

Код МРНТИ 53.37.91

Н. К. Досмухамедов¹, Н. К. Айтенов¹, Л. И. Дитятковский², *Е. Е. Жолдасбай³¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²ООО «Институт «Стальпроект»» (г. Москва, Россия),³Жезказганский университет им. О. А. Байконурова (г. Жезказган, Казахстан)

К ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МНОКОМПОНЕНТНОГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ БАЯЛДЫРСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Аннотация. В работе получены дополнительные сведения о физико-химических характеристиках сложных по составу медь-, свинец содержащих оксидно-сульфидных отходах, полученных в результате деятельности Баялдырского свинцово-цинкового комбината. Приводятся результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку технологии переработки вторичной переработки отходов. Показана возможность разделения оксидной и сульфидной фаз путем интенсивной продувки расплава инертным газом (*Ar*) при температуре 1200 °С. Установлено, что при продувке расплава в течение 20 минут достигается полное разделение фаз с получением металлического свинца в донной фазе и что распределение меди в штейн достигает 93,71%, а свинца в черновой свинец – 7%. Подробно изучено распределение меди и свинца между продуктами плавки.

Ключевые слова: медь, свинец, отходы, разделение фаз, распределение, барботаж.

Баялдыр қалдық қорымының техногендік көп компонентті шикізатын өңдеу технологиясына

Аннотация. Жұмыста Баялдыр полиметалл комбинатының мырыш-қорғасын фабрикасынан жиналған мыс, қорғасын күрделі құрамды оксидті-сульфидтік қалдықтардың физикалық-химиялық сипаттамалары туралы қосымша мәліметтер алынған. Жиналған құрамы күрделі қоспаларды екіншілеі өңдеудің технологиялық сұлбасын қолға алу мақсатымен жүргізілген тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері берілген. Балқыманы 1200 °С температура кезінде инертті газбен (*Ar*) қарқынды барботаждау арқылы оксидтік және сульфидтік фазалардың бөлінуінің негізгі мүмкіндігі анықталған. Фазалардың металдық қорғасынның түзілуімен толық бөлінуіне балқыманы 20 минут үрлегеннен кейін қол жеткізуге болатыны дәлелденген. Мыстың штейнге бөлініп таралуы 93,71%-ға, ал қорғасынның қаралы қорғасынға 7%-ға жететіні анықталды. Терең деңгейде мыс пен қорғасынның алынған өнімдер арасындағы бөлініп таралуы зерттелді.

Түйінді сөздер: мыс, қорғасын, қалдықтар, фазалардың бөлінуі, бөлініп таралу, барботаж.

To the technology of processing multicomponent man-made raw materials of the Bayaldyr tailings mine

Abstract. The work provides additional information on the physico-chemical characteristics of complex copper-, lead-containing oxide-sulfide wastes obtained as a result of the Bayaldyr Lead-Zinc Combine. The results of experimental studies aimed at developing a recycling technology are presented. The possibility of separating the oxide and sulfide phases by intensive purging of the melt with an inert gas (*Ar*) at a temperature of 1200 °C is shown. It was found that when purging the melt for 20 minutes, complete phase separation is achieved with the production of metallic lead in the bottom phase. It was found that the distribution of copper in matte reaches 93.71%, and lead in rough lead – 7%. The distribution of copper and lead between smelting products has been studied in detail.

Key words: copper, lead, waste, phase separation, distribution, bubbling.

Введение

В хвостохранилищах горнопромышленного производства Казахстана накоплено ~6 млрд т техногенных минеральных образований, из которых 21% приходится на отвальные хвосты обогащения руд [1–3].

Технический уровень обогащения руд не обеспечивает комплексность использования сырья. С хвостами обогащения теряется значительная часть цветных, драгоценных, редких и редкоземельных металлов [4, 5].

Известны различные способы переработки хвостов обогатительных фабрик. На практике широко используются способы извлечения золота и серебра из хвостов с использованием цианирования и выщелачивания серной, соляной кислотой [6, 7]. В свое время намечалась активная тенденция по переработке хвостов обогатительных фабрик «ГМК КазахАлтын». Для извлечения из хвостов золота использовали методы кучного выщелачивания, гравитационной сепарации, сорбционного пульпового выщелачивания. Однако эти работы были прекращены ввиду низкой рентабельности и комплексности извлечения ценных металлов.

Изыскание новых технологий, направленных на решение комплексной переработки хвостов обогатительных фабрик, является актуальной задачей. Важность задачи усугубляется необходимостью решения экологических проблем. Негативное воздействие накопленных хвостов на здоровье человека и окружающую среду уже не может оставаться без внимания. Накопленные отходы занимают большие территории и выводятся из землепользования. Годовой выход техногенных минеральных образований

составляет ~250 млн т, из которых 24% приходится на хвосты обогатительных фабрик [1, 2].

Одним из рискованных объектов является Баялдырское хвостохранилище вблизи г. Кентау в Туркестанской области. Накопленный объем хвостов – около 150 млн т. Хвостохранилище занимает ~333,0 га земельной площади с открытой поверхностью [8]. Ликвидация Кентауской и Миргалимсайской обогатительных фабрик привела к прекращению поступления на поверхность хвостохранилища влажных шламов. Поверхностный слой отвала, состоящий из мелких частиц, полностью высох. Интенсивная ветровая эрозия поверхности хвостохранилища – основная экологическая проблема региона. При ветреной погоде образуется роза ветров с мелкими частицами, которые покрывают г. Кентау и окрестности г. Туркестан с густонаселенными селами. Повышенное загрязнение пылью атмосферного воздуха и поверхности почвы прилегающих районов привело к катастрофическим последствиям. В регионе наблюдается резкий рост легочной, сердечно-сосудистой и аспираторной заболеваемости здорового населения и детей. Растет социальная напряженность. В связи с приданием г. Туркестан статуса культурно-исторического и туристического центра, проблема утилизации отходов Баялдырского хвостохранилища как никогда стала обязательным условием поддержки экологически благополучного состояния окружающей среды и здоровья населения. Решение вопроса перешло под жесткий контроль государства.

Основная цель настоящей работы на основании изучения вещественного состава мышьяк-, золотосодержащего многокомпонентного техногенного сырья свинцовых фа-

брик и фазовых превращений, характерных при их термическом нагреве, проведение оценки возможности выделения свинцового продукта в начальной стадии разработки технологии для их переработки.

Исходные материалы и методы исследования

Исходные материалы. Для исследований в работе использованы две пробы свинцово-цинковых отходов Баялдырского хвостохранилища различной крупности: проба № 1 – перемешанные оксидно-сульфидные фазы различной крупности (~200 меш) и проба № 2 – в виде тонкой пыли.

Пробы свинцово-цинковых отходов обогатительных фабрик для исследований отобраны непосредственно на предприятиях, согласно существующим нормам и правилам по отбору проб представителями завода. В работе использован большой объем пробы с проведением многократных измерений на содержание в них искомых элементов. Полученные результаты усреднялись, что позволило снизить погрешность, связанную с локальными колебаниями состава.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждены экспериментальными данными и широким использованием статистических методов обработки результатов и применением комплекса физико-химических методов исследований.

Методы исследования. Для определения элементного и фазового состава использовали спектрометр Optima 2000 DV (производство Perkin Elmer Inc., США). Для контрольных измерений применены – рентгеновский дифрактометр D8 Advance; рентгенофлуоресцентный спектрометр с волновой дисперсией Venus 200 PANalytical B.V. (PANalytical B.V.,

Нидерланды), а также уникальный отечественный энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр РПП-21 (ТОО «АспапГЕО», г. Алматы), успешно эксплуатируемый на ряде обогатительных фабриках и металлургических заводах Казахстана. Прибор позволяет определять концентрации элементов в нижних пределах их обнаружения [9].

Содержание благородных металлов в пробах подтверждено методом химического анализа.

Дополнительные исследования фазового анализа исходной пыли проводились с использованием рентгеновского дифрактометра Bruker D8 ADVANCE, излучение α -Cu, напряжение на трубке 40 кВ, ток 40 мА. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз проводились по программе Search/match с использованием Базы порошковых дифрактометрических данных PDF-2.

Определение элементного состава проб пыли по вышеописанным методикам проводили дважды. За конечный результат элементного состава принимали среднее значение независимых измерений.

Использование широкого набора оборудования и комплексных методов анализа вещественного состава пыли позволило достичь высокой степени точности и надежности полученных экспериментальных данных.

Результаты элементного состава исходных проб представлены в таблице 1.

В таблице 2 показаны результаты фазового состава по основным компонентам пустой породы проб № 1 и № 2, которые практически идентичны между собой.

Таблица 1

Результаты элементного состава исходных проб

Кесте 1

Бастапқы сынамалардың элементтік құрамының нәтижелері

Table 1

Results of the elemental composition of the initial samples

Наименование пробы	Содержание, % масс.								
	Cu	Pb	Zn	Fe	S	Au	Ag	As	Прочие
Проба № 1	0,01	0,82	4,34	1,7	3,01	0,44	2,80	-	44,31
Проба № 2	3,04	39,06	5,91	1,35	8,19	-	-	13,0	29,45

Таблица 2

Результаты фазового состава исходных проб. Съемка производилась на аппарате D8 Advance (Bruker)

Кесте 2

Бастапқы сынамалардың фазалық құрамының нәтижелері. Түсірілім D8 Advance (Bruker) аппаратында жүргізілді

Table 2

Results of the phase composition of the initial samples. The shooting was done on a D8 Advance (Bruker) camera

Pattern #	Compound Name	Formula	S-Q
PDF 01-071-1662	Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	58,0%
PDF 01-089-1304	Calcite, magnesian, syn	$(Mg_{0.03}Ca_{0.97})(CO_3)$	23,0%
PDF 00-046-1045	Quartz, syn	SiO_2	13,7%
PDF 01-078-1833	Barium Sulfate	$Ba(SO_3)_{0.3}(SO_4)_{0.7}$	5,3%

При организации опытов по разделению фаз необходимо учитывать поведение, по-возможности, всех присутствующих компонентов, изменение которых может повлиять на конечное формирование устойчивых оксидных и сульфидных фаз. Это имеет принципиальное значение для организации общей технологии переработки отходов с целью эффективного извлечения из них ценных металлов в дальнейшем.

Учитывая вышеизложенные положения на первом этапе основной упор был сделан на изучение фазовых превращений, наблюдаемых при нагреве исходного техногенного сырья.

Результаты и их общее обсуждение

Термический анализ исследованных проб при нагреве

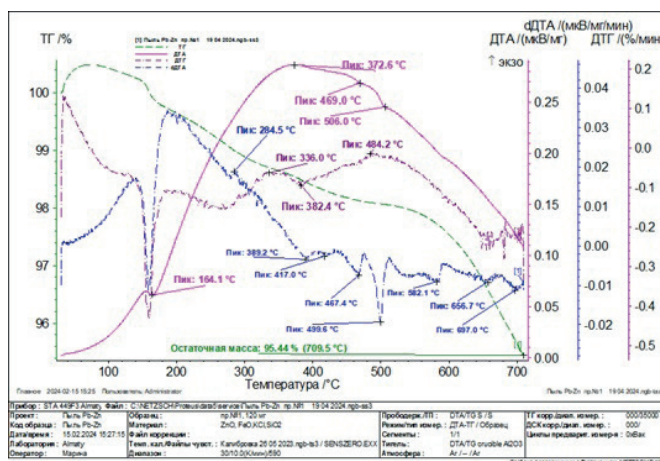
Исследования проведены с использованием прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter. Перед нагревом печное пространство откачивалось (уровень откачанного объема ~92%) и затем продувалось инертным газом в течение 5 минут. Нагрев осуществлялся со скоростью 10 °С/мин. в атмосфере высокоочищенного аргона. Охлаждение велось со скоростью 12 °С/мин. Общий объем поступающего газа выдерживался в пределах 120 мл/мин. Обработка результатов, полученных с помощью STA 449 F3 Jupiter, производилась посредством программного обеспечения NETZSCH Proteus.

Результаты проб № 1 и № 2 при термическом нагреве показаны на рис. 1 и 2.

Интенсивный минимум с максимальным развитием при 164,1 °С на кривой ДТА, сопровождающийся снижением массы навески, может отражать процесс дегидратации $SiO_2 \cdot nH_2O$. В наложение, сочетание этого эндотермического эффекта и экзотермического эффекта с пиком при 284,5 °С на кривой dDTA м. б. проявлением аморфного гидроксида железа. Экзотермический эффект с пиком при 372,6 °С на кривой ДТА является проявлением окисления примеси органики (графит, углерод элементный). Сочетание эндотермических эффектов с экстремумами при 469 °С и 506 °С на кривой ДТА м. б. отражением разложения церуссита – $Pb[CO_3]$. В области 300–700 °С на кривой dDTA выявлен ряд эндотермических эффектов. На этом температурном отрезке могут идти процессы диссоциации карбонатов – $Zn_3[CO_3]_2(OH)_6$, $Zn_3Cu_2[CO_3]_2(OH)_6$, $Zn[CO_3]$, $Mg[CO_3]$, а также десульфатизация $Pb[Cu,Fe,Al]_3[SO_4]_2(OH)_6$, $KFe[SO_4]_2(OH)_6$. Максимумы на кривой ДТГ при 336 °С и 484,2 °С могут отражать процесс поэтапного окисления Fe^{2+} в вюстите.

Расхождение данных термического анализа объясняется тем, что часть фаз не имеет эффектов в интервале температур 20–700 °С (KCl), часть фаз термоинертны – (ZnO , $CaFeO_2$, $ZnOFeO$). Поэтому проявились соединения, содержащиеся в пробе в небольших концентрациях.

Экзотермический эффект с пиком при 469,3 °С на кривой ДТА, сопровождающийся снижением массы навески, отражает окисление органики с образованием газовой фазы. На кривой ДТГ этому процессу соответствует растянутый минимум при 498,7 °С. В наложение, минимум на ДТГ может быть проявлением диссоциации (Zn , Fe)/ CO_3 . Эндотермический эффект на кривой ДТА с мак-



Величина навески – 0,120 г.

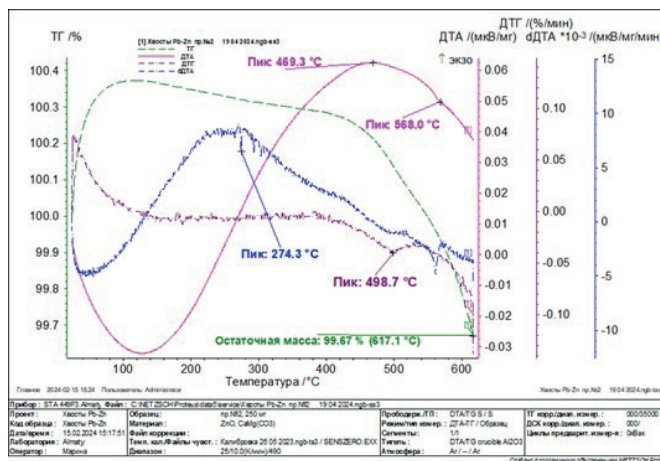
Өлшеңінің мөлшері – 0,120 г.

The value of the suspension is 0.120 g.

Рис. 1. Фазовые изменения в пробе № 1 при нагреве.

Сурет 1. Қыздыру кезіндегі № 1 үлгідегі фазалық өзгерістер.

Figure 1. Phase changes in sample No. 1 during heating.



Величина навески – 0,250 г.

Өлшеңінің мөлшері – 0,250 г.

The value of the suspension is 0.250 g.

Рис. 2. Фазовые изменения в пробе № 2 (пыль, хвосты Pb, Zn) при нагреве.

Сурет 2. Қыздыру кезіндегі № 2 үлгідегі (шан, Pb, Zn қалдықтары) фазалық өзгерістер.

Figure 2. Phase changes in sample No. 2 (dust, tailings of Pb, Zn) during heating.

симальным развитием при 568 °С является проявлением энантиотропного полиморфного превращения кварца. Эндотермический эффект на кривой dDTA с экстремумом при 274,3 °С может быть отражением энантиотропного полиморфного превращения примеси кристобалита.

В диапазоне температур 600–800 °С на кривой ДТА наблюдается ряд слабовыраженных эндо- и экзотермических эффектов, интерпретация которых затруднена из-за возможных наложений процессов десульфатизации и диссо-

циации сложных оксидных фаз. Вероятно, именно в этом интервале температур происходит завершение десульфатизации свинцовых и железосодержащих сульфатов, а также разложение остаточных количеств карбонатов.

На кривой ТГ в области 700–900 °С наблюдается плато, свидетельствующее о прекращении потери массы образцом. Это указывает на то, что к данному этапу основные процессы разложения и окисления завершены, и образуются стабильные оксидные фазы. Небольшие колебания на кривой ДТА в этом диапазоне могут быть связаны с незначительными структурными перестройками в оксидных соединениях.

Сравнение результатов термического анализа проб № 1 и № 2 показывает, что состав и термохимическое поведение существенно различаются. В пробе № 1 преобладают процессы, связанные с дегидратацией кремнезема и окислением органических примесей, в то время как в пробе № 2 более выражены эффекты, обусловленные разложением карбонатов и сульфатов. Это свидетельствует о различиях в минеральном составе и содержании органических веществ в исследуемых образцах.

Таким образом, термический анализ выявил существенные различия в составе и термохимическом поведении проб № 1 и № 2. Проба № 1 характеризуется преобладанием процессов дегидратации кремнезема и окисления органических примесей. Для пробы № 2 более характерны эффекты разложения карбонатов и сульфатов. Расхождение результатов объясняется различной концентрацией соединений в пробах и термохимическими свойствами отдельных фаз. В целом, обе пробы имеют сложный многокомпонентный состав, содержат различные минеральные фазы и органические примеси, подвергающиеся термическому разложению при нагревании. Анализ кривых ДТА, ДТГ и ТГ позволил идентифицировать ряд процессов, таких как дегидратация, окисление органики, разложение карбонатов и сульфатов, а также полиморфные превращения минералов.

Опыты по выделению свинцового продукта из исходных отходов путем интенсивной продувки расплава инертным газом

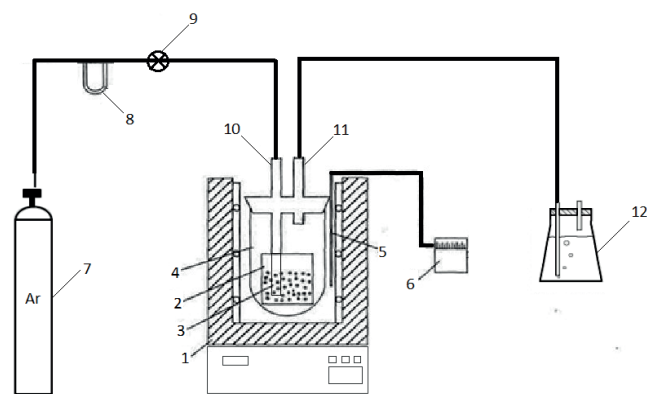
В работах А. В. Ванюкова отмечается, что запутавшиеся капли штейновых частиц из оксидно-сульфидных расплавов можно выделить путем простого перемешивания расплава различными газами [10, 11, 12]. Принимая во внимание это положение, было проведено 5 опытов по продувке пробы № 1 при различном времени обработки расплава – 5, 10, 15, 20 минут.

Температура опытов во всех опытах была постоянной и составляла 1523 К.

Схема установки для проведения опытов показана на рис. 3.

Во всех опытах количество исходной навески составляла 500 г. Во время опытов оценивалась возможность полноты разделения фаз и распределение ценных металлов между продуктами плавки. Суть опытов заключалась в следующем.

Предварительно измельченную и прошедшую минералогические исследования пробу исходного материала массой 500 г загружают в алундовый тигель (2) и помещают



1 – силиловая печь; 2 – алундовый тигель; 3 – исходный материал; 4 – кварцевый реактор; 5 – термопара; 6 – потенциометр; 7 – баллон с аргонном; 8 – реометр; 9 – кран; 10, 11 – алундовые трубки; 12 – емкость с водой
1 – silite furnace; 2 – alundum crucible; 3 – source material; 4 – quartz reactor; 5 – thermocouple; 6 – potentiometer; 7 – argon cylinder; 8 – rheometer; 9 – faucet; 10, 11 – alund tubes; 12 – water tank

Рис. 3. Схема лабораторной установки для проведения опытов по разделению фаз из исходного сырья.

Сурет 3. Бастанқы шикізаттан фазаларды бөлу бойынша тәжірибелер жүргізуге арналған зертханалық қондырғының сызбасы.

Figure 3. Diagram of a laboratory facility for conducting phase separation experiments from feedstock.

тигель внутри кварцевого реактора (4). Кварцевый реактор герметично закрывают пробкой с двумя отверстиями. Кварцевый реактор с сырьем устанавливают в шахтную силиловую печь (1). Через два отверстия пробки внутри кварцевого реактора вводят две алундовые трубки (10, 11).

Для исследования влияния продолжительности продувки на полноту разделения фаз алундовую трубку (10), соединенную с баллоном с аргонном (7), погружают в жидкий расплав и осуществляют продувку с одновременным перемешиванием. С целью определения эффективной продолжительности продувки аргонном для каждого режима параллельно проводили эксперименты с различной длительностью времени. Для нейтрализации газов, выделяющихся в процессе продувки при заданном времени перемешивания аргонном, вторую трубку соединяют с емкостью с водой (12).

После истечения заданного времени продувки продувку прекращают, а трубку (10) извлекают из жидкого расплава. После продувки, с целью создания условий для разделения фаз, жидкий расплав выдерживали в покое в течение 10 минут. После охлаждения печи алундовый тигель внутри кварцевого реактора вскрывали, а разделившиеся шлаковую и штейновую фазы направляли на химический анализ.

В результате исследований во всех опытах была выделена сульфидная и оксидная фазы. После разделения и измельчения каждая проба подвергалась элементному анализу на содержание цветных металлов и мышьяка. Золото и серебро в сульфидной фазе определяли методом химического анализа.

С целью проверки опытов на воспроизводимость каждый опыт проводился по три раза.

Динамика выделения свинцового продукта в виде сульфидной фазы, концентрированного золотом и серебром, в зависимости от времени продувки расплава, показана на рис. 4.

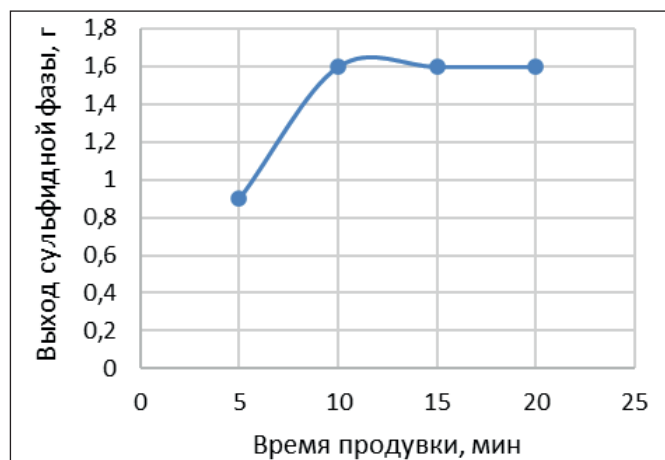
Как видно на рис. 4 (А), при простом перемешивании оксидно-сульфидных хвостов аргоном можно достичь разделения продукта на две фазы: сульфидную и оксидную. При этом свинец, золото и серебро существенно концентрируются в донной сульфидной фазе. Однако при достижении определенного объема и продолжительности продувки (20 мин.), результаты стабилизируются и эффекта разделения фаз не происходит.

Наилучшие результаты по разделению фаз достигнуты при времени обработки расплава аргоном в течение 20 минут. Дальнейшее увеличение времени продувки на выход фаз не влияет. При оптимальной продувке расплава в течение 20 минут выход сульфидной составляющей составил – 3,96 г.

Получен оксидный расплав состава, % масс.: CaO – 21,48; FeO – 22,08; SiO_2 – 27,62 и прочие.

Расчетные значения по извлечению ценных металлов по целевым продуктам составили, %: свинец – в сульфидную фазу – 97; медь в штейн – 98; цинк в шлак – 96; серебро в черновой свинец – 98; золото в штейн – 99.

Несмотря на полученные положительные результаты по извлечению цветных и драгоценных металлов по целевым продуктам, в ходе опытов установлена высокая до 90% концентрация мышьяка в сульфидной фазе. Около 10% мышьяка распределяется в шлак. Наличие мышьяка существенно ухудшает качество получаемых продуктов и затрудняет дальнейшую их переработку.



А)

Результаты минералогических исследований полученных продуктов

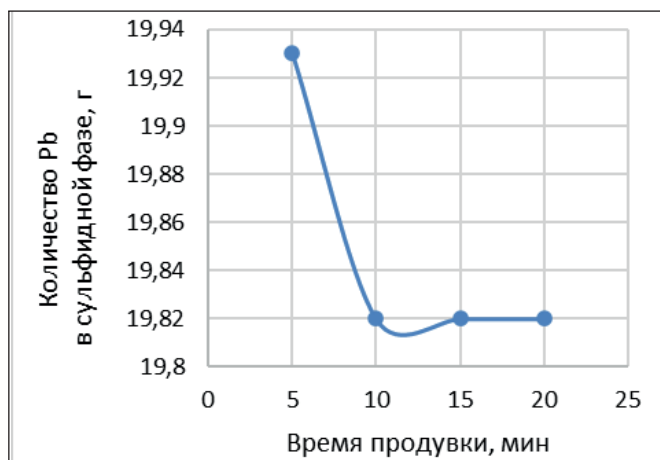
Результаты минералогических исследований, проведенных с целью определения форм нахождения металлов в составе полученных продуктов, представлены на рис. 5 и 6.

На микрошлифах твердой оксидной фазы (рис. 5) на фоне кристобалита (SiO_2), не связанного с фаялитом (Fe_2SiO_4), наблюдаются агрегированные мелкозернистые образования магнетита (Fe_3O_4), а также скопления тонких игольчатых кристаллов делафоссита (CuFeO_2) и мелкие каплеобразные зерна вюстита (FeO). Четко выявляются соединения геленита ($\text{Ca}_2\text{AlSiAlO}_7$) и в небольшом количестве буро-красные соединения шпинелей ($(\text{Fe,Mg})(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{O}_4$). В шлаке встречаются мелкие включения металлического свинца и галенита (PbS).

На микрошлифах образцов также наблюдаются белые образования с высокой отражательной способностью, характерной для металлических соединений, предположительно представляющие собой соединения железа с мышьяком (Fe_3As).

Структура сульфидной фазы представляется несколько более сложной (рис. 6). Основными компонентами являются твердый пирротинный раствор, моносльфидные твердые растворы свинца, цинка, а также металлические соединения. Подтверждено присутствие в штейне как сростков, так и отдельных зерен магнетита. Обнаружено значительное количество крупных и мелких включений металлической меди, а также включений металлического свинца. В тонком шлифе встречается прозрачный по виду платтнерит (PbO_2).

Обнаружены металлические соединения, характерные для сплавов железа с мышьяком. Кроме того, в штейне присутствуют тонко взаимопереплетенные фазы. Выявлены очень крупные включения шлакового состава, такие как делафоссит (CuFeO_2), магнетит (Fe_3O_4), фаялит (Fe_2SiO_4) и металлический свинец. Появление одинаковых структурных составляющих свидетельствует о возможности их образования в результате кристаллизации расплава или его перехода в твердое состояние.

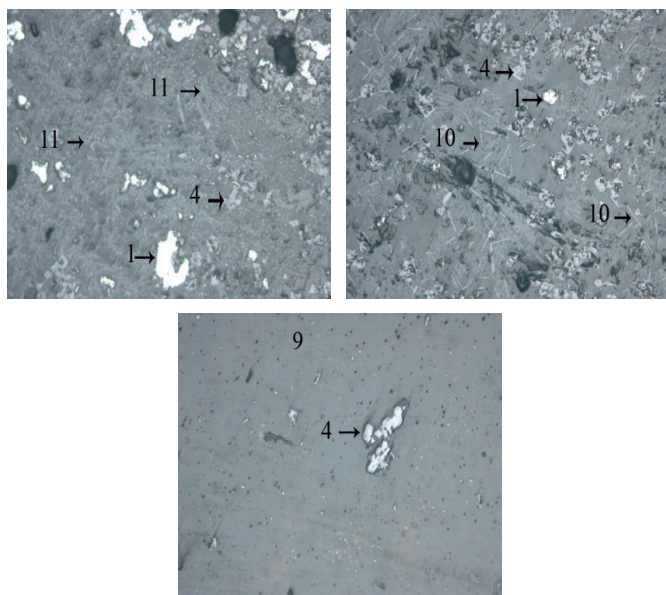


Б)

Рис. 4. Зависимость выхода сульфидной фазы (А) и содержания свинца в сульфидной фазе (Б) от продолжительности продувки.

Сурет 4. Ұрлеу ұзактығына байланысты сульфидті фазаның шығымы (А) мен сульфидті фазадағы қорғасын мөлшерінің (Б) өзгеруі.

Figure 4. Dependence of sulfide phase yield (А) and lead content in the sulfide phase (Б) on blowing duration.



1 – расплав железа с мышьяком (Fe_3As); 4 – магнетит (Fe_3O_4); 9 – стекло; 10 – дельафоссит ($CuFeO_2$); 11 – вюстит (FeO)

1 – мышьякпен темірдің балқымасы (Fe_3As); 4 – магнетит (Fe_3O_4); 9 – айна; 10 – дельафоссит ($CuFeO_2$); 11 – вюстит (FeO)

1 – iron-arsenic melt (Fe_3As); 4 – magnetite (Fe_3O_4); 9 – glass; 10 – delafossite ($CuFeO_2$); 11 – wustite (FeO)

Рис. 5. Микрошлифы полученных оксидных фаз.
Сурет 5. Алынған оксид фазаларының микрошлифтері.

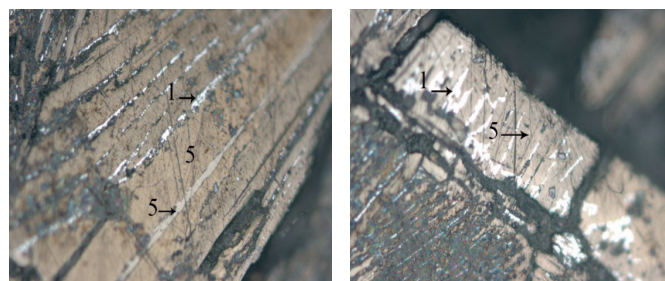
Figure 5. Microslips of the obtained oxide phases.

В связи с этим при определении количества элементов и минеральных соединений в составе сульфидной фазы, а также их конечных объемных соотношений, следует учитывать не только состав расплава, но и условия кристаллизации, формирующие минералогию конечных фаз.

Полученные результаты показывают, что при существенном присутствии мышьяка в исходном продукте применение данного способа для выделения свинцового продукта в начальной стадии технологии будет затруднено, и его применение окажется малоэффективным. Тогда, для решения поставленной задачи необходимо изыскания других методов решения, направленных, вначале, на разработку способа для удаления мышьяка, затем – для селективного извлечения свинцового продукта, концентрированного серебром.

Выводы

1. В работе показана возможность полного разделения чернового свинца, а также оксидной и сульфидной фаз из



1 – металлическое железо или расплавы; 5 – сульфиды железа, меди

1 – металдық темір немесе балқыма; 5 – мыс, темір сульфидтері

1 – metallic iron or melts; 5 – iron and copper sulfides

Рис. 6. Микрошлифы сульфидной фазы.
Сурет 6. Сульфидті фазалық микрошлифтер.
Figure 6. Microslips of the sulfide phase.

некондиционных собранных оксидно-сульфидных отходов сложного состава, содержащих свинец и медь, путем их предварительного плавления и интенсивной продувки жидкого расплава.

2. Экспериментально установлено, что при продувке расплава аргоном в течение 20 минут в черновой свинец переходит 3,14% от общего содержания свинца, а в штейн – 12,22% меди от ее общего количества в исходном материале.

3. По результатам минералогического и рентгеноструктурного анализов продуктов эксперимента определен их фазовый состав. В образцах шлаковой фазы выявлены соединения (Fe_2SiO_4), ($Ca_2AlSiAlO_7$) и в небольшом количестве ($(Fe, Mg)(Fe, Al, Cr)_2O_4$), PbS , тогда как в образцах штейновой фазы обнаружены твердый пирротинный раствор, моносulfидные твердые растворы свинца, а также металлические соединения цинка и мышьяка, сурьмы, связанных с железом и медью.

4. Полученные результаты имеют большое значение для разработки эффективной технологической схемы переработки накопленных некондиционных отходов.

Благодарность

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2025–2027 годы по приоритетному направлению «Экология, окружающая среда и рациональное природопользование» проекта AP26196599 «Разработка безотходной комбинированной технологии для утилизации отходов свинцово-цинковых обогатительных фабрик с получением новых видов товарной продукции».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства Республики Казахстан № 1022 от 16 августа 1996 года «Положение о порядке ведения Государственного кадастра техногенных минеральных образований в Республике Казахстан» (на русском языке)
2. Самакова А. Б. Проблемы отходов производства и потребления и пути решения: доклад министра ООС РК на парламентских слушаниях по вопросам отходов производства и потребления. – Астана, 21 нояб. 2003 г. (на русском языке)

3. Комплексное управление отходами / В. Н. Уманец [и др.] // Промышленность Казахстана. – 2004. – № 2. – С. 60–65 (на русском языке)
4. Аналитическая справка о деятельности МООС РК за 2004 год. – Астана, 2005 (на русском языке)
5. Бекебаева М. О., Канаев А. Т. Влияние антропогенных факторов на состав и структуру растительных сообществ // Вестник современных исследований. – 2019. – № 2–12 (29). – С. 7–14 (на русском языке)
6. Квитка В. В., Кушакова Л. Б., Яковлева Е. П. Переработка лежалых хвостов обогатительных фабрик Восточного Казахстана // Горный журнал. – 2001. – № 9. – С. 57–61 (на русском языке)
7. Прогрессивные (экологически значимые) технологии переработки медно-цинкового минерального сырья техногенных месторождений: проблемы и решения / В. А. Чантурия [и др.] // Инженерная экология. – 2004. – № 5. – С. 3–11 (на русском языке)
8. Кудрявский Ю. П., Черный С. А. Эколого-экономический критерий эффективности технологий переработки производственных отходов в цветной металлургии // Цветные металлы. – 2008. – № 4. – С. 8–11 (на русском языке)
9. Евдокимов С. И., Евдокимов В. С. Переработка лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2015. – № 3. – С. 3–11 (на русском языке)
10. Досмухамедов Н. К., Даулетбақов Т. С., Егізекөв М. Г. Оптимизация экологической безопасности медного производства Казахстана. – Алматы: DPS, 2011. – 188 с. (на казахском языке)
11. Досмухамедов Н. К., Жусупбеков С. С., Айтенов К. Д. Экологические проблемы свинцовых предприятий Казахстана // Материалы 8-ой Международной научно-практической конференции «Научное пространство Европы», Прага. – 2012. – С. 5–11 (на русском языке)
12. Плавка в жидкой ванне / А. В. Ванюков, В. П. Быстров, А. Д. Васкевич [и др.]. – М.: Металлургия, 1988. – 208 с. (на русском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «Қазақстан Республикасында техногендік минералдық түзілімдердің мемлекеттік кадастрын жүргізу тәртібі туралы Ереже» Қазақстан Республикасы Үкіметінің 1996 жылғы 16 тамыздағы № 1022 Қаулысы (орыс тілінде)
2. Самакова А. Б. Өндіріс және тұтыну қалдықтарының проблемалары және шешу жолдары: өндіріс және тұтыну қалдықтары мәселелері бойынша парламенттік тыңдауларда ҚР ҚОҚ министрінің баяндамасы. – Астана, 21 қар. 2003 ж. (орыс тілінде)
3. Қалдықтарды кешенді басқару / В. Н. Уманец [және т. б.] // Қазақстан өнеркәсібі. – 2004. – № 2. – Б. 60–65 (орыс тілінде)
4. ҚР ҚОМ 2004 жылғы қызметі туралы талдамалық анықтама. – Астана, 2005 (орыс тілінде)
5. Бекебаева М. О., Канаев А. Т. Антропогендік факторлардың өсімдіктер қауымдастығының құрамы мен құрылымына әсері // Заманауи зерттеулердің хабаршысы. – 2019. – № 2–12 (29). – Б. 7–14 (орыс тілінде)
6. Квитка В. В., Кушакова Л. Б., Яковлева Е. П. Шығыс Қазақстанның байыту фабрикаларының қалған қалдықтарын қайта өңдеу // Тау-кен журналы. – 2001. – № 9. – Б. 57–61 (орыс тілінде)
7. Техногендік кен орындарының мыс-мырыш минералдық шикізатын өңдеудің прогрессивті (экологиялық маңызды) технологиялары: мәселелері мен шешімдері / В. А. Чантурия [және т. б.] // Инженерлік экология. – 2004. – № 5. – Б. 3–11 (орыс тілінде)
8. Кудрявский Ю. П., Черный С. А. Түсті металлургиядағы өндірістік қалдықтарды қайта өңдеу технологияларының тиімділігінің экологиялық-экономикалық критерийі // Түсті металдар. – 2008. – № 4. – Б. 8–11 (орыс тілінде)
9. Евдокимов С. И., Евдокимов В. С. Қорғасын-мырыш байыту фабрикасының қалдықтарын қайта өңдеу // Жоғары оқу орындарының жаңалықтары. Түсті металлургия. – 2015. – № 3. – Б. 3–11 (орыс тілінде)
10. Досмухамедов Н. К., Даулетбақов Т. С., Егізекөв М. Г. Қазақстан мыс өндірісінің экологиялық қауіпсіздігін ықшамдау. – Алматы: DPS, 2011. – 188 б. (қазақ тілінде)
11. Досмухамедов Н. К., Жусупбеков С. С., Айтенов К. Д. Қазақстанның қорғасын кәсіпорындарының экологиялық мәселелері // «Еуропаның ғылыми кеңістігі» 8-ші Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары, Прага. – 2012. – Б. 5–11 (орыс тілінде)
12. Сұйық ваннада балқыту / А. В. Ванюков, В. П. Быстров, А. Д. Васкевич [және т. б.]. – М.: Металлургия, 1988. – 208 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan № 1022 ot 16 avgusta 1996 goda «Polozhenie o poryadke vedeniya Gosudarstvennogo kadastra tekhnogennykh mineral'nykh obrazovaniy v Respublike Kazakhstan» [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 1022 dated August 16, 1996 «Regulations on the procedure for maintaining the State Cadastre of technogenic mineral Formations in the Republic of Kazakhstan»] (in Russian)

2. Samakova A. B. *Problemy otkhodov proizvodstva i potrebleniya i puti resheniya: doklad ministra OOS RK na parlamentskikh slushaniyakh po voprosam otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Problems of production and consumption waste and solutions: report of the Minister of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan at the parliamentary hearings on production and consumption waste]. – Astana, Nov. 21, 2003 (in Russian)
3. *Kompleksnoe upravlenie otkhodami* [Integrated waste management] V. N. Umanets et al. *Promyshlennost' Kazakhstana* [Industry of Kazakhstan Magazine]. – 2004. – No. 2. – P. 60–65 (in Russian)
4. *Analiticheskaya spravka o deyatel'nosti MOOS RK za 2004 god* [Analytical report on the activities of the Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan in 2004]. – Astana, 2005 (in Russian)
5. Bekebaeva M. O., Kanaev A. T. *Vliyanie antropogennykh faktorov na sostav i strukturu rastitel'nykh soobshchestv* [The influence of anthropogenic factors on the composition and structure of plant communities]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Bulletin of Modern Research]. – 2019. – No. 2–12 (29). – P. 7–14 (in Russian)
6. Kvitka V. V., Kushakova L. B., Yakovleva E. P. *Pererabotka lezhalykh khvostov obogatitel'nykh fabrik Vostochnogo Kazakhstana* [Processing of stale tailings from processing plants in East Kazakhstan]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. – 2001. – No. 9. – P. 57–61 (in Russian)
7. *Progressivnye (ekologicheski znachimye) tekhnologii pererabotki medno-tsinkovogo mineral'nogo syr'ya tekhnogennykh mestorozhdenii: problemy i resheniya* [Progressive (environmentally significant) technologies for processing copper-zinc mineral raw materials from man-made deposits: problems and solutions] V.A. Chanturia et al. *Inzhenernaya ekologiya* [Environmental engineering]. – 2004. – No. 5. – P. 3–11 (in Russian)
8. Kudryavskiy Yu. P., Cherny S. A. *Ekologo-ekonomicheskii kriterii effektivnosti tekhnologii pererabotki proizvodstvennykh otkhodov v tsvetnoi metallurgii* [Ecological and economic criterion of efficiency of industrial waste processing technologies in non-ferrous metallurgy]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. – 2008. – No. 4. – P. 8–11 (in Russian)
9. Evdokimov S. I., Evdokimov V. S. *Pererabotka lezhalykh khvostov svintsovo-tsinkovoi obogatitel'noi fabriki* [Processing of stale tailings of a lead-zinc concentrating plant]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy]. – 2015. – No. 3. – P. 3–11 (in Russian)
10. Dosmukhamedov N. K., Dauletbakov T. S., Egizekov M. G. *Optimization of environmental safety of copper production in Kazakhstan*. – Almaty: DPS, 2011. – 188 p. (in Kazakh)
11. Dosmukhamedov N. K., Zhusupbekov S. S., Aitenov K. D. *Ekologicheskie problemy svintsovykh predpriyatii Kazakhstana* [Environmental problems of lead enterprises in Kazakhstan]. In: *Materialy 8-oi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnoe prostranstvo Evropy»* [Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference «Scientific Space of Europe»]. – Prague, 2012. – P. 5–11 (in Russian)
12. *Plavka v zhidkoi vanne* [Melting in a liquid bath] A. V. Vanyukov, V. P. Bystrov, A. D. Vaskevich. – Moscow: Metallurgiya, 1988. – 208 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Досмухамедов Н. К., к. т. н., профессор, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), n.dosmukhamedov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

Айтенев Н. К., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), nurzhan.aitenov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7890-5446>

Дитятковский Л. И., к. т. н., Почетный металлург России, научный консультант ООО «Институт «Стальпроект»» (г. Москва, Россия), dityatovskiy@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8785-5419>

Жолдасбай Е. Е., Ph.D, доцент кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание» (г. Жезказган, Казахстан), zhte@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

Авторлар туралы мәліметтер:

Досмухамедов Н. К., т. ғ. к., профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Айтенев Н. К., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Дитятковский Л. И., т. ғ. к., Ресейдің құрметті металлургы, «Стальпроект институты» ЖШҚ ғылыми кеңесшісі (Мәскеу қ., Ресей)

Жолдасбай Е. Е., Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының доценті (Жезқазған қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Dosmukhamedov N. K., Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing (Almaty, Kazakhstan)

Aitenov N. K., Doctoral student Department of Metallurgy and Mineral Processing (Almaty, Kazakhstan)

Dityatovsky L. I., Candidate of Technical Sciences, Honorary Metallurgist of Russia, Scientific Consultant, Institute «Stalproekt» LLC (Moscow, Russia)

Zholdasbay Ye. Ye., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences (Zhezkazgan, Kazakhstan)