ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(3-1):443-452
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.772: 669.054 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-443-452

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ ЖАМБЫЛ

А.С. Шевченко[1], Ю.П. Морозов[2], М.Р. Шаутенов[3], И.Х. Хамидулин[2]

[1] ООО НПП «Обогащение полезных ископаемых»,
[2] Уральский государственный горный университет,
[3] Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева.

Аннотация: Выполнена оценка достижений и современного состояния технологий переработки техногенных материалов. Определены цели и сформулированы задачи исследований, разработаны и изготовлены новые лабораторные аппараты для переработки минерального сырья, проведены лабораторные и опытно-промышленные исследования методов циркуляционной концентрации, флотоклассификации, электрохимической хлоринации, турбулизационной центробежной сепарации. Проведена оценка эффективности методов. Приведены результаты изучения физико-химических свойств и распределения металлов по классам крупности вольфрамсодержащих хвостов. Проведены исследования обогатимости хвостов гравитационными, флотационными и электрохимическими методами обогащения. Показано, что для предварительного обогащения целесообразно использовать метод циркуляционной концентрации. На концентрате предварительного обогащения исследованы методы флотоклассификации, молибденовой флотации коллективного концентрата, электрохимического выщелачивания меди из концентрата флотоклассификации, турбулизационной центробежной сепарации продуктов оловянной флотации. На основе проведённых исследований на пробе вольфрамсодержащих хвостов обогатительной фабрики Жамбыл месторождения Кара-Оба разработана инновационная технология переработки комплексных вольфрамсодержащих хвостов. Данная технология раскрывает широкие возможности для переработки техногенных продуктов, поэтому предложена для промышленной реализации.

Ключевые слова: вольфрамсодержащие хвосты обогащения, комплексная технология переработки, циркуляционная концентрация, флотоклассификация, электрохимическая хлоринация, турбулизационная центробежная сепарация, технология переработки хвостов.

Для цитирования: *Шевченко А.С., Морозов Ю.П., Шаутенов М.Р., Хамидулин И.Х.* Инновационные технологии переработки вольфрамсодержащих хвостов обогатительной фабрики Жамбыл // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 443–452. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-443-452.

Innovative technologies for processing tungsten containing tails of the enrichment factory of Zhambyl

A.S. Shevchenko[1], Yu.P. Morozov[2], M.R. Shautenov[3], I.H. Hamidulin[2]

[1] Limited liability company Scientific and production enterprise «Mineral processing», Russia,
[2] Ural state mining University, Russia,
[3] Kazakh national research technical Satbayev University, Kazakhstan

© А.С. Шевченко, Ю.П. Морозов, М.Р. Шаутенов, И.Х. Хамидулин. 2020.

Abstract: Achievements and current state of technology for processing of technogenic materials have been assessed. The goals and objectives of the research have been defined. New laboratory apparatuses for processing mineral raw materials have been developed and manufactured. Laboratory and experimental industrial research of methods of circulation concentration, flotation classification, electrochemical chlorination, turbulization centrifugal separation have been carried out. The methods efficiency was assessed. The results of study of physical and chemical properties and distribution of metals by size classes of tungsten containing tailings are given. Studies of tailings enrichment by gravity, flotation and electrochemical enrichment methods are carried out. It is shown that for preliminary processing it is rational to use the method of circulation concentration. The methods of flotation classification, molybdenum flotation of a collective concentrate, electrochemical leaching of copper from a concentrate from flotation classification, turbulization centrifugal separation of products of tin flotation have been investigated. The innovative technology has been developed for processing complex tungsten containing tailings, based on research on a sample of tungsten containing tailings in the Zhambyl enrichment plant of the Kara-Oba deposit. This technology opens wide opportunities for processing of technogenic products and is offered for industrial implementation.

Key words: Tungsten containing tailings, complex processing technology, circulating concentration, flotation classification, elechtrochemical chlorination, turbulization centrifugal separation, tailings processing technology.

For citation: Shevchenko A.S., Morozov Yu.P., Shautenov M.R., Hamidulin I.H. Innovative technologies for processing tungsten containing tails of the enrichment factory of zhambyl. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):443-452. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-443-452.

Введение

Истощение минеральных ресурсов является одной из важнейших проблем во всем мире, а слабое использование ресурсосберегающих технологий сопровождается большими потерями полезных ископаемых при добыче и обогащении сырья.

Анализ развития техники и технологии обогащения полезных ископаемых за последние пятнадцать лет указывает на значительные достижения отечественной фундаментальной науки в области познания основных явлений и закономерностей при разделении минеральных компонентов, что позволяет создавать высокоэффективные процессы и технологии переработки руд сложного вещественного состава и хвостов обогащения [1, 2].

В последние годы большое внимание уделяется вовлечению в переработку техногенных продуктов, в том числе хвостов обогащения различных руд. Однако сложный химический, минералогический и гранулометрический состав хвостов, а также широкий набор содержащихся в них полезных компонентов требует проведения большого объема работ по адаптации известных методов переработки и разработке новых способов, аппаратов и режимов обогащения [3, 4].

Одним из перспективных видов техногенного сырья являются хвосты переработки вольфрамсодержащих руд, которые отличаются повышенным содержанием ценных компонентов, таких как вольфрам, молибден, медь, олово.

Большой интерес в плане комплексности использования сырья представляют техногенные образования переработки руды месторождения Кара-Оба (Республика Казахстан) [5]. Месторождение разрабатывалось подземным способом с 1932 по 1990 год, руда перерабатывалась на обогатительной

фабрике Жамбыл. Хвосты переработки накоплены в двух хвостохранилищах с общей массой около четырех миллионов тонн.

Плотность хвостов колеблется в пределах от 1200 до 2300 кг/м^3, максимальная крупность частиц в хвостах 3 — 5 мм, массовая доля трехокиси вольфрама находится в пределах от 0,11 до 0,35 %, молибдена — от 0,05 до 0,23 %, меди — от 0,1 до 0,25 %, олова — от 0,1 до 0,2 %.

Минеральный состав включает вольфрамит, шеелит, молибденит, халькопирит и касситерит. Минералы пустой породы представлены кварцем, полевыми шпатами и слюдой [6].

Целью исследований является разработка эффективной технологии переработки хвостов обогатительной фабрики Жамбыл с получением кондиционных концентратов.

Методы исследования

В работе использованы методы химического, минералогического и гранулометрического анализов.

Экспериментальные исследования выполнены в лабораторных условиях при использовании методов циркуляционной концентрации, флотоклассификации, электрохимической хлоринации и турбулизационной центробежной сепарации. Для реализации методов разработаны и изготовлены лабораторные установки.

Циркуляционная концентрация заключается в накоплении минералов повышенной плотности в циркулирующих потоках гидравлической классификации [7]. Для вольфрам содержащих хвостов циркуляционная концентрация является эффективным методом предварительного обогащения.

Флотоклассификация заключается в совмещении процессов флотации и гидравлической классификации в одном аппарате. Флотоклассификатор можно отнести к чановым или колонным флотомашинам, достоинствами которых являются высокая производительность, низкие капитальные и эксплуатационные затраты [8 — 14]. Флотоклассификация отличается от флотации в чановых машинах возможностью получения пенного продукта, слива и песков, а также возможностью работы в замкнутом цикле с измельчением аналогично машине Skim Air [15, 16].

Электрохимическая хлоринация является частным случаем гидрохлорирования, заключается в выщелачивании ценных компонентов хлоративными агентами, образующимся при электролизе хлорида натрия непосредственно в массе обрабатываемого материала [17 — 19].

Турбулизационная центробежная сепарация отличается от других методов центробежной сепарации турбулизацией пристеночного слоя изнутри корпуса, что обеспечивает извлечение в тяжелую фракцию более тонких частиц [20].

В процессе исследований выполнена оптимизация режимов приведенных инновационных методов обогащения.

В качестве переменных факторов в операции циркуляционной концентрации приняты производительность по исходному питанию, разжижение пульпы, продолжительность процесса накопления, крупность разделения; в операции флотоклассификации — аэрированность пульпы, способ подачи исходного питания, крупность разделения, расход реагентов; в операции электрохлоринации — напряжение на электродах, величина тока, концентрация выщелачивающего агента, интенсивность перемешивания, продолжительность процесса; в операции турбулизационной центробежной сепарации —

скорость вращения конуса, давление и расход турбулизирующего агента, продолжительность процесса и производительность по исходному питанию.

Результаты исследований

Исследования выполнены на пробе вольфрамсодержащих хвостов обогащения руды месторождения Кара-Оба массой 500 кг.

Минералогическим анализом установлено, что рудные минералы в хвостах представлены шеелитом, молибденитом, халькопиритом и касситеритом. Минералы по классам крупности распределены относительно равномерно.

Массовая доля ценных компонентов в хвостах, %: W — 0,16; Mo — 0,09; Cu — 0,16; Sn — 0,13.

На стадии предварительного обогащения хвостов исследованы методы обогащения на концентрационном столе, на винтовом сепараторе и метод циркуляционной концентрации. Схема циркуляционной концентрации приведена на рис. 1.

Сравнительный анализ результатов предварительного гравитационного обогащения показал, что лучшие результаты достигнуты при обогащении методом циркуляционной концентрации. Результаты предварительного обогащения в циркуляционном модуле приведены в табл. 1.

Установлено, что в тяжелую фракцию при выходе 5 % извлекается 83,5 % вольфрама, 84,5 % молибдена, 82,7 % меди и 82,5 % олова.

Концентрат предварительного обогащения подвергнут измельчению в замкнутом цикле с двойной флотоклассификацией.

Реализована флотоклассификация сульфидных минералов с использованием в качестве собирателя бутилового ксантогената калия. Результаты сульфидной флотоклассификации концентрата предварительного обогащения представлены в табл. 2.

В результате двойной флотоклассификации в пенном продукте получен медно-молибденовый промпродукт с массовой долей молибдена 4,4 %, меди — 7,8 % при извлечении молибдена 92 %, меди — 91 %. В камерном продукте получен вольфрамо-оловянный промпродукт с массовой долей вольфрама 3,6 % и олова 2,9 % при извлечении вольфрама 95,8 %, олова 96,3 %.

Пенный продукт флотоклассификации подвергнут переработке по схеме, приведенной на рис. 2.

Схема включает процессы электрохимической хлоринации и флотоклассификации в замкнутом цикле измельчения.

Электрохимическую хлоринацию (ЭХХ) проводили в течение 12 часов при напряжении на электродах 6—8 В и токе 1 А.

Кек ЭХХ направляли в процесс флотоклассификации, в результате которого получены молибденовый концентрат с массовой долей Mo 50,5 % и отвальные хвосты. Из продуктивного раствора ЭХХ методом осаждения получен медный концентрат с массовой долей меди 48,8 %.

Камерный продукт сульфидной флотоклассификации подвергнут ЭХХ с растворением и осаждением олова. Схема переработки камерного продукта сульфидной флотоклассификации приведена на рис. 3.

В результате ЭХХ получен оловянный концентрат с массовой долей олова 47,1 %. Кек ЭХХ подвергнут турбулизационной центробежной сепарации с получением вольфрамового концентрата с массовой долей вольфрама 50,5 % и отвальных хвостов.

По результатам выполненных исследований произведен расчет баланса по конечным продуктам, приведенный в табл. 3.

Таблица 1

Показатели предварительного обогащения вольфрамсодержащих хвостов в циркуляционном модуле

Indicators of pre-enrichment of tungsten-containing tailings in the circulation module

Наименование продукта	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %			
		W	Mo	Cu	Sn	W	Mo	Cu	Sn
Тяжёлая фракция	5,1	2,61	1,43	2,59	2,10	83,5	84,5	82,7	82,5
Лёгкая фракция	94,9	0,03	0,02	0,03	0,02	16,5	18,5	17,3	17,5
Исходные хвосты	100,0	0,16	0,09	0,16	0,13	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 2

Показатели сульфидной флотоклассификации концентрата предварительного обогащения

Indicators of sulfide flotation classification of pre-enrichment concentrate

Наименование продукта	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %			
		W	Mo	Cu	Sn	W	Mo	Cu	Sn
Пенный продукт	30,2	0,36	4,39	7,78	0,25	4,19	92,65	90,75	3,73
Камерный продукт	69,8	3,58	0,15	0,34	2,89	95,81	7,35	9,25	96,27
Тяжёлая фракция	100,0	2,61	1,43	2,59	2,10	100,0	100,0	100,0	100,0

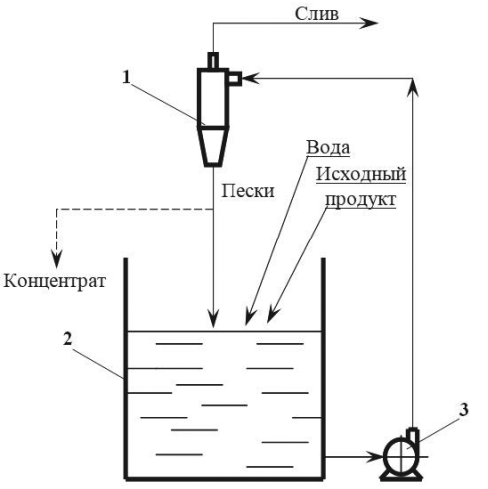

Рис. 1. Принципиальная схема модуля циркуляционной концентрации: 1 — гидроциклон; *2* — зумпф; *3* — насос

Fig. 1. Schematic diagram of the circulation concentration module: 1 — hydrocyclone; *2* — sump; *3* — pump

В результате экспериментальных исследований разработана технологическая схема комплексной переработки вольфрамсодержащих хвостов с получением кондиционных молибденового, медного, оловянного и вольфрамового концентратов.

Обсуждение результатов

При разработке технологии исследованы инновационные процессы переработки полезных ископаемых: циркуляционная концентрация, флотоклассификация, электрохимическая

хлоринация, турбулизационная центробежная сепарация.

Установлено, что разработанная технология комплексной переработки вольфрамсодержащих хвостов обеспечивает высокие показатели обогащения и может быть рекомендована к внедрению для переработки хвостов обогатительной

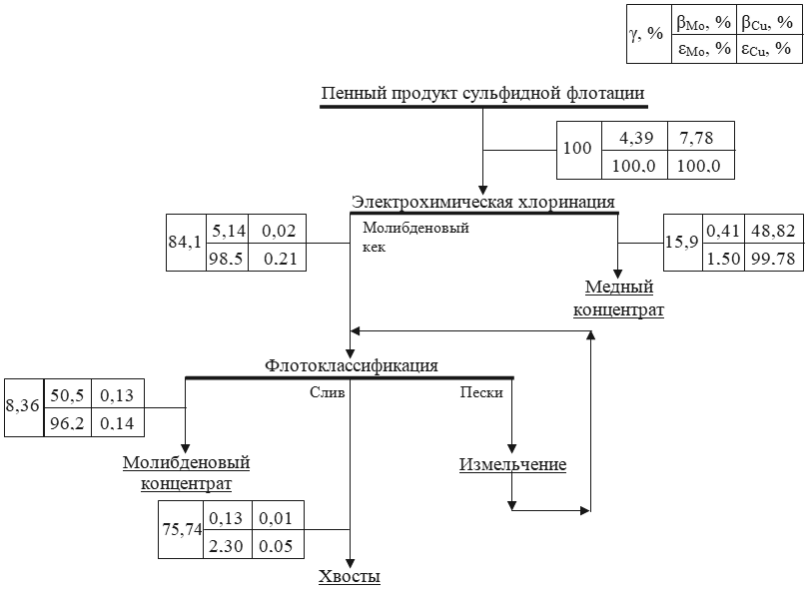

Рис. 2. Схема переработки пенного продукта сульфидной флотоклассификации

Fig. 2. Scheme of processing of the foam product of sulfide flotation classification

Рис. 3. Качественно-количественная схема обогащения камерного продукта сульфидной флотоклассификации

Fig. 3. Qualitative and quantitative scheme of enrichment of the chamber product of sulfide flotation classification

Таблица 3

Баланс по конечным продуктам технологии переработки вольфрамсодержащих хвостов
Balance on the final product of tungsten tailings processing technology

Наименование продукта	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %			
		W	Mo	Cu	Sn	W	Mo	Cu	Sn
Вольфрамовый концентрат	0,23	50,5				72,6			
Молибденовый концентрат	0,13		50,5				72,9		
Медный концентрат	0,24			48,82				73,23	
Оловянный концентрат	0,19				47,1				68,8
Хвосты предварительного обогащения	99,21	0,044	0,024	0,043	0,040	27,4	27,1	26,77	31,2
Исходные хвосты	100,0	0,16	0,09	0,16	0,13	100,0	100,0	100,0	100,0

фабрики Жамбыл месторождения Кара-Оба.

Рекомендуется разработка технологического регламента и проектная документация на обогатительный комплекс по переработке техногенных образований.

Заключение

На основе анализа достижений в области обогащения техногенных материалов в настоящей работе сформулированы задачи по разработке инновационной технологии переработки вольфрамсодержащих хвостов.

Проведена оценка эффективности методов циркуляционной концентрации, флотоклассификации, электрохимической хлоринации, турбулизационной центробежной сепарации.

Разработаны и изготовлены аппараты для реализации данных процессов в лабораторных условиях. Проведены экспериментальные исследования на пробе вольфрамсодержащих хвостов обогатительной фабрики Жамбыл месторождения Кара-Оба.

На основании проведенных исследований разработана технологическая схема переработки хвостов, обеспечивающая получение кондиционных молибденового, медного, оловянного и вольфрамового концентратов. Технология рекомендована к промышленной реализации.

Разработанная инновационная технология является экономически эффективной и раскрывает широкие возможности для переработки других техногенных продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чантурия В.А.*, *Шадрунова И.В.*, *Горлова О.Е.* Инновационные процессы глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов // Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов: материалы межд. научно-практ. конф. — Алматы, 2018. — С. 7—11.

2. *Санакулов К.С.* Концептуальные основы решения проблем переработки техногенного сырья // Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов: материалы межд. научно-практ. конф. — Алматы, 2018. — С. 18—21.

3. *Быховский Л.З.*, *Спорыхина Л.В.* Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 4. — С. 15—20.

4. *Коннова Н.И.* Переработка техногенного сырья горного производства // Горный информационный аналитический бюллетень. — 2015. — № 9. — С. 70.

5. Месторождения редких металлов и редких земель Казахстана // Справочник: — 2-е изд. — Алматы: Информационно-аналитический центр геологии и минеральных ресурсов. — 2015. — 270 с.

6. Техногенное минеральное сырье рудных месторождений Казахстана // Справочник: 2-е изд. — Алматы: Информационно-аналитический центр геологии и минеральных ресурсов. — 2016. — 156 с.

7. *Хамидулин И.Х.*, *Комлев С.Г.*, *Морозов Ю.П.* Обогащение техногенных продуктов циркуляционной концентрацией // Известия вузов. Горный журнал. — Екатеринбург, 2015. — № 7. — С. 106—109.

8. *Zhang Yi.* Application of flotation column on flotation of copper ore [Text] / Yi Zhang, Sh. Wen, D. Liu, Q. Cao // Advanced Materials Research Vols.634—638. — 2013. — Pp. 3289—3293.

9. *Plinio Eduardo Praes.* Recovery of Iron Ore Tailings by Column Flotation [Text] / Plinio Eduardo Praes, Rodrigo Oscar de Albuquerque, Antonio Furquim Oliveira Luz. // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. — 2013. — № 1. — Pp. 212—216.

10. *G.-s. Li.* Flotation separation of unburned carbon from coal fly ash using a flotation column [Text] / G.-s. Li, Y.-j. Cao, L.-j. Deng, J.-t. Liu, J.-c. Ran, S.-l. Li // IMpp. 2014: XXVII International Mineral Processing Congress. Chapter 7: New application of flotation of non-sulfide ores. — Pp. 30—43.

11. *Morozov Yu.P.*, *Abdykirova G.*Zh., *Dyussenova S.B.*, *Shazhaliev M.T.*, *Falej E.A.* Copper-bearing middlings from mill tailings. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016, Albena, Bulgaria. — 2016. — pp. 1043—1050. (DOI: 10.5593/sgem2016Bl2).

12. *Морозов Ю.П.*, *Бекчурина Е.А.* Перспективы переработки хвостов обогащения с использованием флотоклассификации. Мат-лы межд. науч. конф. Плаксинские чтения-2017. — Красноярск. — С. 221—223.

13. *Morozov Yu.P.*, *Bekchurina E.A.* The laws of products' beneficiation in tapered chutes. XXIX International Mineral Processing Congress (17—21 September, 2018). Moscow. — 2018. — p. 78.

14. *Морозов Ю.П.*, *Интогарова Т.И.*, *Валиева О.С.*, *Бекчурина Е.А.* Преимущества применения флотоклассификаторов в замкнутом цикле измельчения. Горный журнал. — 2019. — № 2. — С. 51—56. (DOI: 10.17580/gzh.2019.02.10).

15. *Морозов Ю.П.*, *Абдыкирова Г.Ж.*, *Бекчурина Е.А.*, *Дюсенова С.Б.* Повышение эффективности флотоклассификации руд и хвостов обогащения // Обогащение руд. — 2017. — № 2. — С. 38—43.

16. *Lamberg P.* Flash Flotation — from pilot size to full size installation at Esperanza [Text] / P. Lamberg, L. Bernal // Proceedings of Procemin 2008: V International Mineral Processing Seminar. — 2008. — Pp. 251–257.

17. *Кузас Е.А. Лобко С.В.*, *Набойченко С.С.*, *Волков В.Н.* Электрохлорирование вторичного сырья, содержащего благородные металлы, с использованием обьемного токоподвода // Цветные металлы. — 2017. — № 3. — С. 45—49.

18. *Харламова Т.А.*, *Альфердов А.Ф.*, *Бахир В.М.* Электрохимическая активация в технологиях обогащения и переработки руд, вторичных сырьевых ресурсов и очистке вод // Горный информационный аналитический бюллетень. — 2015. — № 2. — С. 75—80.

19. *Самусев А.Л.*, *Миненко В.Г.* Исследования влияния сульфат-ионов на эффективность химико-электрохимического выщелачивания золота из упорного минерального

сырья // Горный информационный аналитический бюллетень. — 2018. — № 10. — С. 276—282.

20. *Морозов Ю.П.*, *Хамидулин И.Х.*, *Фалей Е.А.* Разработка и испытания турбулизационных центробежных сепараторов // Горный журнал. — 2015. — № 5. — С. 58—62. (DOI 10.17580/gzh.2015.05.12). ГИАБ

REFERENCES

1. CHanturiya V.A., SHadrunova I.V., Gorlova O.E. *Innovacionnye processy glubokoj i kompleksnoj pererabotki tekhnogennogo syr'ya v usloviyah novyh ekonomicheskih vyzovov* [Innovative processes of deep and complex processing of technogenic raw materials in the conditions of new economic challenges]. Effektivnye tekhnologii proizvodstva cvetnyh, redkih i blagorodnyh metallov: materialy mezhd. nauchno-prakt. konf. Almaty, 2018. pp. 7—11. [In Russ]

2. Sanakulov K.S. *Konceptual'nye osnovy resheniya problem pererabotki tekhnogennogo syr'ya* [Conceptual foundations for solving the problems of processing technogenic raw materials]. Effektivnye tekhnologii proizvodstva cvetnyh, redkih i blagorodnyh metallov: materialy mezhd. nauchno-prakt. konf. Almaty, 2018. pp. 18—21. [In Russ]

3. Byhovskij L.Z., Sporyhina L.V. Technogenic waste as a reserve for replenishment of the mineral resource base: state and problems of development. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2011. no 4. pp. 15—20. [In Russ]

4. Konnova N.I. Processing of technogenic raw materials of mining production. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no 9. pp. 70. [In Russ]

5. *Mestorozhdeniya redkih metallov i redkih zemel' Kazahstana* [Deposits of rare metals and rare earths of Kazakhstan]. Spravochnik: 2-e izd. Almaty: Informacionno-analiticheskij centr geologii i mineral'nyh resursov. 2015. 270 p. [In Russ]

6. *Tekhnogennoe mineral'noe syr'e rudnyh mestorozhdenij Kazahstana* [Technogenic mineral raw materials of ore deposits of Kazakhstan]. Spravochnik: 2-e izd. Almaty: Informacionno-analiticheskij centr geologii i mineral'nyh resursov. 2016. 156 p. [In Russ]

7. Hamidulin I.H., Komlev S.G., Morozov Yu.P. Enrichment of technogenic products by circulating concentration. *Gornyj zhurnal*. 2015. no 7. pp. 106—109. [In Russ]

8. Zhang Yi. Application of flotation column on flotation of copper ore [Text] / Yi Zhang, Sh. Wen, D. Liu, Q. Cao. Advanced Materials Research Vols.634—638. 2013. Pp. 3289—3293.

9. Plinio Eduardo Praes. Recovery of Iron Ore Tailings by Column Flotation [Text] / Plinio Eduardo Praes, Rodrigo Oscar de Albuquerque, Antonio Furquim Oliveira Luz.. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2013. no 1. Pp. 212—216.

10. G.-s. Li. Flotation separation of unburned carbon from coal fly ash using a flotation column [Text] / G.-s. Li, Y.-j. Cao, L.-j. Deng, J.-t. Liu, J.-c. Ran, S.-l. Li. IMpp. 2014: XXVII International Mineral Processing Congress. Chapter 7: New application of flotation of non-sulfide ores. Pp. 30—43.

11. Morozov Yu.P., Abdykirova G.Zh., Dyussenova S.B., Shazhaliev M.T., Falej E.A. Copper-bearing middlings from mill tailings. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016, Albena, Bulgaria. 2016. pp. 1043—1050. (DOI: 10.5593/sgem2016Bl2).

12. Morozov Yu.P., Bekchurina E.A. *Perspektivy pererabotki hvostov obogashcheniya s ispol'zovaniem flotoklassifikacii* [Prospects for processing of enrichment tailings using flotation classification]. Mat-ly mezhd. nauch. konf. Plaksinskie chteniya-2017. Krasnoyarsk. pp. 221—223. [In Russ]

13. Morozov Yu.P., Bekchurina E.A. The laws of products' beneficiation in tapered chutes. XXIX International Mineral Processing Congress (17—21 September, 2018). Moscow. 2018. p. 78.

14. Morozov Yu.P., Intogarova T.I., Valieva O.S., Bekchurina E.A. Advantages of using flotation classifiers in a closed grinding cycle. *Gornyj zhurnal*. 2019. no 2. pp. 51—56. (DOI: 10.17580/gzh.2019.02.10). [In Russ]

15. Morozov Yu.P., Abdykirova G.ZH., Bekchurina E.A., Dyusenova S.B. Improving the efficiency of flotation classification of ores and tailings of enrichment. *Obogashchenie rud*. 2017. no 2. pp. 38 — 43. [In Russ]

16. Lamberg P. Flash Flotation from pilot size to full size installation at Esperanza [Text] / P. Lamberg, L. Bernal. Proceedings of Procemin 2008: V International Mineral Processing Seminar. 2008. Pp. 251–257.

17. Kuzas E.A. Lobko S.V., Nabojchenko S.S., Volkov V.N. Electrochlorination of secondary raw materials containing noble metals using volume current supply. *Cvetnye metally*. 2017. no 3. pp. 45 — 49. [In Russ]

18. Harlamova T.A., Al'ferdov A.F., Bahir V.M. Electrochemical activation in technologies of ore dressing and processing, secondary raw materials and water treatment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no 2. pp. 75 — 80. [In Russ]

19. Samusev A.L., Minenko V.G. Studies of the effect of sulfate ions on the efficiency of chemical and electrochemical leaching of gold from persistent mineral raw materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no 10. pp. 276 — 282. [In Russ]

20. Morozov Yu.P., Hamidulin I.H., Falej E.A. Development and testing of turbulization centrifugal separators. *Gornyj zhurnal*. 2015. no 5. pp. 58 — 62. (DOI 10.17580/gzh.2015.05.12). [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шевченко Александр Сергеевич[1] — канд. мед. наук, директор, opi96@yandex.ru,
Морозов Юрий Петрович[2] — докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, tails2002@inbox.ru,
Шаутенов Мэлс Рахимович[3] — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры Металлургии и обогащения полезных ископаемых,
Хамидулин Иршат Халшлович[2] — канд. техн. наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых, tails2002@inbox.ru,
[1] Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «Обогащение полезных ископаемых», г. Екатеринбург, Россия,
[2] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, 620144, ГСП-126, ул. Куйбышева, 30, Россия,
[3] Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева г. Алматы, Казахстан.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shevchenko A.S.[1], Cand. Sci. (Medic.), Director opi96@yandex.ru,
Morozov Yu.P.[2], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of mineral processing, tails2002@inbox.ru,
Shautenov M.R.[3], Cand. Sci. (Eng.), associate Professor, Professor of the Department of Metallurgy and mineral processing,
Khamidulin I.K.,[2] Cand. Sci. (Eng.), associate Professor of the Department of mineral processing, tails2002@inbox.ru,
[1] Limited liability company Scientific and production enterprise «Mineral processing», Yekaterinburg, Russia,
[2] Ural state mining University, Yekaterinburg, Russia,
[3] Kazakh national research technical Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 16.03.2020; принята к печати 20.03.2020.
Received by the editors 21.11.2019; received after the review 16.03.2020; accepted for printing 20.03.2020.