

Код МРНТИ 53.37.13

*Г.К. Макашева¹, Л.М. Каримова², Б.С. Баимбетов¹, С.В. Мамяченков³¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²ТОО «КазГидроМедь», ТОО «Инновация» (г. Караганда, Казахстан),³ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОГАЩЕНИЮ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЧЕРНОВОГО МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Аннотация. На сегодняшний день отсутствует экономически целесообразная технология переработки лежалых медных хвостов. Однако данный техногенный вид сырья кроме меди содержит железо, серебро и диоксид кремния. В связи с этим проведены лабораторные исследования по определению оптимального флотационного режима, позволяющего эффективно извлекать медь в черновой концентрат из лежалых медных хвостов обогатительной фабрики. Предложенная схема включает предварительную классификацию лежалых медных хвостов с последующей медной флотацией. Данный вариант технологии позволил получить «черновой медный» концентрат, содержащий 4,40% меди и 77,03 г/т серебра, при извлечении 46,75% и 46,99%. Исследованиями по спеканию чернового концентрата с щелочью установлено, что в интервале температур 250-500 °С извлечение кремнезема в раствор увеличивается с 59,96% до 70,40%, а содержание меди повышается с 4,40% до 5,37%.

Ключевые слова: лежалые хвосты, флотация, спекание, фазовый состав, черновой концентрат, предварительная классификация.

Жартылай тазартылған мыс концентратын алу арқылы жатып қалған қалдықты байыту бойынша зерттеулер

Андатпа. Бүгінгі таңда мыс қалдықтарын қайта өңдеудің экономикалық тиімді технологиясы жоқ. Алайда, шикізаттың бұл техногендік түрі мыстан басқа, құрамында темір, күміс және кремний диоксиді бар, осыған байланысты байыту фабрикасының мыс қалдықтарынан мысты өрескел концентратқа тиімді шығаруға мүмкіндік беретін оңтайлы флотациялық режимді анықтау үшін зертханалық зерттеулер жүргізілді. Ұсынылған схема жезден жасалған күйрықтардың алдын-ала жіктелуін, содан кейін мыс флотациясын қамтиды. Технологияның бұл нұсқасы 46,75% және 46,99% алу кезінде 4,40% мыс және 77,03 г/т күмістен тұратын «өрескел мыс» концентратын алуға мүмкіндік берді. Жартылай тазартылған концентратты сілтімен агломерациялау бойынша зерттеулер 250-500 °С температура аралығында кремний диоксидін ерітіндіге шығару 59,96%-дан 70,40%-ға дейін артады, ал мыс құрамы 4,40%-дан 5,37%-ға дейін артады.

Түйінді сөздер: жатып қалған қалдықтар, флотация, агломерация, фазалық құрам, жартылай тазартылған концентрат, алдын-ала жіктеу.

Studies on the enrichment of stale tailings to obtain rough copper concentrate

Abstract. To date, there is no economically feasible technology for processing stale copper tailings. However, this technogenic type of raw material, in addition to copper, contains iron, silver and silicon dioxide, and therefore laboratory studies have been conducted to determine the optimal flotation regime that allows efficient extraction of copper into a rough concentrate from the stale copper tailings of the concentrator. The proposed scheme includes a preliminary classification of stale copper tailings followed by copper flotation. This variant of the technology made it possible to obtain a «rough copper» concentrate containing 4.40% copper and 77.03 g/t silver, while extracting 46.75% and 46.99%. Studies on sintering of rough concentrate with alkali have found that in the temperature range of 250-500 °C, the extraction of silica into solution increases from 59.96% to 70.40%, and the copper content increases from 4.40% to 5.37%.

Key words: stale tailings, flotation, sintering, phase composition, rough concentrate, preliminary classification.

Введение

В условиях растущей потребности в сырье и увеличения производственных мощностей отмечается значительное повышение объемов переработки минерального сырья [1-6]. Это приводит к резкому росту объемов отходов, таких как хвосты, шламы и шлаки, которые серьезно загрязняют окружающую среду. В связи с этим предъявляются все более строгие экологические требования, что стимулирует активное вовлечение в хозяйственный оборот вторичных техногенных источников полезных ископаемых [2, 5].

На сегодняшний день отсутствует экономически целесообразная технология переработки лежалых медных хвостов. Однако данный техногенный вид сырья кроме меди содержит железо, серебро и диоксид кремния [4, 5].

В последнее время повышенное внимание во всем мире уделяется разработке эффективных гидрометаллургических методов переработки отходов обогатительных фабрик. Гидрометаллургические технологии обеспечивают низкую себестоимость получения металлов и оказывают значительно меньшее вредное воздействие на окружающую среду. В условиях снижения качества рудного сырья и повышения экологических требований преимущества гидрометаллургической переработки очевидны [6, 7].

В результате кислотной переработки минерального кремнийсодержащего сырья может образоваться кек, содержащий в своем составе значительное количество крем-

ния. Кремнийсодержащий кек может являться сырьем для производства осажденного диоксида кремния – «белой сажи», поэтому представляют интерес способы его получения [8].

Продукт химической переработки кремнийсодержащего сырья (белая сажа) является осажденным гидратированным кремнеземом ($mSiO_2 \cdot nH_2O$) и представляет собой тонкодисперсный порошок, содержащий до 90% SiO_2 . Применяется в промышленности искусственной кожи и пленочных материалов, в качестве адсорбента, наполнителя в лакокрасочных композициях, для сгущения и упрочнения различных сред. Широко применяется в шинной и резинотехнической промышленности как активный минеральный наполнитель, образующий непрерывную сеточную структуру между частицами SiO_2 и органическим полимером, что приводит к повышению прочности и модуля эластичности резины [9].

Таким образом, требуется усовершенствование существующих и разработка новых методов и технологий переработки отходов горно-металлургического производства с целью получения качественных товарных продуктов или промпродуктов, используемых в дальнейших процессах обработки [10].

Цель работы – исследования обогатимости и разработка технологии вторичной переработки лежалых хвостов Жезказганской обогатительной фабрики с получением промпродуктов, пригодных для дальнейшей переработки.

Материалы и методы

Для проведения исследования использовали лежалые медные хвосты Жезказганской обогатительной фабрики.

Аналитические исследования выполнялись на атомно-абсорбционном, рентгеноспектральном и химическом фазовом анализе и осуществлялись в специализированной аттестованной химико-аналитической лаборатории.

Флотационное обогащение выполнялось на стандартных лабораторных механических флотационных машинах типа Механобр с объемом камер 3, 1.0 и 0.5 л.

Для исследования были применены следующие реагенты: известь – регулятор pH, сернистый натрий – активатор, ксантогенат бутиловый – собиратель, МИБК – пенообразователь и жидкое стекло.

Проведены исследования дифференциально-термического анализа черного концентрата и смеси концентрата со щелочью (*NaOH*). Термический анализ пробы выполнен на приборе PerkinElmer с навеской 23,3 мг при скорости нагрева 20 град/мин, от 50 до 810 °С в корундовых тиглях.

Химический состав лежалых медных хвостов представлен на рисунке 1.

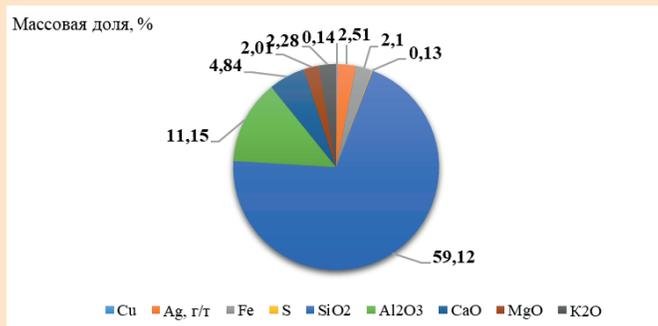


Рис. 1. Химический состав лежалых медных хвостов.

Сурет 1. Жатын мыс қалдықтарының химиялық құрамы.

Figure 1. Chemical composition of stale copper tailings.

Содержание основных ценных компонентов составило: меди – 0,14%, диоксида кремния – 59,12%, сера – 0,13%,

железа – 2,10% и серебра – 2,51 г/т. Содержание породных компонентов составило: оксидов алюминия 11,15%, кальция 4,84% и магния 2,01%.

Фазовый состав хвостов на формы соединений меди представлен в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что медь представлена сульфидными (21,53%) и окисленными (78,47%) соединениями, из окисленных – хризоколла составляет 44,44%. Исследуемая проба хвостов относится к окисленному типу.

Результаты и обсуждение

В ходе работы определено влияние предварительной классификации [11] исходной пробы на процесс флотации для повышения качественно-количественных показателей.

Схема и условия проведения лабораторных опытов приведены на рисунке 2 и в таблице 2.

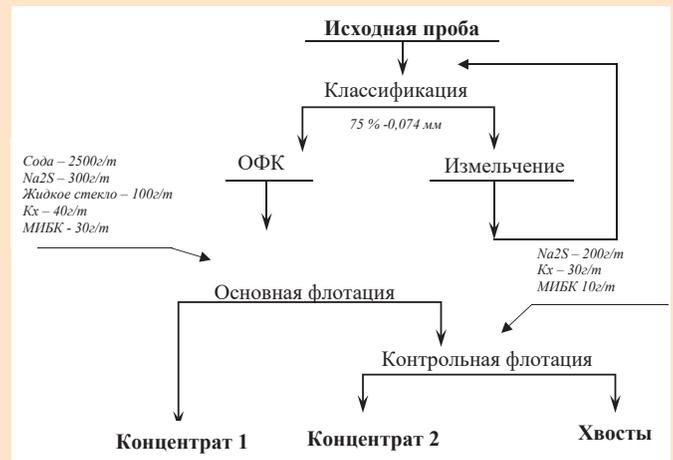


Рис. 2. Схема проведения опыта.
Сурет 2. Тәжірибе өткізу схемасы.
Figure 2. The scheme of the experiment.

Результаты таблицы 2 показывают, что при проведении предварительной классификации хвостов качественно-количественные показатели повышаются: извлечение меди на 1,84%, серебра на 0,87% и диоксида кремния 0,41%. Содержание серебра в концентрате увеличивается на 0,51%, а выход снижается на 0,95%.

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Фазовый состав меди в лежалых хвостах

Жатын мыс қалдықтарының фазалық құрамы

Phase composition of copper in stale tails

Форма нахождения металла	Содержание <i>Сu</i> , % (абс.)	Распределение <i>Сu</i> , % (отн.)
Сульфидных минералов, в т. ч.:	0,031	21,53
Вторичных	0,023	15,97
Первичных	0,008	5,56
Окисленных минералов, в т. ч.:	0,113	78,47
Хризоколла	0,064	44,44

Таблица 2

Результаты опытов по определению влияния предварительной классификации

Кесте 2

Алдын ала жіктеудің әсерін анықтау бойынша тәжірибелердің нәтижелері

Table 2

The results of experiments to determine the effect of the preliminary classification

Продукт	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Ag, г/т	SiO ₂	Cu	Ag	SiO ₂
Опыт №1 (без классификации)							
Концентрат основной флотации	11,89	0,46	9,75	42,52	38,17	46,19	8,55
Концентрат контрольной флотации	7,34	0,29	3,97	36,23	14,99	11,62	4,50
Σ Концентрат	19,23	0,4	7,54	40,12	53,16	57,81	13,05
Хвосты	80,77	0,079	1,31	63,64	46,84	42,19	86,95
Исходная проба	100,0	0,14	2,51	59,12	100,0	100,0	100,0
Опыт №2 (с предварительной классификацией)							
Концентрат основной флотации	10,27	0,52	11,34	51,56	37,09	46,42	8,96
Концентрат контрольной флотации	8,01	0,32	3,84	50,81	17,91	12,26	6,88
Σ Концентрат	18,28	0,43	8,05	51,23	55	58,68	15,84
Хвосты	81,72	0,079	1,27	60,88	45	41,32	84,16
Исходная проба	100,0	0,14	2,51	59,12	100,0	100,0	100,0

По результатам ранее проведенных исследований была разработана технологическая схема, приведенная на рисунке 3 и результаты в таблице 3.

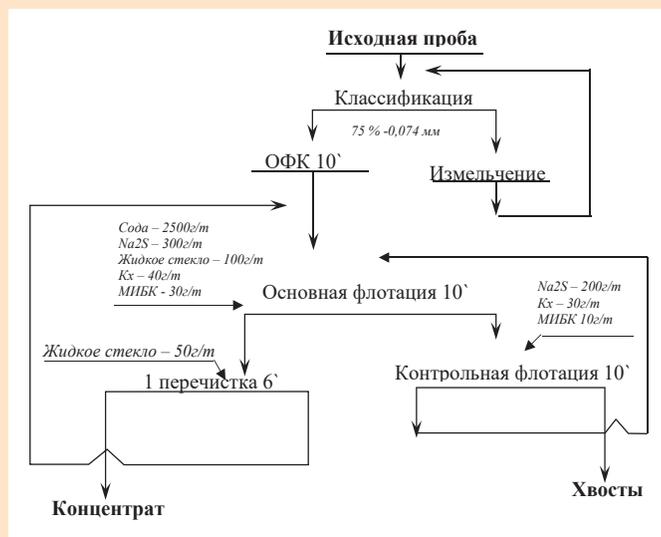


Рис. 3. Схема проведения замкнутого опыта для наработки концентрата.

Сурет 3. Концентрат жинақтау үшін тұйық тәжірибе жүргізу схемасы.

Figure 3. The scheme of conducting a closed experiment for the production of concentrate.

В ходе замкнутого опыта по разработанной технологической схеме и подобранному реагентному режиму получен медный концентрат со следующими характеристиками (таблица или текст):

- выход – 1,53%;
- содержание:
 - меди 4,40%;
 - серебра 77,03 г/т;
 - диоксида кремния 37,02%.
- извлечение:
 - меди 46,75%;
 - серебра 46,99%;
 - диоксида кремния 0,96%.

Полученный концентрат использовали для исследований по спеканию с щелочью. Химический и фазовый составы концентрата представлены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Содержание основных компонентов в черновом концентрате

Кесте 3

Өрескел концентраттағы негізгі компоненттердің құрамы

Table 3

The content of the main components in the rough concentrate

Содержание компонентов, %		Содержание компонентов, %	
Cu	4,40	Al/Al ₂ O ₃	5,394/10,195
Fe	15,56	Ag, g/m	77,03
Zn	0,151	Si/SiO ₂	17,3/37,02
Pb	0,135		

Содержание основных ценных компонентов составило: меди – 4,40%, серебра – 77,03 г/т.

Таблица 4

Фазовый состав меди в черновом концентрате

Кесте 4

Өрескел концентраттағы мыстың фазалық құрамы

Table 4

Phase composition of copper in rough concentrate

Форма нахождения	Содержание Cu, % (абс.)	Распределение Cu, % (отн.)
Cu сульфидных минералов	3,50	79,545
Cu окисленных минералов	0,9	20,455
Итого	4,40	100

Медь в концентрате представлена сульфидными минералами – на 79,545%, окисленными – на 20,455%.

Насыпная масса концентрата составила 1,78 г/см³, удельная плотность – 3,21 г/см³.

С использованием дифрактометра «D2 Phaser» определен фазовый состав концентрата: кварц (39,4%), плагиоклаз (33%), халькопирит (8,7%), хлорит (8%), слюда – глауконит (16%), пирит (10%) (рис. 4).

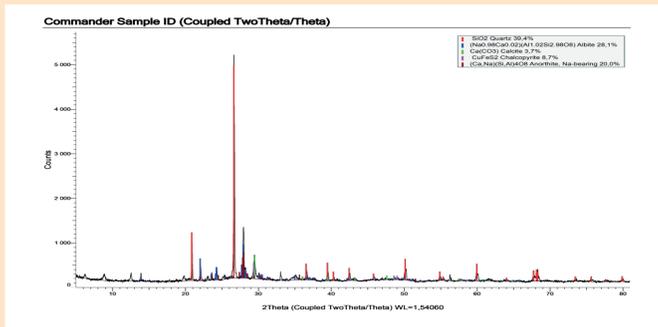


Рис. 4. Дифрактометрический анализ черного медного концентрата.

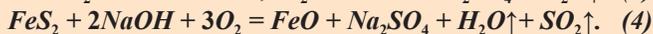
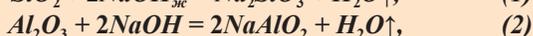
Сурет 4. Мыс концентратының дифрактометриялық талдауы.

Figure 4. Diffractometric analysis of a rough copper concentrate.

С целью определения количества тепла химических реакций при спекании черного медного концентрата с гидроксидом натрия проводили термохимические расчеты.

Исходные данные по теплоте образования основных компонентов процесса определяли по справочнику [12].

Основные реакции спекания могут быть выражены следующими взаимодействиями:



По приведенным реакциям получаются следующие значения теплоты процессов ($\Delta_f H$) (при стандартной температуре):

$$\Delta_f H_1 = -1554,9 - 241,8 - (-2 \cdot 419,2 - 910,7) = -47,6 \text{ кДж/моль } \text{SiO}_2,$$

$$\Delta_f H_2 = -2 \cdot 1133 - 241,8 - (-2 \cdot 419,2 - 1675,7) = 6,3 \text{ кДж/моль } \text{Al}_2\text{O}_3,$$

$$\Delta_f H_3 = -2 \cdot 157,3 - 1387,1 - 241,8 - (-79,5 - 2 \cdot 419,2) = -1025,6 \text{ кДж/моль } \text{Cu}_2\text{S},$$

$$\Delta_f H_4 = -100,0 - 1387,1 - 241,8 - 296,8 - (-178,2 - 2 \cdot 419,2) = -1009,1 \text{ кДж/моль } \text{FeS}_2.$$

Указанные величины отнесены к 1 молью основных компонентов концентрата, но при расчетах необходимо учитывать содержание этих компонентов в концентрате, чтобы получить их суммарное тепловое воздействие.

По исходным данным приведены следующие содержания элементов в концентрате, %: SiO_2 – 37,02; Al_2O_3 – 10,195; Cu – 4,40 (3,50 сульфидных минералов); Fe – 15,56. При пересчете значений ΔH соединений на элементы с учетом формульных единиц элементов и стехиометрических коэффициентов получаем сводку $\Delta_f H^0$:

$$\Delta_f H^0_1 = -47,6/1 = -47,6 \text{ кДж/г} - \text{атом Si},$$

$$\Delta_f H^0_2 = 6,3/2 = 3,15 \text{ кДж/г} - \text{атом Al},$$

$$\Delta_f H^0_3 = -1025,6/2 = -512 \text{ кДж/г} - \text{атом Cu},$$

$$\Delta_f H^0_4 = -962,5/1 = -962,5 \text{ кДж/г} - \text{атом Fe}.$$

При расчете на 1 тонну концентрата получаем развернутое уравнение для тепла химических реакций спекания черного концентрата с едким натрием:

$$\Delta H_{\text{спек}} = 10^4 \cdot \left(\frac{\Delta H_1 \alpha_{\text{Si}}}{M_{\text{Si}}} + \frac{\Delta H_2 \alpha_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} + \frac{\Delta H_3 \alpha_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}}} + \frac{\Delta H_4 \alpha_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} \right), \text{ кДж/т},$$

где: α – содержание элемента в концентрате, %;

M – атомная масса элемента, г.

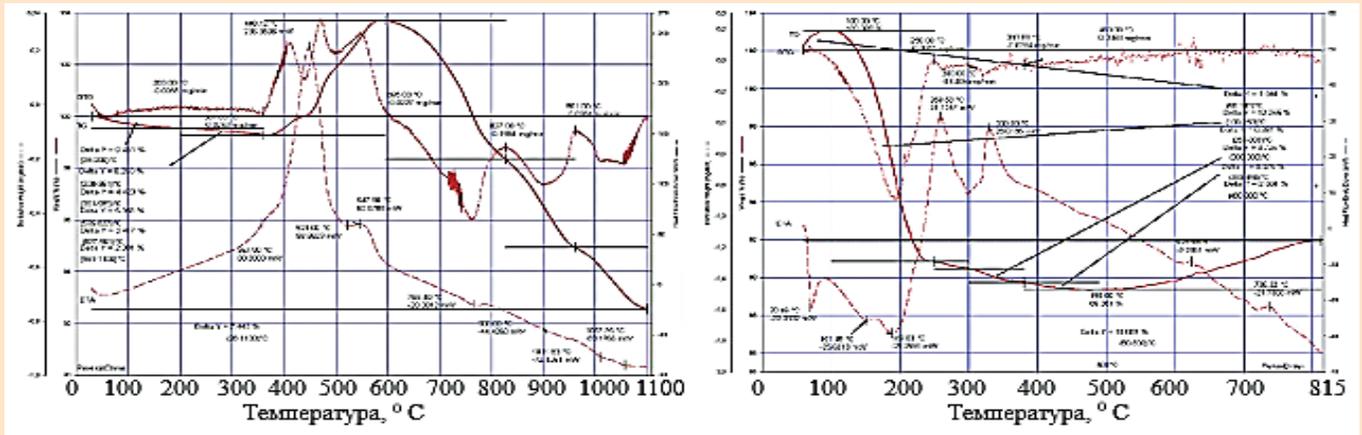
После подстановки всех численных значений $\Delta_f H^0_1 - \Delta_f H^0_4$ и M общее уравнение для расчета тепла химических реакций при любом содержании Si , Al , Cu , Fe с использованием данных $\Delta_f H^0$ только при стандартной температуре:

$$\Delta_f H_{\text{спек}} = -16946 \alpha_{\text{Si}} + 1168 \alpha_{\text{Al}} - 80566 \alpha_{\text{Cu}} - 172337 \alpha_{\text{Fe}}, \text{ кДж/т}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что наибольшее влияние на выделение тепла имеет содержание железа, далее меди и кремния, а алюминий способствует поглощению тепла, но с относительно малым влиянием. При подстановке содержания этих элементов в изучаемом черновом концентрате в формулу находим:

$$\Delta H_{\text{спек}} = -16946 \cdot 17,3 + 1168 \cdot 5,394 - 80566 \cdot 3,50 - 172337 \cdot 15,56 = -293166_{(\text{Si})} + 6300,19_{(\text{Al})} - 354490_{(\text{Cu})} - 2681563,7_{(\text{Fe})} = -3250410 \text{ кДж/т}.$$

Приведенные данные показывают, что наибольший вклад в выделение тепла относится к железу (60%), второе меньший и поровну (19%) дают медь и кремний и около 0,2% поглощается за счет алюминия. С переводом в кВт·ч тепловой эффект спекания составит -900,36 кВт·ч/т концентрата.



а – исходного концентрата; б – концентрата с щелочью

Рис. 5. Дифференциально-термический анализ концентрата.
Сурет 5. Концентраттың дифференциалды-термиялық талдауы.
Figure 5. Differential thermal analysis of the concentrate.

Результаты дифференциально-термического анализа исходного концентрата и смеси концентрата с NaOH приведены на рис. 5, а, б.

По данным рисунка 4, общее изменение массы составляет 10,1%, прибыль массы от 50 до 100 °С составляет около 1% (прибыль от 28 до 100 °С равна 3.1%), на кривой ДТА этой прибыли соответствует: эндоэффект при 70,5 °С; двойному эндоэффекту при 151,5 и 189 °С соответствует убыль массы – 12,3%. На кривой ДТА выявлены два экзоэффекта при 259,5 и 330 °С, которые сопровождаются небольшими потерями массы – 0,4% и 0,7% соответственно. При температурах выше 490 °С начинается прибыль массы на 2,6%.

Проведены исследования по спеканию концентрата с щелочью в интервале температур 250-500 °С и при соотношении концентрата к щелочи 1:2. Водное выщелачивание спека проводили при температуре 60 °С; Ж:Т = 3:1; продолжительности 60 минут. Полученные результаты экспериментов представлены на рис. 6.

Как видно из рис. 5, содержание меди в кеке после водного выщелачивания спека черного концентрата с гидроксидом натрия увеличилось с 4,40% до 5,37%, соответственно и повысилось извлечение кремния в раствор с 59,96% до 70,40%.

Выводы

Проведены исследования по флотационному обогащению лежалых медных хвостов Жезказганской обогатительной фабрики. Разработана рекомендуемая технологическая схема переработки лежалых медных хвостов, включающая: предварительную классификацию хвостов с доизмельчением «песков»; операцию оттирки в ОФК; основную и контрольную флотацию и с одной перечистой операцией.

Предварительная классификация лежалых медных хвостов позволит повысить содержание меди в черновом концентрате основной флотации с 1,04% до 1,12%, серебра от 16,58 г/т до 18,69 г/т.

Проведены замкнутые опыты по разработанной схеме, в ходе которых получен черновой концентрат со-

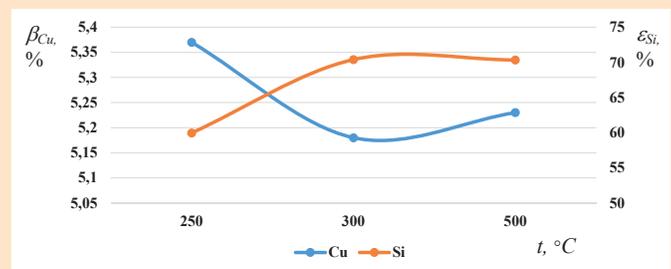


Рис. 6. Химический состав кека после водного выщелачивания в зависимости от температуры спекания концентрата (β_{Cu} – содержание меди в кеке, %; ϵ_{Si} – извлечение кремния в раствор, %).

Сурет 6. Концентраттың агломерация температурасына байланысты сумен шаймалаудан кейінгі кектің химиялық құрамы (β_{Cu} – кектегі мыс мөлшері, %; ϵ_{Si} – ерітіндіге кремний байыту мөлшері, %).

Figure 6. The chemical composition of the cake after aqueous leaching, depending on the sintering temperature of the concentrate (β_{Cu} – the copper content in the cake, %; ϵ_{Si} – extraction of silicon into solution, %).

держанием меди 4,40% и серебра 77,03 г/т, при извлечении 46,75% и 46,99% выход концентрата составил 1,53%.

Получено уравнение для расчета тепла химических реакций спекания черного концентрата. Согласно этому уравнению, наибольший вклад в выделение тепла обеспечивает содержание железа (60%), второе меньшее и поровну (19%) – медь и кремний, и около 0,2% поглощается за счет алюминия. Тепловой эффект спекания составит -920,45 кВт·ч/т концентрата.

Дифференциально-термическими исследованиями черного концентрата и смеси концентрата с щелочью (NaOH) установлен эндоэффект при 70,5 °С и двойной

эндоэффект при 151,5 и 189 °С. Два экзоэффекта при 259,5 и 330 °С, которые сопровождаются небольшими потерями массы – 0,4% и 0,7% соответственно.

Проведены исследования по спеканию концентрата с щелочью при соотношении 1:2 в интервале температур 250-500 °С. Установлено, что содержание меди в кеке после водного выщелачивания спека черного концентрата

увеличилось с 4,40% до 5,37%, извлечение кремния в раствор повышается с 59,96% до 70,40%.

Финансирование

Работа выполнена по грантовому проекту АР 19675340, финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аскарова Н.М. Инновационный подход к подготовке отвальных медного производства для дальнейшей переработки. / Н.М. Аскарова, А.У. Самадов. // *Universum: технические науки*. 2020. №11-5 (80). С. 45-47 (на русском языке)
2. Кашина П. Исследование переноса загрязняющих веществ в подземных водах из хвостохранилища уранового рудника: тематическое исследование. / П. Кашина, В. Харша, А. Мангалпади. // *J. Mining Miner*. 2010. Т.2. №4. С. 290-309 (на английском языке)
3. Касонго К.Б. Статистическое исследование параметров флотации для извлечения меди из хвостов сульфидной флотации. / К.Б. Касонго, М. Ванг М.Х., Нгамба Геллорд, Мервей Кимпиаб, К. Фабрис Капьямба. // *Результаты в инженерном деле*. 2021. Т. 9. ст. №100207 (на английском языке)
4. Пьер Паоло Манка. Флотация хвостов обогащения сфалеритовых руд как метод рекультивации. / Пьер Паоло Манка, Джорджио Массаччи, Давид Пинтус, Джулио Согос. // *Минеральная инженерия*. 2021. Т. 165. ст. №106862 (на английском языке)
5. 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)
6. Киореску А.В. Способы интенсификации процессов выщелачивания за счет применения микроволнового излучения. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015. С. 346-350 (на английском языке)
7. Фомченко Н.В. Выщелачивание цветных металлов из металлургических шлаков растворами трехвалентной кислоты, полученными методом биоокисления. / Н.В. Фомченко, А.А. Каинова, М.И. Муравьев. // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2013. №1 (15). Т. 4. С. 119-123 (на английском языке)
8. Бочевская Е.Г. Осаждение аморфного диоксида кремния из силикатных растворов, полученных после переработки минеральной высококремнистой руды. / Е.Г. Бочевская, З.Б. Каршигина, Э.А. Саргелова, З.С. Абишева. // *Вестник науки и образования*. 2017. №12 (36). Т. 1. С. 18 (на русском языке)
9. Нажарова Л.Н. Получение микрочастиц «белой сажи» из кислых золей. / Л.Н. Нажарова, Д.И. Галимбекова. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. С. 284-287 (на русском языке)
10. Аскарова Н.М. Комплексная переработка техногенных отходов (хвостов) после флотации шлаков меди производства. // *Universum: технические науки*. 2023. №3 (108). С. 33-35 (на русском языке)
11. Интогарова Т.И. Актуальность флотационной классификации в замкнутом цикле измельчения. / Т.И. Интогарова, О.С. Валиева, Ю.П. Морозов. // *Физический журнал: Серия конференций*. 2021. С. 1-7 (на английском языке)
12. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник: Минск: Современная школа, 2005, С. 608 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Асқарова Н.М. Әрі қарай өңдеу үшін үйінді мыс өндірісін дайындаудың инновациялық тәсілі. / Асқарова Н. М., Самадов А.У. // *Universum: техникалық ғылымдар*. 2020. №11-5 (80). Б. 45-47 (орыс тілінде)
2. Кашина П. Уран кенішінің қалдық қоймасынан жер асты суларындағы ластаушы заттардың тасымалдануын зерттеу: жағдайлық зерттеу. / П. Кашина, В. Харша, А. Мангалпади. // *J. Mining Miner*. 2010. Т. 2. №4. Б. 290-309 (ағылшын тілінде)
3. Касонго К.Б. Сульфидті флотация құйрықтарынан мыс алу үшін флотация параметрлерін статистикалық зерттеу. / К.Б. Касонго, М. Ванг М.Х., Нгамба Гиллард, Мервей Кимпиаб, К. Фабрис Капьямба. / *Инженерлік саладағы нәтижелер*. 2021. Т. 9. мақ. №100207 (ағылшын тілінде).

4. Пьер Паоло Манка. Сфалерит кендерін байыту қалдықтарын қалпына келтіру әдісі ретінде флотациялау. / Пьер Паоло Манка, Джорджио Массаччи, Дэвид Пинтус, Джулио Согаз. // *Минералды инженерия*. 2021. Т. 165. мақ. №106862 (ағылшын тілінде)
5. Мальте Фракс. Технологялық сынақтар, түзетілген шығындар модельдері және Чилидегі мыс кеніштерінің қалдықтарын қайта өңдеу экономикасы. / Мальте Фракс, Фрэнк Хаубрих, Мариано Фахардо, Хервиг Марбл. // *Металдар* 2021. Т. 11. Б. 1031-1052 (ағылшын тілінде)
6. Киореску А.В. Микротолқынды сәулеленуді қолдану арқылы шаймалау процесстерін күшейту Жолдары. // *Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетені*. 2015. Б. 346-350 (ағылшын тілінде)
7. Фомченко Н.В. Түсті металдарды металлургиялық қождардан биоксидтеу әдісімен алынған темір қышқылының ерітінділерімен сілтілеу. / Н.В. Фомченко, А.А. Кайнова, М.И. Муравьев. // *Мәскеу мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы*. 2013. №1 (15). Т. 4. 2013. Б. 119-123 (ағылшын тілінде)
8. Бочевская Е. Г. Минералды жоғары кремний кендерін өңдеуден кейін алынған силикат ерітінділерінен аморфты кремний диоксидін тұндыру. / Е.Г. Бочевская, З.Б. Каршигина, Э.А. Саргелова, З.С. Абишева. // *Ғылым және білім хабаршысы*. 2017. №12 (36). Т. 1. Б. 18 (орыс тілінде)
9. Назарова Л.Н. Қышқыл күлден «ақ күйе» микробөлшектерін алу. / Л.Н. Назарова, Д.И. Галимбекова. // *Қазан технологиялық университетінің хабаршысы*. 2010. Б. 284-287 (орыс тілінде)
10. Асқарова Н.М. Өндірістің мыс шлактарын флотациялаудан кейін техногендік қалдықтарды (қалдықтарды) кешенді қайта өңдеу. // *Universum: техникалық ғылымдар*. 2023. №3 (108). Б. 33-35 (орыс тілінде)
11. Интогарова Т.И. Жабық ұнтақтау цикліндегі флотациялық классификацияның өзектілігі. / Т.И. Интогарова, О.С. Валиева, Ю.П. Морозов. // *Физика журналы: конференция Сериясы*. 2021. Б. 1-7 (ағылшын тілінде)
12. Волков А.И., Жарский И.М. *Үлкен химиялық анықтама: Минск: қазіргі мектеп, 2005. Б. 608 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. Askarova N.M. *Innovatsionnyi podkhod k podgotovke otval'nykh mednogo proizvodstva dlya dal'neishe pererabotki*. / N.M. Askarova, A.U. Samadov. // *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2020. №11-5 (80). S. 45-47 [Askarova N.M., Samadov A.U. *An innovative approach to the preparation of dump copper production for further processing*. / N.M. Askarova, A.U. Samadov. // *Universum: technical sciences*. 2020. №11-5 (80). P. 45-47] (in Russian)
2. Kashinath P. *Investigation of contaminant transport in groundwater from the tailings pond of uranium mine: a case study*. / Kashinath P., Harsha V., Mangalpady A. // *Int. J. Mining Miner. Eng.* 2010. Vol. 2. №4. P. 290-309 (in English)
3. Kasongo K.B. *Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings*. / Kasongo K. B., Mwanat M.H., Ngamba G., Merveille K., Fabrice K.K. // *Results in Engineering*. 2021. Vol. 9. art. №100207 (in English)
4. Pier P.M. *The flotation of sphalerite mine tailings as a remediation method*. / Pier P.M., Giorgio M., Davide P., Giulio S. // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 165. art. №106862 (in English)
5. Malte D. *Processing Tests, Adjusted Cost Models and the Economies of Reprocessing Copper Mine Tailings in Chile*. / Malte D., Frank H., Mariano G., Herwig M. // *Metals*. 2021. Vol. 11. P. 1031-1052 (in English)
6. Kioresku A.V. *Ways to intensify leaching processes by applying microwave radiation*. // *Mining bulletin*. 2015. P. 346-350 (in English)
7. Fomchenko N.V. *Leaching of non-ferrous metals from metallurgical slags by ferric acid solutions obtained by biooxidation*. / Fomchenko N.V., Kainova A.A., Muraviev M.I. // *Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI*. 2013. №1 (15). Vol. 4. P. 119-123 (in English)
8. Bochevskaya E.G. *Osazhdenie amorfnogo dioksida kremniya iz silikatnykh rastvorov, poluchennykh posle pererabotki mineral'noi vysokokremnistoi rudy*. / E.G. Bochevskaya, Z.B. Karshigina, E.A. Sargelova, Z.S. Abisheva. // *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2017. №12 (36). Т. 1. S. 18 [Bochevskaya E.G. *Precipitation of amorphous silicon dioxide from silicate solutions obtained after processing of mineral high-siliceous ore*. / E.G. Bochevskaya., Z.B. Karshigina, E.A. Sargelova, Z.S. Abisheva. // *Bulletin of science and education*. 2017. №12 (36). Vol. 1. P. 18] (in Russian)
9. Nazharova L.N. *Poluchenie mikrochastits «beloi sazhi» iz kislykh zolei*. / L.N. Nazharova, D.I. Galimbekova. // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2010. S. 284-287

[Nazharova L.N. Production of microparticles of «white soot» from acid sols. / Nazharova L.N., Galimbekova D.I. // Bulletin of Kazan Technological University. 2010. P. 284-287] (in Russian)

10. Askarova N.M. Kompleksnaya pererabotka tekhnogennykh otkhodov (khvostov) posle flotatsii shlakov medi proizvodstva. // Universum: tekhnicheskie nauki. 2023. №3 (108). S. 33-35 [Askarova N.M. Complex processing of technogenic waste (tailings) after flotation of copper slag production. // Universum: technical sciences. 2023. №3 (108). P. 33-35] (in Russian)
11. Intogarova T.I. The relevance of flotation classification in a closed grinding cycle. / Intogarova T.I., Valieva O.S., Morozov Y.P. // Journal of Physics: Conference Series. 2021. P. 1-7 (in English)
12. Volkov A.I., Zharskii I.M. Bol'shoi khimicheskii spravochnik: Minsk: Sovremennaya shkola, 2005, S. 608 [Volkov A.I., Zharsky I.M. The Great Chemical Handbook: Minsk: Modern School, 2005, P. 608] (in Russian)

Информация об авторах:

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>

Каримова Л.М., д.т.н., доцент, начальник лаборатории металлургии ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), l.karimova@kazgidromed.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>

Баймбетов Б.С., к.т.н., доцент, профессор «Satbayev University» (г.Алматы, Казахстан), b.baimbetov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>

Мамяченков С.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов ИНМТ УрФУ (г. Екатеринбург, Россия), s.v.tamiachenkov@urfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4458-3792>

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Каримова Л.М., т.ғ.д., доцент, металлургия зертханасының бастығы ЖШС «КазГидроМедь» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Бәйімбетов Б.С., т.ғ.к., доцент, профессор «Satbayev University» (Алматы қ., Қазақстан)

Мамяченков С.В., д.ғ.т., профессор, УрФУ ИНМТ түсті металдар металлургиясы кафедрасының меңгерушісі (Екатеринбург қ., Ресей)

Information about the authors:

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

Karimova L.M., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Metallurgy Laboratory of Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Baimbetov B.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Mamyachenkov S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metallurgy of Non-ferrous Metals and NMT UrFU (Yekaterinburg, Russia)



+7 499 638-23-29

info@seymartec.ru

<https://seymartec.ru>

24-25
СЕНТЯБРЯ



SEYMARTEC ТОИР

ЧЕЛЯБИНСК | ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТОИР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
ТЭК, ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА
И МАШИНОСТРОЕНИЯ — 2024

