотации и цианирования. Геологическое строение, морфология и вещественный состав рудных тел, последовательность минералообразования описаны в [19, 20].

Хвостохранилище Талмовские пески относится к намывному типу отвалов, сформированного в запруженном дамбой русле реки Малой Талмовой в виде ленты протяженностью 7 км и шириной ~ 30 м, мощность отложений до 3 м. В нем складированы переработанные руды месторождений Салаирского рудного поля. Строение хвостохранилища Талмовские пески характеризуется большой неоднородностью по вертикали, обусловленной гетерогенным составом складировуемых отходов. Отложения в разрезах представлены субгоризонтальными слоями от светло-желтого, серого до буро-коричневых цветов разной степени окисленности. Усредненный минеральный состав складированных отходов, %: кварц — 66; кальцит — 11; барит — 9; альбит — 4; мусковит — 3; хлорит — 2; сульфиды — 5. Среди сульфидов преобладает пирит (75–90 %), сфалерит (8–19 %), галенит (2–14 %), а также отмечены единичные зерна халькопирита, арсенопирита и блеклой руды [21].

Урский отвал представлен переработанными рудами Ново-Урского барит-полиметаллического колчеданного месторождения, складированными в виде двух насыпных отвалов. Один из них представлен кварц-баритовой сыпучкой, т. е. отходами цианирования верхней части зоны окисления, и характеризуется зональным строением, в разрезе выделяются четыре макроскопических горизонта [22]. Сульфиды составляют небольшую долю (3–5 %), нерудная

часть представлена кварцем (50–55 %), баритом (10–13 %), мусковитом с парагонитом (10–15 %), хлоритом со смектитом (5–10 %), калиевым полевым шпатом (5 %). Из вторичных минералов преобладает ярозит (5 %), каолинит (5 %), гетит (5 %). Отмечены следы гипса, ангидрита, сидерита, рутила. Второй отвал сложен кварц-пиритовой сыпучкой, в строении отвала неоднородностей не наблюдается. Основные минералы вещества отвала, %: кварц — 30–35; барит — 30–40; пирит — 15–20; слюда — 5; смектит — 5; следы парагонита и ярозита.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для минералого-технологических исследований с каждого объекта исследования брались технологические пробы массой 20 кг (3 шт.). Материал отбирался из стенок обнажений и шурфов с пересечением всех визуально различающихся слоев на глубину около 2 м от поверхности. Более подробное описание шурфов и обнажений представлено в [11, 22].

Содержание порообразующих и примесных элементов Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn, Ba определялось методом рентгенофлуоресцентного силикатного анализа (РФА) в аналитическом центре ИГМ СО РАН на спектрометре ARL-9900XP (Thermo Fisher Scientific Ltd, США). Содержание барита BaSO_4 рассчитывалось исходя из содержаний BaO по результатам РФА. Гранулометрический анализ технологических проб проводился с помощью набора из восьми сит с размерами отверстий: 1, 0.5, 0.315, 0.25, 0.16, 0.1, 0.071, 0.005 мм. Содержания основных оксидов в классах крупности получены методом РФА. Минеральные ассоциации и химический состав минералов исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira 3LMU (Tescan, Чехия) с энергетическим спектрометром Oxford (Oxford Instruments, Великобритания) в режимах вторичных и обратно-рассеянных электронов при разных увеличениях (ускоряющее напряжение электронного пучка 20 кВ).

Содержание барита в образцах определялось двумя методами. В качестве скринингового метода для полуколичественной оценки содержания барита в исходных образцах и в образцах, полученных в ходе исследования обогатимости, использовался РФА-анализ, для которого характерны высокие погрешности и некоторое завышение результатов. С помощью арбитражного метода (гравиметрического определения по ГОСТ 30240.0-95) оценивалось содержание барита в полученных баритовых концентратах. В настоящей работе по получению баритовых концентратов, пригодных для применения в нефтегазовой промышленности в качестве утяжелителей буровых растворов, опробованы методики анализа баритового концентрата по ГОСТ 4682-84 и ГОСТ 30240.0-95. Проанализированы промежуточные продукты гравитационного обогащения баритового концентрата на содержание сернокислого бария, водорастворимых солей, pH водной вытяжки согласно методам анализа, описанным в ГОСТ 30240.0-95.

Технологические исследования обогатимости гравитационными методами проводились на материале хвостохранилища Талмовские пески (проба ПР 2/1) и переработанных руд кварц-баритовой сыпучки Урского отвала (проба ПР 1/1). Вещество переработанных руд кварц-пиритовой сыпучки (проба ПР 1/2) обогащалось флотационным методом. Гравитационное обогащение выполнялось на лабораторной отсадочной машине МОД 0.02 СКЛ (ЗАО «ИТОМАК») и лабораторном концентрационном столе ЭКЦ-30 (ОАО «Завод Труд»). Флотационные опыты осуществлялись с помощью флотационной машины ФМЛ-12 (НПК «Механобр-Техника»). Для гранулометрического анализа классов > 0.16 мм использовался ситовой анализатор ПЭ-6700 (ООО «Экротех»).

Основа для подсчетов ресурсов на хвостохранилищах — геохимико-геофизические данные, полученные на объектах исследования за 2017–2021 гг. Площадь и мощности техногенных отложений рассчитывались интерпретацией геоэлектрических разрезов, полученных методом электротомографии. Более детально методика описана в [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав оксидов силикатной группы в веществе изучаемых хранилищ представлен в табл. 1. Барит имеет цвет от молочно-белого, прозрачного до желтовато-белого. Размерность зерен 1–300 мкм. По морфологии встречаются зерна игольчатого габитуса, обломки неправильной формы, вытянутые зерна овальной формы, таблитчатые и пластинчатые кристаллы. Отмечены сростания барита с пиритом, галенитом, ангидритом и кварцем. Барит часто покрыт пленками ярозита с мусковитом [22].

ТАБЛИЦА 1. Химический состав проб по данным рентгенофлуоресцентного силикатного анализа, %

Компонент	Урской отвал кварц-баритового состава (проба ПР 1/1)	Урской отвал кварц-пиритового состава (проба ПР 1/2)	Хвостохранилище Талмовские пески (проба ПР 2/1)
SiO ₂	61.00	24.00	41.80
TiO ₂	0.40	0.50	0.20
Al ₂ O ₃	5.60	0.80	3.40
Fe ₂ O ₃	8.30	18.00	6.20
MnO	<0.01	<0.01	0.10
MgO	<0.05	<0.05	0.70
CaO	0.20	0.10	3.70
Na ₂ O	0.50	<0.05	0.10
K ₂ O	0.90	0.10	0.60
P ₂ O ₅	<0.01	<0.01	0.10
BaSO ₄	20.00	43.00	39.00
LOI	3.10	13.50	4.10
Всего	100.00	100.00	100.00

Примечание. Содержание BaSO₄ получено расчетным путем из значений BaO.

Для хвостохранилища Талмовские пески среднее содержание BaSO₄ по разрезу составляет 39 % (табл. 1). Выделяются горизонты с содержанием BaSO₄ до 68 %, характерные для серого (слабоокисленного) вещества. Цвет барита преимущественно белый, реже бесцветный или рыжий за счет вторичных железистых фаз. Зерна размером 1–400 мкм имеют неправильную, реже пластинчатую и таблитчатую форму. Встречаются массивные однородные зерна, а также хрупкие и трещиноватые. Отмечены сростания барита с кварцем, доломитом, апатитом, сульфидами (пиритом, халькопиритом); часто барит покрыт пленками плюмбоязрита, смитсонита, плюмбогуммита и пироморфита. В барите наблюдаются включения пирита, галенита и его вторичных минералов (англезита и церуссита) [11].

Основная задача технологических исследований — выявление принципиальной возможности получения баритовых концентратов, соответствующих стандартам, установленным для утяжелителей буровых растворов (ГОСТ-4682-84). Результаты исследований обогатимости относятся непосредственно к отобранным пробам и, учитывая неравномерное распределение полезного компонента, могут корректироваться при детальном пробоотборе со всей площади хвостохранилищ.

Для определения ситовых показателей материала проб и характера распределения BaSO_4 по классам крупности выполнен гранулометрический анализ по девяти классам крупности (рис. 1). Для проб ПР 1/1, ПР 1/2 из Урских отвалов отмечено значительное количество класса +1 мм: 12 % для отвала кварц-пиритового состава (ПР 1/2) и 24 % для отвала переработанных руд кварц-баритового состава (ПР 1/1). Выявлены относительно высокие выходы тонкого класса –0.005 мм. Превышение содержания BaSO_4 над выходом классов отмечается при крупности –0.25 мм. Для технологической пробы из хвостохранилища Талмовские пески характерны низкие выходы классов +0.25 и –0.071 мм. Основное количество материала (58 %) имеет крупность 0.25–0.071 мм, что составляет более 86 % всего BaSO_4 .

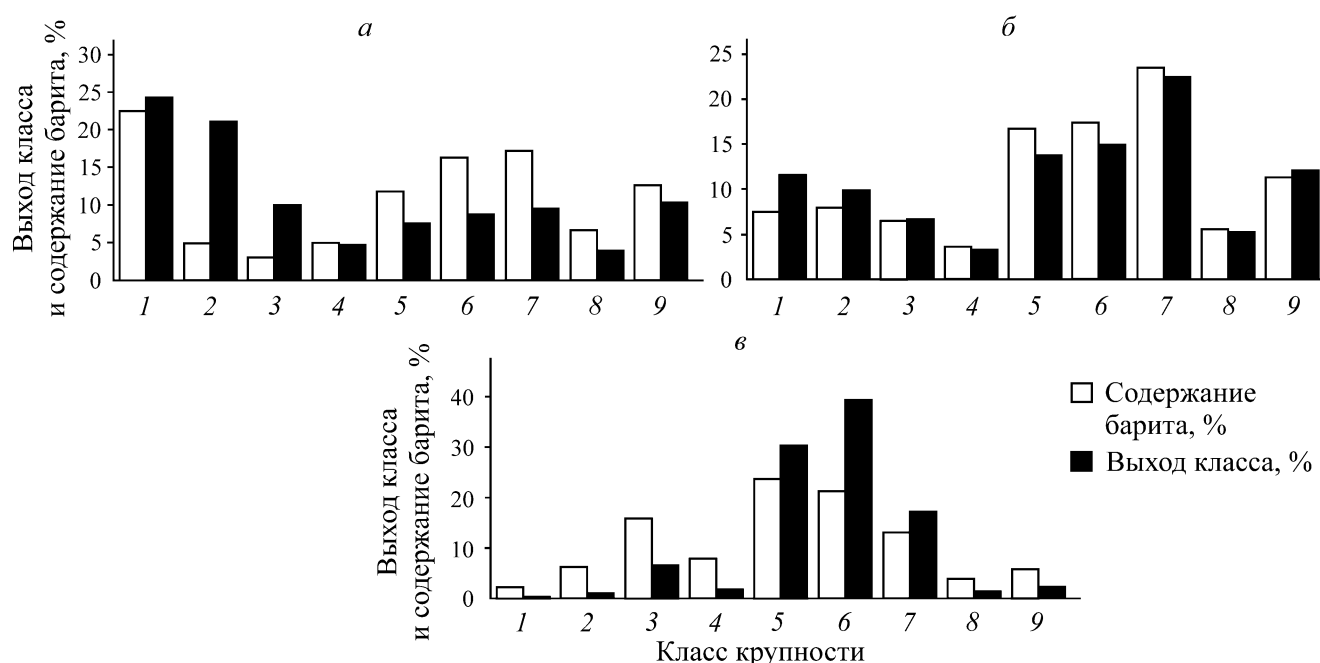


Рис. 1. Распределение барита в пробах ПР 1/1 (а), ПР 1/2 (б) и ПР 2/1 (в) по классам крупности, мм: +1 (1); –1 ÷ +0.5 (2); –0.5 ÷ +0.315 (3); –0.315 ÷ +0.25 (4); –0.25 ÷ +0.16 (5); –0.16 ÷ +0.1 (6); –0.1 ÷ +0.071 (7); –0.071 ÷ +0.005 (8); –0.005 (9)

Гравитационное обогащение проводилось в два этапа. На первом материал поступал в отсадочную машину с размером отверстий решета 1 мм и искусственной постелью из стальной дробы. Концентрат отсадочной машины доизмельчался в шаровой мельнице до крупности –0.25 мм и подавался на концентрационный стол. Концентрат стола с повышенным содержанием сульфидов и оксидов железа, а также хвосты гравитации отправлялись в отвал вместе с хвостами отсадки. Конечный продукт обогащения на концентрационном столе — промпродукт баритовый концентрат. Масса навесок исходного материала крупностью –3 мм составляла 5000 г для каждой пробы. Фракция +3 мм представлена в основном щепой и породами с бортов хвостохранилища и интереса не представляет. Схема обогащения проб показана на рис. 2.

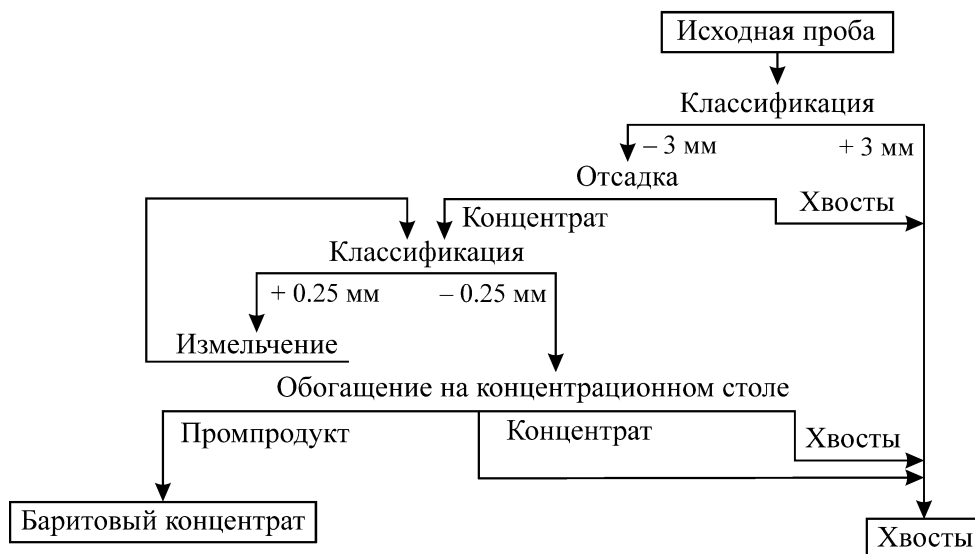


Рис. 2. Схема гравитационного обогащения

Результаты гравитационного обогащения представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты гравитационного обогащения проб ПР 2/1 и ПР 1/1, %

Проба	Продукт	Выход	Содержание BaSO_4	Извлечение BaSO_4
ПР 2/1	Отсадка			
	Концентрат отсадки	43.41	69.66	75.69
	Хвосты отсадки	56.59	17.16	24.31
	Исходный продукт по балансу	100.00	39.95	100.00
	Исходный продукт по анализу	100.00	40.14	100.00
	Обогащение на концентрационном столе			
	Промпродукт стола	32.16	78.73	63.32
	Концентрат стола	2.68	73.04	4.90
	Хвосты стола	8.57	34.74	7.48
	Исходный продукт стола по балансу	43.41	69.69	75.70
ПР 1/1	Отсадка			
	Концентрат отсадки	62.94	96.75	68.55
	Хвосты отсадки	37.06	75.37	31.45
	Исходный продукт по балансу	100.00	86.46	100.00
	Исходный продукт по анализу	100.00	85.00	100.00
	Обогащение на концентрационном столе			
	Промпродукт стола	42.28	98.17	44.51
	Концентрат стола	5.23	99.41	6.97
	Хвосты стола	15.43	92.24	17.07
	Исходный продукт стола по балансу	62.94	96.82	68.55

Урской отвал вещества переработанных руд кварц-пиритового состава по результатам минералогического анализа содержит пирит до 20% и железо в пересчете на оксид Fe_2O_3 в пробе по данным РФА — более 18% (табл. 1). Учитывая это и высокое содержание барита в исходном продукте, гравитационное обогащение здесь нецелесообразно. Для получения приемлемых пока-

зателей баритового концентрата необходимо максимальное сокращение массовой доли Fe_2O_3 , что возможно с применением сульфидной флотации. С помощью серии поисковых опытов подобраны оптимальные параметры обогащения. Флотация проводилась на навеске массой 3 кг и включала основную и контрольную операции. Крупность исходного материала составляла – 0.25 мм. Собирателем служил бутиловый ксантогенат калия, вспенивателем — реагент Т-92. Значение рН пульпы в процессе флотации поддерживалось добавлением соды в пределах 10–11. Конечный товарный продукт (баритовый концентрат) — хвосты контрольной сульфидной флотации. Схема флотационного обогащения приведена на рис. 3, результаты обогащения — в табл. 3.

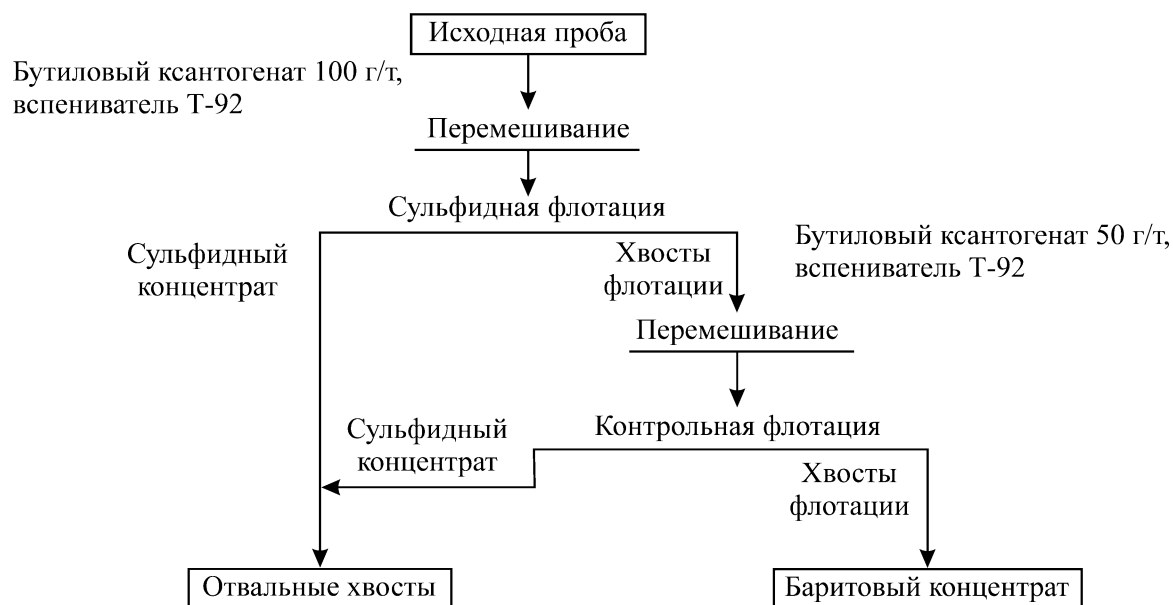


Рис. 3. Схема флотационного обогащения

ТАБЛИЦА 3. Результаты флотационного обогащения пробы ПР 1/2, %

Продукт	Выход	Содержание		Извлечение	
		BaSO_4	Fe_2O_3	BaSO_4	Fe_2O_3
Концентрат основной флотации	18.69	1.83	64.41	0.49	78.24
Хвосты основной флотации	81.31	86.14	4.12	99.51	21.77
Исходный материал по балансу	100.00	70.38	15.39	100.00	100.00
Исходный материал по анализу	100.00	72.29	15.00	100.00	100.00
Концентрат контрольной флотации	4.87	2.10	66.53	0.15	21.06
Хвосты контрольной флотации	76.44	91.61	2.15	99.85	0.71
Исходный материал контрольной флотации по балансу	81.31	86.25	6.01	99.64	21.77

В качестве арбитражного метода по определению истинного содержания барита в концентратах проводился гравиметрический анализ (ГОСТ-30420-95). Для всех концентратов содержание водорастворимых солей не превышало нормируемых показателей для концентратов класса Б по ГОСТ 4682-84 (табл. 4). При измерении рН водных вытяжек для концентратов выявлено относительное занижение рН среды до 4.8, ассоциированное с остаточными содержаниями сульфидного материала в концентратах. Это свидетельствует о дополнительных корректировках рН буровых растворов при использовании их для приготовления концентратов.

ТАБЛИЦА 4. Содержание сернокислого бария, водорастворимых солей, pH водной вытяжки в баритовых концентратах и сравнение с нормируемыми показателями

Параметр	Проба ПР 1/1	Проба ПР 1/2	Проба ПР 2/1	КБ-3*	КБ-5*	КБ-6*
Барит, гравиметрическое определение, %	84.0	79.0	71.0	90.0	85.0	80.0
pH	4.8	7.2	5.1	6–8	6–8	6–8
Электропроводность, мкСм/см	35.0	29.0	34.0	—	—	—
Содержание водорастворимых солей, %	<0.10	<0.10	<0.10	<0.45	<0.45	<0.35

*Нормируемые показатели баритовых концентратов класса Б для производства утяжелителей буровых растворов (ГОСТ 4682-84).

При гравитационном обогащении пробы из хвостохранилища Талмовские пески по данным рентгеноструктурного и минералогического анализов в тяжелой фракции материала пробы содержится сульфидов ~5 %, из которых до 90 % занимает пирит, включающий основную долю железа. Понижение содержания железа в гравитационном концентрате и повышение доли барита возможно с помощью сульфидной флотации. Возможность получения кондиционных баритовых концентратов из материала Талмовских песков существует с дальнейшим применением гравитационно-флотационной схемы обогащения.

Для Урского отвала при удельных электрических сопротивлениях 11–50 и 0.1–10 Ом·м объемы кварц-баритового и кварц-пиритового отвалов составляют 1.65 млн м³ и 5.2 тыс. м³ соответственно. При плотности вещества 2500 кг/м³ масса кварц-баритового отвала — 4.1 млн т, барит-пиритового отвала — 13 тыс. т. Ресурс барита в кварц-баритовом отвале — 507 тыс. т, в барит-пиритовом — 1.8 тыс. т, что в пересчете на барит — 860.0 и 3.1 тыс. т соответственно.

Для хвостохранилища Талмовские пески согласно геоэлектрическим исследованиям объемы сред с диапазоном удельных электрических сопротивлений 0.1–20 и 21–50 Ом·м составляют 48 и 53 тыс. м³ соответственно, общий объем песков — 101 тыс. м³. При плотности вещества 2500 кг/м³ масса хвостохранилища 252.5 тыс. т. Данные по содержанию барита в веществе с сопротивлениями 0.1–20 и 21–50 Ом·м позволяют оценить его ресурсы в пределах исследованного участка — 107 тыс. т.

ВЫВОДЫ

Для Урского отвала объем переработанных руд кварц-баритового состава составляет 1.65 млн м³ при ресурсах барита — 860 тыс. т барита, для отвала переработанных руд барит-пиритового состава — 5.2 тыс. м³ при ресурсах барита 3.1 тыс. т. Общий объем хвостохранилища Талмовские пески 101 тыс. м³ при ресурсах барита 107 тыс. т.

Гранулометрический анализ по технологических пробам Урского отвала и хвостохранилища Талмовские пески показал довольно равномерное распределение компонента BaSO₄ по классам крупности. Наиболее продуктивный класс крупности –0.25 мм (для вещества из Урских отвалов) и –0.25 + 0.071 мм (из хвостохранилища Талмовские пески).

При гравитационном обогащении пробы из хвостохранилища Талмовские пески получен баритовый концентрат с содержанием барита 71 %, что позволяет при дальнейшей корректировке обогащения получить продукт, соответствующий требованиям ГОСТ-4682-84 для буровых растворов.

Проба переработанных руд кварц-баритового состава Урского отвала уже в исходном состоянии представляет практически кондиционный баритовый концентрат. Флотационное обогащение вещества переработанных руд кварц-пиритового состава Урского отвала дало возможность получения кондиционного баритового концентрата на уровне КБ-6 с содержанием барита свыше 80 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Биогеохимический мониторинг** в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Л. П. Рихванов, Н. А. Абросимова, Н. В. Барановская и др. — Новосибирск: СО РАН, 2017. — 437 с.
2. **El Aallaoui A., El Ghorfi M., Elghali A., Taha Y., Zine H., Benzaazoua M., and Hakkou R.** Investigating the reprocessing potential of abandoned zinc-lead tailings ponds: A comprehensive study using physico-chemical, mineralogical, and 3D geometallurgical assessments, 2024, *Miner. Eng.*, 2024, Vol. 209. — 108634.
3. **Wu S., Wang F., Komárek M., and Huang L.** Ecological rehabilitation of mine tailings, *Plant and Soil*, 2024. — P. 1–5.
4. **Еделев А. В., Юркевич Н. В., Гуреев В. Н., Мазов Н. А.** Проблемы рекультивации складированных отходов горнорудной промышленности в российской федерации // ФТПРПИ. — 2022. — № 6. — С. 168–186.
5. **Римкевич В. С., Сорокин А. П., Пушкин А. А., Гиренко И. В.** Физико-химические исследования распределения полезных компонентов в техногенных отходах предприятий теплоэнергетики // ФТПРПИ. — 2020. — № 3. — С. 152–165.
6. **Усманова Н. Ф., Бурдакова Е. А., Бакшеева И. И., Плотникова А. А., Князев В. Н.** Минералогические особенности вещественного состава и технологических свойств труднообогатимых свинцово-цинковых руд // ФТПРПИ. — 2024. — № 1. — С. 155–164.
7. **Кузнецов Д. С.** Баритовые месторождения Республики Коми и перспективы их освоения // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера. — Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2018. — С. 46–50.
8. **Боярко Г. Ю., Хатьков В. Ю.** Обзор состояния производства и потребления баритового сырья в России // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — № 10 (332). — С. 180–191.
9. **Войтов М. Д., Вети А. А.** Анализ запасов Кызыл-Таштыгского полиметаллического месторождения для обоснования строительства рудника // Вестн. КузГТУ. — 2012. — № 6. — С. 45–48.
10. **Ахманов Г. Г., Булаткина Т. А., Егорова И. П., Кузьмина И. А., Кочергин А. В., Галимов Н. Р.** Месторождения остаточного типа Республики Башкортостан — основа для создания сырьевой базы “небурового” барита // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 6. — С. 14–18.
11. **Юркевич Н. В., Хусаинова А. Ш., Бортникова С. Б., Бондаренко В. П., Карин Ю. Г., Коханова С. П.** Ресурсы барита, цветных и благородных металлов в хвостохранилище Талмовские Пески: минералого-геохимические и геофизические данные // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. — 2023. — № 3 (55). — С. 105–114.
12. **Перейма А. А., Дубов Н. М., Черкасова В. Е.** Буровой раствор на биополимерной основе для проводки скважин в условиях АВПД // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — 2010. — № 4. — С. 34–38.
13. **Максимович Н. Г.** Формирование барита при использовании искусственных геохимических барьеров для отчистки карьерных вод Холбольджинского угольного разреза (Бурятия) // Минералогия техногенеза. — 2016. — Т. 17. — С. 74–82.
14. **Ермуханова С. Т., Лыгина Т. З.** Основные технологии получения сульфата бария из природного барита // Actualscience. — 2017. — Т. 3. — № 3. — С. 98–100.
15. **Larachi N., Bali A., Ould Hamou M., and Bensaadi S.** Recovery of lead and barite from the abandoned Ichmoul mine wastes in Algeria, *Env. Earth Sci.*, 2019, Vol. 78, No. 20. — P. 1–12.

- 16. Тусупбаев Н. К., Турысбеков Д. К., Нарбекова С. М., Калдыбаева Ж. А., Мухамедилова А. М., Мусина М. М., Садык Б.** Флотационное обогащение барит-содержащей руды // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья. Материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф., проводимой в рамках XVIII Уральской горнопромышленной декады. — 2020. — С. 142–145.
- 17. Deniz V.** Prediction of barite recovery and grade by multiple linear regression (MLR) analysis in concentrating of barite tailings by using multi-gravity separator (MGS), Particulate Sci. Technol., 2021, Vol. 39, No. 6. — P. 748–756.
- 18. Liu Y., Wei Z., Li M., and Zeng J.** Research progress of barite separation process and resource overview, Conservation Utilization Miner. Res., 2021, Vol. 41, No. 6. — P. 117–123.
- 19. Дебриков И. В.** Ново-Урское полиметаллическое месторождение // Материалы по геол. Зап.-Сиб. Края. — 1937. — Вып. 42. — 58 с.
- 20. Ковалев К. Р.** Особенности формирования руд колчеданно-полиметаллических месторождений Северо-Восточного Салаира и Восточной Тувы: дисс. ... д-ра. геол.-минерал. наук. — Новосибирск, 1969. — 283 с.
- 21. Бортникова С. Б., Гаськова О. Л., Бессонова Е. П.** Геохимия техногенных систем. — Новосибирск: Гео, 2006. — 169 с.
- 22. Юркевич Н. В., Шавекина А. Ш., Гаськова О. Л., Артамонова В. С., Бортникова С. Б., Волынкин С. С.** Аутигенный барит в техногенных отвалах: минералого-геохимические данные и результаты физико-химического моделирования // Георесурсы. — 2024. — № 26 (1). — С. 38–51.

Поступила в редакцию 08/V 2024

После доработки 15/VI 2024

Принята к публикации 27/VI 2024