

Код МРНТИ 52.45.19

А.Р. Мамбеталиева¹, *Г.К. Макашева¹, Т.Ш. Тусупбекова¹, А.О. Мугинов²
¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),
²ТОО «КазГидроМедь» (Караганда, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНЫХ ХВОСТОВ

Аннотация. Отвальные медные хвосты хвостохранилищ Жезказганской обогатительной фабрики являются труднообогащаемыми. Трудности в обогащении данных хвостов связаны с особенностями их вещественного состава: тонкая зернистость и эмульсионная вкрапленность рудных минералов друг в друге, наличие большого количества флотационно-активной пустой породы, высокое содержание тонкодисперсной и субмикроскопической меди в отвальных хвостах. Для снижения флотационной активности пустой породы было принято решение включить в цикл обогащения пропарку для удаления избыточной концентрации реагента-собираателя с поверхности отвальных хвостов. Увеличение температуры пульпы в цикле основной медной флотации до 40 °С позволяет увеличить массовую долю меди в медном концентрате с 0,65% до 1,23%, при этом повышается извлечение меди и серебра в медном концентрате на 43,25% и 51,25%.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, флотация, тепловое кондиционирование, отвальные хвосты, окисленные минералы, эффективность обогащения, доизмельчения, гранулометрический анализ.

Мыс қалдықтарының байыту технологиясының көрсеткіштеріне жылумен кондиционерлеудің әсерін зереттеу

Андатпа. Жезказган байыту қалдық қоймаларының үйінді мыс қалдықтарын байыту қиын болып табылады. Бұл қалдықтардың байытудағы қиындықтар олардың материалдық құрамының ерекшеліктерімен байланысты: кенді минералдардың бір-біріне жұқа түйіршіктілігі және эмульсиялық қосылуы, флотациялық белсенді бос минералдарының көп болуы, үйінді құйрықтарындағы жұқа дисперсті және субмикроскопиялық мыстың жоғары мөлшері. Бос минералдардың флотациялық белсенділігін төмендету үшін байыту цикліне реагент-жинағыштың артық концентрациясын үйінді құйрықтарының бетінен алып тастау үшін жылумен кондиционерлеуді қосу туралы шешім қабылданды. Негізгі мыс флотациясы цикліндегі целлюлоза температурасының 40 °С дейін жоғарылауы мыс концентратындағы мыстың массалық үлесін 0,65%-дан 1,23%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді, ал мыс концентратындағы мыс пен күмісті алу 43,25% және 51,25%-ға артады.

Түйінді сөздер: пайдалы қабаларды байыту, флотация, жылумен кондиционерлеу, қалдықтар, тотыққан минералдар, байыту тиімділігі, қайта ұнтақтау, бөлшектердің құрамын талдау.

Investigation of the influence of thermal conditioning on the technological parameters of copper tailings enrichment

Abstract. The dump copper tailings of the Zhezkazgan processing plant are difficult to enrich. Difficulties in enriching these tailings are associated with the peculiarities of their material composition: fine grain and emulsion inclusions of ore minerals in each other, the presence of a large amount of flotation-active waste rock, high content of fine and submicroscopic copper in the tailings. To reduce the flotation activity of the waste rock, it was decided to include steaming in the enrichment cycle to remove excess concentrations of the collector reagent from the surface of the tailings. Increasing the pulp temperature in the main copper flotation cycle to 40 °C allows increasing the mass fraction of copper in copper concentrate from 0.65% to 1.23%, while increasing the extraction of copper and silver in copper concentrate by 43.25% and 51.25%.

Key words: mineral processing, flotation, thermal conditioning, waste tailings, oxidised minerals, enrichment efficiency, additional grinding, particle size analysis.

Введение

Металлы играют важную роль в переходе к «зеленым» технологиям, например, в электромобилях с низким уровнем выбросов и в системах хранения энергии [1].

Флотация является основной технологией обогащения полезных ископаемых, применяемой при производстве угля, цинка, свинца, меди, никеля, молибдена и других металлов. Показано, что на ее долю приходится 85% добываемых руд. Однако в процессе флотации образуются отвальные хвосты, что является серьезной экологической проблемой, заключающейся в выделении кислотности из металлов из оставшихся сульфидов, не имеющих экономической ценности из-за воздействия воздуха и дождевой воды [2], а также в ряде рисков, связанных с физической и химической стабильностью системы, что может привести к катастрофическим авариям [4].

В последние годы ревалоризация хвостохранилищ привлекла внимание научного и инженерного сообществ [5], например, в качестве источника критически важного сырья [6], а также для синтеза строительных материалов, таких как керамика [7], цемент [8] или кирпич. Добавление этого фактора в цепочку создания стоимости в горнодобывающей промышленности является эффективным способом перехода отрасли к экономике замкнутого цикла и повторному использованию материалов. Недавние исследования показывают, что переработка хвостов может снизить воздействие горнодобывающей промышленности и в то же время быть прибыльной [9].

Например, разработаны исследования по изучению методов флотации для переработки отвальных хвостов [10]. Кроме того, с экономической точки зрения переработка используется как способ повышения эффективности использования ресурсов [11] или перехода к безотходному процессу. Более того, некоторые компании уже несколько лет работают в соответствии с принципами устойчивого развития, добывая ценные элементы, например, например, Minera Valle Central в Чили.

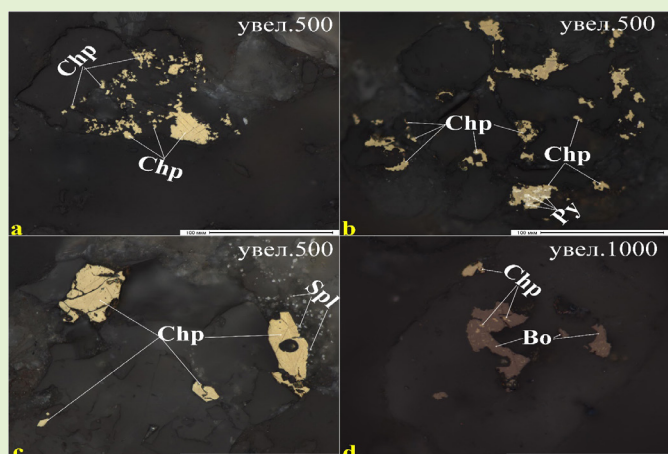
Целью исследования является разработка оптимальной технологии переработки отвальных хвостов Жезказганской обогатительной фабрики с применением способа пропарки для удаления избыточной концентрации реагента-собираателя с его поверхности и доизменение до необходимой крупности.

Материалы и методы

Объект исследования – пробы отвальных хвостов обогащения Жезказганской обогатительной фабрики.

Вещественный состав пробы определялся масс-спектральным анализом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), содержание золота и серебра – пробирным анализом.

Содержание основных ценных компонентов составило: меди – 0,147%, цинка – 0,127%, свинца – 0,069%, серебра – 3,15 г/т, золота – ниже порога обнаружения. Содержание серы составило 0,19%, железа общего – 2,41%. Содержание породных компонентов составило: двуокиси



Chp – халькопирит; *Py* – пирит; *Spl* – сфалерит;
Bo – борнит.

Рис. 1. Характеристика выделений халькопирита.
Увел. 500/1000.

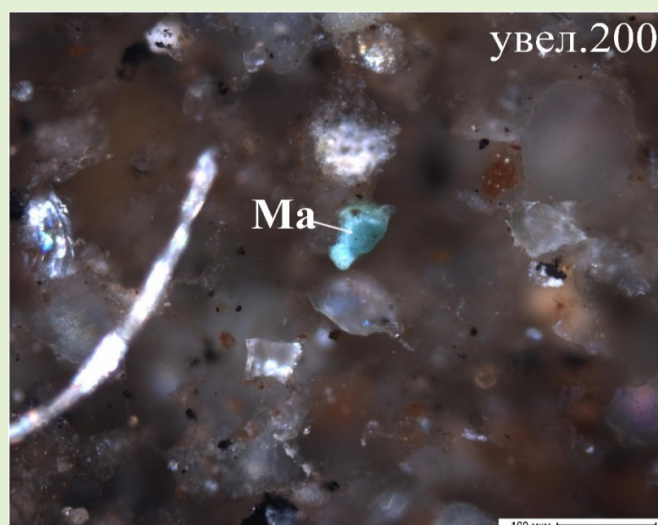
Сурет 1. Халькопириттың сипатамасы. 500/1000
ұлғайту.

Figure 1. Characteristics of chalcopyrite secretions.
Magnification of 500/1000.

кремния – 57,77%, оксида алюминия – 12,32%, оксида кальция – 4,55% и оксида магния – 1,98%.

Изучение рудных минералов проводилось в отраженном свете в полированных аншлифах-брикетах с применением микроскопа OLYMPUS BX 53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения для анализа изображений Минерал С7 компании SIAMS.

Оптическими методами исследований (визуально) было установлено, что рудная минерализация исследуемой про-



Ma – малахит.

Рис. 2. Характеристика выделений малахита.
Увел. 200.

Сурет 2. Малахиттың сипатамасы. 200 ұлғайту.
Figure 2. Characteristics of malachite secretions.
Magnification of 200.

бы относительно ее нерудной составляющей весьма незначительна. Ориентировочное соотношение рудных и нерудных минералов составляет 2:98.

Из медных минералов наиболее распространен халькопирит, который почти всегда ассоциирует с породными минералами, редко с борнитом. Борнит встречается в виде единичных выделений, часто замещаемый ковеллином.

Все рудные минералы находятся в сростках с породными минералами. Несмотря на достаточно высокую

Химический анализ пробы

Түйіршіктер құрамы бойынша мыстың фазалық талдау

Phase analysis of copper by size classes

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Класс, мм	Выход, %	Содержание <i>Cu</i> , %					Распределение <i>Cu</i> , %				
		всего	сульф. минералы	окисленные минералы			всего	сульф. минералы	окисленные минералы		
				всего	малахит	хризокolla			всего	малахит	хризокolla
-0,5+0,2	7,46	0,26	0,10	0,16	0,14	0,02	13,33	5,07	8,26	7,22	1,04
-0,2+0,1	27,39	0,12	0,05	0,08	0,06	0,02	23,08	8,75	14,33	10,42	3,91
-0,1+0,071	10,66	0,10	0,05	0,05	0,03	0,02	6,96	3,26	3,70	2,17	1,52
-0,071+0,045	12,40	0,10	0,04	0,06	0,03	0,02	8,01	3,29	4,72	2,87	1,85
-0,045+0	42,08	0,17	0,06	0,11	0,08	0,03	48,62	17,73	30,89	22,88	8,01
Исходная проба хвостов	100,0	0,15	0,056	0,091	0,067	0,024	100,0	38,10	61,90	45,57	16,33

степень окисленности сырья, окисленные минералы меди практически не визуализируются, очевидно вследствие переизмельчения.

Характерной особенностью описываемых препаратов является наличие значительного количества углеродистых выделений в виде механической примеси в количестве 8-10%.

Для определения степени окисленности хвостов в различных классах крупности выполнен фазовый анализ меди по классам (таблица 1).

Проба на 61,90% представлена окисленными минералами, на 38,10% – сульфидными. Наибольшее распределение окисленных форм отмечено в классе крупности -0,045+0 мм – 30,89% (или 49,90% всех окисленных минералов), что объясняется высокой хрупкостью окисленных минералов.

Результаты и обсуждение

При подготовке отвальных хвостов для схемы флотации было принято решение включить удаление избыточной концентрации реагента-собирателя с его поверхности (десорбции) и доизмельчение до необходимой крупности. От качества узла подготовки зависят эффективность его последующего разделения, следовательно, и технико-экономические показатели обогащения.

Одним из способов десорбции коллекторной пленки является способ пропарки с предварительным термическим разложением сульфгидрильного собирателя, обычно ксантогената, при температуре 80-90 °С в течение 30-60 минут [12]. В Японии для удаления избытка реагентов с поверхности коллективного концентрата широко используют тепловую обработку пульпы паром при 60-70 °С с последующим разделением коллективных концентратов бесцианидными технологиями. В работе рассмотрено воздействие тепловой обработки на десорбцию коллекторной пленки с поверхности минеральных зерен. Рассмотрены следующие виды тепловой обработки: подогрев материала через стенку сосуда и пропарка путем барботирования острым паром пробы.

Результаты, приведенные на рисунке 4, показывают, что при повышении температуры пульпы до 40 °С удается значительно снизить выход концентрата (с 9,524% до 4,03%), при этом повышается извлечение меди и серебра в концентрат и составляет 2,21% (с 41,04% до 43,25%) и 2,32% (с 48,93% до 51,25%). Дальнейшее повышение температуры пульпы приводит к снижению извлечения меди в концентрате.

Условия проведения опытов

Тәжірибе жүргізу шарттары

Conditions for conducting experiments

Операция, продукт	Содержание класса, %	Время флотации (t), мин	ОВП, mV	Расход реагентов, г/т			
				Na ₂ SiO ₃	Na ₂ S	Кх	МИБК
Измельчение, 0,071 мм	85	-	-	250	-	-	-
Пропарка, °С	-	-	-	-	-	-	-
Основная флотация	-	10	-200 ÷ -250	-	700	70	20



Рис. 3. Технологическая схема проведения лабораторных тестовых опытов.

Сурет 3. Зертханалық сынақ тәжірибелерін жүргізудің технологиялық схемасы.

Figure 3. Technological scheme of laboratory test experiments.

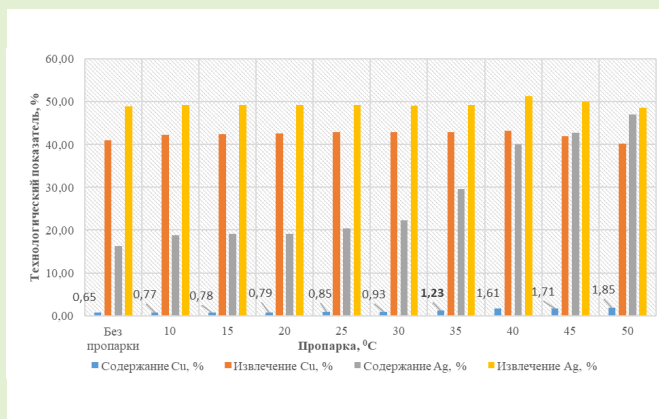


Рис. 4. Результаты тестов по определению влияния теплового кондиционирования на технологический показатель.

Сурет 4. Жылу кондиционерінің технологиялық көрсеткішке әсерін анықтау бойынша тест нәтижелері.

Figure 4. The results of tests to determine the effect of thermal conditioning on the technological indicator.

Таблица 2

Кесте 2

Table 2

Таблица 3

Результаты расчета эффективности обогащения

Кесте 3

Байыту тиімділігін есептеу нәтижелері

Table 3

The results of the calculation of the enrichment efficiency

Пропарка, °С	Эффективность обогащения, %	
	Cu	Ag
Без пропарки	31,57	39,41
10	34,05	40,97
15	34,32	41,11
20	34,48	41,08
25	35,33	41,61
30	35,98	42,19
35	37,74	44,02
40	39,28	47,22
45	38,38	46,34
50	37,06	45,39

Для выбора оптимальной температуры пульпы в таблице 3 приведены сравнительные результаты расчета эффективности обогащения.

Из результатов таблицы 3 следует, что наиболее высокая эффективность обогащения меди и серебра достигается при температуре пульпы 40 °С.

Заклучение

Особенности минералогического состава лежалых хвостов, в частности весьма тонкая вкрапленность руд-

ных минералов (халькопирит – 0,001-0,065 мм, ковеллин до 0,055 мм и сфалерит 0,001-0,015 мм), а также наличие тесных сростков минералов меди затрудняет повышение качества концентрата и его селективное разделение.

Для повышения качественно-количественных показателей проведены лабораторные тестовые опыты теплового кондиционирования питания основной медной флотации. По результату тестовых опытов при температуре пульпы 40 °С снижается выход концентрата на 5,49%, при этом повышается извлечение меди – 43,25% и серебра – 51,25%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арвинд Упадхьяй. Исследуем барьеры и факторы, препятствующие внедрению методов экономики замкнутого цикла в горнодобывающей промышленности. / Арвинд Упадхьяй, Тим Лэйнг, Викас Кумар, Манодж Дора. // Политика в области ресурсов. 2021. Т. 72. ст.№102037 (на английском языке)
2. Гонсалес-Мендес Б. Распределение тяжелых металлов, загрязняющих почву вблизи заброшенной шахты на северо-западе Мексики. / Б. Гонсалес-Мендес, Р. Вебстер, Р. Ларедо-Порталус, Ф. Малина-Фринет, Р. Джеллул. // Экологические науки о Земле. 2022. Т. 81. ст.№176 (на английском языке)
3. Кософф Д. Хвостохранилища шахт: характеристики, разрушение, воздействие на окружающую среду и меры по восстановлению. / Д. Кософф, У.Э. Дуббин, М. Альфредссон, С.Дж. Эдвардс, М.Г. Маклин, К.А. Хадсон-Эдвардс. // Прикладная геохимия. 2014. Т. 51. С. 229-245 (на английском языке)
4. Пяйви Киннунен. Обзор стратегий экономии на отходах горнодобывающей промышленности. / Пяйви Киннунен, Марьяна Карху, Лина Ли-Рантала, Пяйви Кивиките-Репонен, Ярно Ханнинен. // Экологически чистая инженерия и технологии. 2022. Т. 8. ст.№100499 (на английском языке)
5. Наталья Ярая. Возможность переработки шахтных хвостов для получения важного сырья с использованием анализа реальных вариантов. / Наталья Ярая, Тендеры Рамирес, Андрей Краславский, Луис А. Цистерна. // Журнал экологического менеджмента. 2021. Т. 284. ст.№112060 (на английском языке)
6. Ф.Л. да Силва, Ф.Г.С. Араужо, М.П. Тейшейра, Р.К. Геймс, Ф.Л. фон Крюгер. Исследование процесса извлечения и переработки отходов обогащения железной руды для производства керамики. // Материалы Международной выставки керамики, 2014. – Т. 40. – Вып. 10. – Ч. В. – С. 16085-16089 (на английском языке)
7. Ахад Барзегар Гази. Использование отходов добычи меди в качестве частичной замены цемента в бетонном строительстве. / Ахад Барзегар Гази, Ахмад Джамишиди-Занджани, Хамид реза

Неджати. // *Строительство и строительные материалы*. 2022. Т. 317. ст.№125921 (на английском языке)

8. Чжиган Инь. Оценка возможности извлечения меди из хвостохранилищ методом флотации путем проведения стендовых, пусконаладочных и промышленных испытаний. / Чжиган Инь, Вэй Сун, Юэхуа Ху, Чуньхуа Чжан, Цинцзюнь Хуан, Яньпин Ву. // *Журнал «Чистое производство»*. 2018. Т. 171. С. 1039-1048 (на английском языке)
9. Пьер Паоло Манка. Флотация хвостов обогащения сфалеритовых руд как метод рекультивации. / Пьер Паоло Манка, Джорджио Массаччи, Давид Пинтус, Джулио Согос. // *Разработка полезных ископаемых*. 2021. Т. 165. ст.№106862 (на английском языке)
10. Касонго К.Б. Статистическое исследование параметров флотации для извлечения меди из хвостов сульфидной флотации. / Касонго К.Б., М. Ванг М.Х., Нгамба Геллорд, Мервей Кимпиаб, К. Фабрис Капьямба. // *Результаты в инженерном деле*. 2021. Т. 9. ст.№100207 (на английском языке)
11. Мальте Дробе. Технологические испытания, скорректированные модели затрат и экономика переработки хвостов медных рудников в Чили. / Мальте Дробе, Франк Хаубрих, Мариано Фахардо, Хервиг Марбл. // *Металлы*. 2021. Т. 11. С. 1031-1052 (на английском языке)
12. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Том 3. Книга 2. Рb, Рb-Cu, Zn, Рb-Zn, Рb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg- содержащие руды: М: МГГУ, 2005, С. 470 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Арвинд Упадхай. Тау-кен өнеркәсібінде айналмалы экономика тәжірибесін енгізудегі кедергілер мен фактілерді зерттеу. / Арвинд Упадхай, Тим Лаинг, Викас Кумар, Маной Дора. // *Ресурстар саясаты*. 2021. Т. 72. №102037 мақ. (ағылшын тілінде)
2. Б. Гонсалес-Мендес. Мексиканың Солтүстік-Батысындағы қараусыз қалған шахтаның жанындағы топырақты ластайтын ауыр металдардың таралуы. / Б. Гонсалес-Мендес, Р. Вебстер, Р. Ларедо-Порталус, Ф. Малина-Фринет, Р. Джеллул. // *Экологиялық жер туралы ғылымдар*. 2022. Т. 81. №176 мақ. (ағылшын тілінде)
3. Д. Кософф. Шахта қалдықтарының бөгеттері: сипаттамалары, істен шығуы, қоршаған ортаға әсері және қалпына келтіру. / Д. Кософф, В.Э. Дуббин, М. Альфредссон, С.Дж. Эдвардс, М.Г. Маклин, К.А. Хадсон-Эдвардс. // *Қолданбалы геохимия*. 2014. Т. 51. Б. 229-245 (ағылшын тілінде)
4. Пайви Киннунен. Тау-кен қалдықтарын өндірудің айналмалы экономикалық стратегияларына шолу. / Пайви Киннунен, Маржана Карху, Лина Ли-Рантала, Пайви Кивиките-Репонен, Ярно Ханнинен. // *Таза инженерия және технологиялар*. 2022. Т. 8. №100499 мақ. (ағылшын тілінде)
5. Наталья Ярая. Нақты опцияларды талдауды қолдана отырып, маңызды шикізатты алу үшін шахта қалдықтарын қайта өңдеудің орындылығы. / Наталья Ярая, Тендеры Рамирес, Андрей Краславский, Луис А. Цистерна. // *Экологиялық менеджмент журналы*. 2021. Т. 284. №112060 мақ. (ағылшын тілінде)
6. Ф.Л. да Силва, Ф.Г.С. Арауджо, М.П. Тейшейра, Р.К. Геймс, Ф.Л. фон Крюгер. Керамика өндірісі үшін темір рудасының концентрациясынан қалдықтарды алу және қайта өңдеуді зерттеу. // *Халықаралық керамика көрмесінің материалдары*, 2014. – Т. 40. – Шығ. 10. – Бөл. В. – Б. 16085-16089 (ағылшын тілінде)
7. Ахад Барзегар Гази. Бетон құрылысында цементті ішінара алмастырғыш ретінде мыс кенішінің қалдықтарын кәдеге жарату. / Ахад Барзегар Гази, Ахмад Джамишиди-Занджани, Хамид реза Неджати. // *Құрылыс және құрылыс материалдары*. 2022. Көл. 317. №125921 мақ. (ағылшын тілінде)
8. Жиган Инь. Мысты қалдық қоймаларынан флотация әдісімен қалпына келтіру, стендтік шкала, іске қосу және өндірістік сынақтар арқылы бағалау. / Жиган Инь, Вэй Сун, Юэхуа Ху, Чунхуа Чжан, Цинцзюнь Хуан, Яньпин Ву. // *Таза өндіріс журналы*. 2018. Т. 171. Б. 1039-1048 (ағылшын тілінде)
9. Пьер Паоло Манка. Қалпына келтіру әдісі ретінде сфалерит кенішінің қалдықтарын флотациялау. / Пьер Паоло Манка, Джорджио Массаччи, Дэвид Пинтус, Джулио Согос. // *Пайдалы қазбалар инженериясы*. 2021. Көл. 165. №106862 мақ. (ағылшын тілінде)
10. Касонго К.Б. Сульфидті флотациялық қалдықтардан мыс алу үшін флотация параметрлерін статистикалық зерттеу. / Касонго К.Б., М. Ван М.Х., Нгамба Геллорд, Мервейл Кимпиаб, К. Фабрис Капиамба. // *Инженерлік қызметтің нәтижелері*. 2021. Т. 9. №100207 мақ. (ағылшын тілінде)
11. Мальте Дробе. Өңдеу сынақтары, шығындардың түзетілген модельдері және Чилидегі мыс кеніштерінің қалдықтарын қайта өңдеу экономикасы. / Мальте Дробе, Фрэнк Хаубрих, Мариано Фахардо, Хервиг Марбл. // *Металдар*. 2021. Т. 11. Б. 1031-1052 (ағылшын тілінде)
12. Абрамов А.А. Түсті металл кендерін өңдеу және байыту технологиясы. 3 Том. Кітап 2. Rb, Рb-Cu, Zn, Рb-Zn, Рb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Nd құрамында кендер бар: М: МГМУ, 2005, Б. 470 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Arvind Upadhyay. *Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy practices in the mining industry.* / Arvind Upadhyay, Tim Laing, Vikas Kumar, Manoj Dora. // *Resources Policy*. 2021. Vol. 72. Art. №102037 (in English)
2. B. González-Méndez. *Distribution of heavy metals polluting the soil near an abandoned mine in Northwestern Mexico.* / B. González-Méndez, R. Webster, R. Loredó-Portales, F. Molina-Freaner, R. Djellouli. // *Environmental Earth Sciences*. 2022. Vol. 81. Art. №176 (in English)
3. Kossoff D. *Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation.* / D. Kossoff, W.E. Dubbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin, K.A. Hudson-Edwards. // *Applied Geochemistry*. 2014. Vol. 51. P. 229-245 (in English)
4. Päivi Kinnunen. *A review of circular economy strategies for mine tailings.* / Päivi Kinnunen, Marjaana Karhu, Elina Yli-Rantala, Päivi Kivikytö-Reponen, Jarno Mäkinen. // *Cleaner Engineering and Technology*. 2022. Vol. 8. Art. №100499 (in English)
5. Natalia Araya. *Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis.* / Natalia Araya, Yendery Ramirez, Andrzej Kraslawski, Luis A. Cisternas. // *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 284. Art. №112060 (in English)
6. F.L. da Silva, F.G.S. Araújo, M.P. Teixeira, R.C. Gomes, F.L. von Krüger. *Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic.* // *Ceramics International*, 2014. – Vol. 40. – Issue 10. – Part B. – P. 16085-16089 (in English)
7. Ahad Barzegar Ghazi, Ahmad Jamshidi-Zanjani, Hamidreza Nejati. *Utilization of copper mine tailings as a partial substitute for cement in concrete construction.* / Ahad Barzegar Ghazi, Ahmad Jamshidi-Zanjani, Hamidreza Nejati. // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 317. Art. №125921 (in English)
8. Zhigang Yin. *Evaluation of the possibility of copper recovery from tailings by flotation through bench-scale, commissioning, and industrial tests.* / Zhigang Yin, Wei Sun, Yuehua Hu, Chenhu Zhang, Qingjun Guan, Kangping Wu. // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 171. P. 1039-1048 (in English)
9. Pier Paolo Manca. *The flotation of sphalerite mine tailings as a remediation method.* / Pier Paolo Manca, Giorgio Massacci, Davide Pintus, Giulio Sogos. // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 165. Art. №106862 (in English)
10. Kasongo K.B. *Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings.* / K.B. Kasongo, M.H. Mwanat, Ngamba Guellord, Merveille Kimpiab, K. Fabrice Kapiamba. // *Results in Engineering*. 2021. Vol. 9. Art. №100207 (in English)
11. Malte Drobe. *Processing Tests, Adjusted Cost Models and the Economies of Reprocessing Copper Mine Tailings in Chile.* / Malte Drobe, Frank Haubrich, Mariano Gajardo, Herwig Marbler. // *Metals*. 2021. Vol. 11. P. 1031-1052 (in English)
12. Abramov A.A. *Tekhnologiya pererabotki i obogasheniya rud tsvetnykh metallov. Tom 3. Kniga 2. Rb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, So-, Bi-, Sb-, Ng- soderzhashchie rudy: M: MGGU, 2005, S. 470 [Abramov A.A. Technology of processing and enrichment of non-ferrous metal ores. Volume 3. Book 2. Rb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Nd-containing ores: M: MGSU, 2005, P. 470] (in Russian)*

Информация об авторах:

Мамбеталиева А.Р., доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.mambetalieva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

Макашева Г.К., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), mguldanka@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>

Тусупбекова Т.Ш., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), tansholpan_87.09@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

Мугинов А.О., инженер-исследователь ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), aibek92.29@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-5130-8396>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мамбеталиева А.Р., PhD докторы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға оқытушысы Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Түсіпбекова Т.Ш., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Макашева Г.К., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Мугинов А.О., «КазГидроМедь» ЖШС инженер-зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Mambetalieva A.R., PhD, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Tusupbekova T.Sh., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Makasheva G.K., Doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Muginov A.O., Research Engineer at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)