

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии
специальных материалов

УДК 669.334(043)

На правах рукописи

Темірхан Солтанбек Ғалымұлы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации Изучение технологии переработки
свинцово-цинковых руд
Жайремского месторождения и
промпродуктов обогащения

Направление подготовки 7М07204 – Металлургия и
обогащение полезных ископаемых

Научный руководитель
Чепуштанова Т.А. ассоц. проф.,
канд. тех. наук, доктор PhD.,
« 06 » июня 2022 г.

Рецензент
докт., техн. наук,
Квятковский С.А.
« 06 » июня 2022 г.

Нормоконтроль
Коньратбекова С.С.
канд. тех. наук
« 07 » июня 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой МПТиТСМ
доктор PhD, канд. техн. наук,
ассоц. проф., Чепуштанова Т.А.
« 07 » июня 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова


Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии
специальных материалов

7M07204 – «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой МПТиТСМ
доктор PhD., канд. техн. наук

Чепуштанова Т.А.

 «26» января 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Темірхан Солтанбек Галымұлы

Тема: Изучение технологии переработки свинцово-цинковых руд
Жайремского месторождения и промпродуктов обогащения.

Утверждена приказом Ректора Университета № 2026-м от «03.11.2020
г.».

Срок сдачи законченной диссертации: 25 мая 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Изучение технологии
переработки свинцово-цинковых руд Жайремского месторождения и
промпродуктов обогащения.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) литературный обзор по переработке Жайремских руд и
промпродуктов обогащения;

б) термодинамический анализ систем сульфидирующего обжига;

в) физико-химические исследования свойств исходных материалов и
просульфидированных огарков обжига.

Перечень графического материала: демонстрационный материал с
результатами исследований на 15-20 слайдах.

Рекомендуемая основная литература:

1. Исследование процесса обжига сульфидной свинцово-цинковой
руды в атмосфере водяного пара, И.Г. Антропова, П.А. Гуляшинов, А.А.
Меринов.

2. Пирротины., Г. В. Новиков, В. Егоров, Ю. А. Соколов., Москва
«Наука» 1988 г.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	01.06.2021 г.	
Физико-химические исследования материалов	20.09.2021 г.	
Экспериментальная часть	20.02.2022 г.	
Заключение	20.04.2022 г.	

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов

Наименование разделов	Научн. руководители, консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Введение	Т.А.Чепуштанова доктор PhD, ассоц. профессор.	01.06.2021	
Критический обзор литературы		01.06.2021	
Физико-химические исследования материалов. Экспериментальная часть		20.09.2021	
Заключение		20.04.2022	
Нормоконтролер	С.С. Коныратбекова, канд. техн. наук.		

Научный руководитель

Чепуштанова Т.А

Задание принял к исполнению обучающаяся
С.Ф.,

Темірхан

Дата

«26» января 2021 г.

АНДАТПА

Магистрлік диссертациялық жұмыс, кіріспеден, тапсырмадан, 3 бөлімнен, қорытындыдан және әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс, әдістеме пунктін қоса отырып 77 бетте жазылып, 22 сурет, 13 кестені қамтиды. Әдебиеттер тізімі 50 атаудан тұрады.

Түйін сөздер: пирротиндеп күйдіру, Жайрем кен орнының тотыққан мырыш-қорғасын кені, ТОО Казцинк ҚБФ аралық байыту өнімі, күйіндіні магниттік және флотациялық байыту.

Диссертациялық жұмыста Жайрем кен орнының тотыққан күрделі полиметалдық қорғасын-мырыш кенін және тотыққан қорғасын-мырыш қалдықтарын жоғары флотациялық қасиеттері бар және дербес флотоконцентратқа жақсы алынатын мырыш пен қорғасынның сульфидті қосылыстарын ала отырып, мырыш пен қорғасынның оксидті қосылыстарын пирит концентратымен сульфидтеп, жоғары магниттік қасиеттерге ие пирротиндерді алу процесін пайдалана отырып өңдеу зерттелген. Зерттеулер күкірт пен түсті металдарды алу арқылы шикізатты пайдаланудың өнімділігін арттыруға бағытталған.

Алынған магниттік пирротин концентратын абразивтер, жоғары сапалы темір сульфаты, мелиорация жұмыстары және басқа мақсаттар үшін пайдалануға болады. Пирротинделген өнімді гидрометаллургиялық қайта өңдеу пирит концентратының құрамындағы күкіртті элементтік түрінде алуды қамтамасыз етеді.

Магниттік сепарация процесінің қалдықтарын флотациялық байытудың қалдықтары құрылыс индустриясы үшін шикізат ретінде қолданылады, цемент және басқа материалдар өндірісінде пайдаланылуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертационная работа состоит из введения, задания, 3 глав, заключения, списка литературы. Работа, включая приложения, изложена на 77 страницах машинописного текста, включает 22 рисунка, 13 таблиц. Список литературы содержит 38 наименований.

Ключевые слова: пирротинизирующий обжиг, окисленная свинцово-цинковая руда месторождения Жайрем, промпродукт СОФ ТОО Казцинк, магнитное и флотационное обогащение огарка.

В диссертационной работе установлена возможность переработки сложных полиметаллических окисленных свинцово-цинковых жайремских руд и окисленных свинцово-цинковых хвостов с использованием процесса сульфидирования оксидных соединений цинка и свинца пиритным концентратом с получением сульфидных соединений цинка и свинца, обладающих высокими флотационными свойствами и хорошо извлекаемые в самостоятельный флотоконцентрат, а также с получением магнитного продукта в виде пирротинов. Исследования направлены на повышение комплексности использования сырья путем извлечения серы и цветных металлов.

Полученный магнитный пирротиновый концентрат может быть использован для производства абразивов, высококачественного сульфата железа, для мелиоративных работ и других целей. Гидрометаллургическая переработка пирротинизированного продукта обеспечивает получение серы пиритных концентратов в элементной форме.

Хвосты от флотационного обогащения хвостов магнитной сепарации огарков представляют собой сырье для строительной индустрии и могут быть использованы в производстве цемента и других материалов.

ABSTRACT

The present master thesis work consists of an introduction, a tasks, 3 chapters, a conclusion and a bibliography. The work, including applications, is presented on 77 pages of typewritten text, includes 22 figures, 13 tables. Bibliography contains 38 references.

Keywords: pyrrhotinizing roasting, oxidized lead-zinc ore of the Zhairem deposit, industrial product of Lead Concentrator Kazzinc LLP, magnetic and flotation enrichment of the candle end.

The dissertation work established the possibility of processing complex polymetallic oxidized lead-zinc ores and oxidized lead-zinc tailings using the process of sulfidation of zinc and lead oxide compounds with pyrite concentrate to obtain zinc and lead sulfide compounds with high flotation properties and well extracted into an independent flotation concentrate, as well as to obtain a magnetic product in the form of pyrrhotines. The research is aimed at increasing the complexity of the use of raw materials by extracting sulfur and non-ferrous metals.

The resulting magnetic pyrrhotite concentrate can be used for the production of abrasives, high-quality iron sulfate, for reclamation works and other purposes. Hydrometallurgical processing of the pyrrhotinized product ensures the production of sulfur pyrite concentrates in elemental form.

The tailings from the flotation enrichment of the tailings of the magnetic separation of the stubs are raw materials for the construction industry and can be used in the production of cement and other materials.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Критический анализ состояния проблемы переработки полиметаллических, пиритных руд и промпродуктов обогащения	11
1.1 Технологические свойства руд и промпродуктов	12
1.2 Маркетинговые исследования	14
1.3 Процесс обжига сульфидной свинцово-цинковой руды в атмосферно-водяного пара	16
1.4 Выбор сульфидирующего – пирротинизирующего обжига	18
1.5 Свойства и структура пирротинов, как потенциальных продуктов сульфидирующего обжига	19
1.6 Магнитное обогащение	24
1.7 Флотационное обогащение	25
2 Экспериментальная часть	27
2.1 Термодинамика фазовых превращений в системе Fe-S-O	27
2.2 Графики зависимости термодинамических параметров основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами	30
2.3 Диаграмма фазовых равновесий системы Fe – O – S	36
3 Технологические исследования	38
3.1 Исходные материалы	38
3.2 Методика сульфидирующего обжига руды и промпродукта	40
3.3 Результаты термического анализа исходных материалов	40
3.4 Результаты обжига промпродукта обогащения	42
3.4.1 Результаты обжига свинцово-цинковой руды месторождения Жайрем	43
3.4.2 Результаты термического анализа продуктов обжига	44
3.5 Изучение электрокинетических характеристик продуктов сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка	46
3.6 Результаты магнитного обогащения огарков-продуктов обжига	48
3.7 Флотационное обогащение немагнитной фракции промпродуктов	48
3.8 Результаты определения магнитной восприимчивости пирротинов	50
3.9 Результаты оценки технико-экономической эффективности	51
Заключение	52
Список использованной литературы	53
Приложение А	56

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние научно-технической проблемы.

Одним из важных направлений решения проблемы комплексного использования сырья является создание и внедрение более эффективных способов и систем разработки месторождений и технологических схем переработки минерального сырья, обеспечивающих извлечение и использование содержащихся в них ценных компонентов с максимальной полнотой. Исключительная роль отводится разработке принципиально новых технологических процессов в организации безотходных производств с высокими технико-экономическими показателями [1].

Лучшие показатели по переработке окисленных и смешанных руд достигаются при использовании предварительной активации исходного сырья окислительным или сульфатизирующим обжигом с последующей переработкой активированного продукта, однако, эти способы не нашли применения в промышленности. Образующиеся в процессе обогащения полиметаллических руд промпродукты обогащения являются альтернативными источниками сырья по свинцу и цинку на сегодняшний день. Такие техногенные месторождения насчитывают сотни тысяч тонн [2].

Актуальность работы. В связи с отсутствием оптимальной схемы переработки окисленных свинцово-цинковых руд и промпродуктов обогащения содержащих ликвидное количество свинца и цинка, перспективным является применение комбинированных методов, включающих сульфидирующий обжиг с последующим обогащением огарка, что является основными переделами предлагаемых исследований. Современные технологические исследования по комплексной переработке окисленных полиметаллических руд показывают эффективность использования процесса предварительного сульфидирования окисленных соединений цветных металлов с последующим выделением сульфидов во флотоконцентраты.

Цель работы – изучение технологии переработки свинцово-цинковых руд Жайремского месторождения и промпродуктов обогащения, посредством сульфидирующего обжига с пиритным концентратом и обогащением огарка, обеспечивающего повышение извлечения цинка и свинца в селективные концентраты. Установление физико-химических свойств продуктов обжига: магнитных и флотационных пирротинов различного состава, изучение дзета-потенциала сульфидов свинца и цинка.

Объекты исследования:

Исследования проводили с цинк-олигонитовой рудой Жайремского месторождения с содержанием, %: 2,5 цинка; 0,1 свинца; 9,0 железа и до 2,0 серы и промпродукт СОФ ТОО Казцинк, содержащий: FeS_2 , ZnCO_3 , ZnO , $\text{ZnO} \cdot 2\text{SiO}_2$, ZnSiO_3 , ZnS , PbO , PbCO_3 , PbS , PbSiO_3 ; содержание Zn – 0,38 %, Pb - 0,07 %, Fe 13,0 %, S 7,20 %; FeS_2 - 53,9 % Fe и 45,15 % S; пиритный концентрат с содержанием 33-40 % железа и 39-50 % серы, подаваемые в шихту до 75 % от массы шихты.

Научная новизна работы:

Рентгеноструктурным анализом установлено, что сульфидирующим обжигом с пиритным концентратом цинк-олигонитовой руды возможно получать сульфиды цинка соответствующие сфалериту β -модификации, при количестве свободных зерен сфалерита до 63-73 % от общего содержания цинка.

Установлено, что пирит на 95 % замещается пирротинном "ячеистого" строения, результатами рентгеноструктурного анализа установлено, что образуется пирротин состава $Fe_{0,85}S$ - $Fe_{0,9}S$, который имеет магнитную восприимчивость $\chi = 1,7-2,05$ ед. СИ и относится к ферромагнетикам, что дает возможность выделить его магнитной сепарацией.

Изучение флотационных свойств образующихся сульфидов с применением метода измерения дзета-потенциала показало, что в ходе сульфидирующего обжига образуются сульфиды цинка с высоким гидрофобными свойствами, характеризующимися величиной дзета- потенциала от -1,0 до -1,5 В.

При переработке промпродукта СОФ ТОО Казцинк установлено, что сквозное извлечение из хвостов обогащения в пенный продукт при проведении флотации в прямом одностадийном цикле цинка достигает более 84 % и около 80 % свинца; содержание в пенном продукте Zn достигает до 6,7 %, а Pb до 1,4 % при исходном содержании в хвостах 0,38 % Zn и 0,08 % Pb.

Установлено, что при обогащении огарков промпродукта мокрой магнитной сепарации извлечение в магнитную фракцию достигает до 95 % магнитных пирротинов состава $Fe_{0,892}S$ - $Fe_{0,869}S$, методом флотационного обогащения выход пенного продукта в немагнитной фракции составляет 36,82 - 53,89 %.

Задачи работы:

- определение фазового состава объектов исследования;
- термодинамика пирротинизирующего обжига цинк-олигонитовой руды;
- технологические исследования пирротинизирующего обжига;
- определение магнитных и флотационных свойств пирротинов и сульфидов цинка;

Теоретическая основа – литературные и патентные данные по теме сульфидирующего обжига по базам РИНЦ, Scival, лабораторная база кафедры МПТиТСМ.

Методологическая основа – установка для сульфидирующего обжига, электрическая печь Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5), термический анализатор NETZSCH STA 409 PC/PG, химический, электронно-микроскопический, рентгенофазовый анализы, проведенные в лаборатории института геологии имени К.И. Сатпаева. При обработке данных использовалась программа Proteus – для идентификации фазовых переходов при термическом анализе и программа термодинамических расчетов HSC.

Практическая база – была применена лабораторная база кафедры МПТиТСМ.

Обоснованием для написания работы послужила программа инновационного развития Казахстана МИИР, куда входят технологии переработки свинцово-цинковых рудных и техногенных материалов, исследования выполнены при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК Грант № AP08052829.

1 Критический анализ состояния проблемы переработки полиметаллических, пиритных руд и промпродуктов обогащения

В процессе обогащения смешанных полиметаллических руд образуется значительное количество промпродуктов и хвостов обогащения, флотационная переработка которых малоэффективна. В тоже время в пенных продуктах

флотации концентрируется, кроме окисленных соединений Zn и Pb, значительное количество пирита [3].

На данный момент объемы запасов хвостов флотационного обогащения свинцово-цинковых руд накоплены до количества, которое можно использовать в качестве техногенных месторождений. Среднее содержание цветных металлов в отвалах различных обогатительных фабрик (ОФ) лежит в пределах, %: от 0,07 (хвостохранилище обогатительной фабрики «Алтай») до 1,0 Cu (хвостохранилище ОАО "Жезкентский горно-обогатительный комбинат"), от 0,09 (Таловское хранилище Лениногорской ОФ) до 0,62 Pb (накопитель пиритного концентрата Лениногорского комплекса), от 0,18 (Таловское хранилище Лениногорской ОФ) до 1,9 Zn (хранилище Николаевской ОФ), от 0,14 (хвостохранилище Зыряновской ОФ - обогатительной фабрики «Алтай») до 1,57-1,8 г/т Au (хвостохранилище обогатительной фабрики «Алтай») [4-6].

Существуют различные технологии по доизвлечению цветных металлов из хвостов обогащения, представляющие собой техногенные месторождения. По примеру Фабрики № 1 комбината "Печенганикель" была внедрена технология доизвлечения металла отвальных хвостов, включающая их классификацию с направлением шламовой части в отвал, магнитную сепарацию песковой фракции, доизмельчение и последующую флотацию магнитной фракции [7-9].

Во ВНИИцветмете проведены экспериментальные работы по доизвлечению ценных компонентов из хвостов цинковой флотации. В результате экспериментов показано, при дофлотации из хвостов можно получать кондиционные пиритный и баритовый концентраты, а также сульфидный промпродукт содержащий 6,2 - 7,7 % Zn, 0,9 - 1 % Pb и 0,7 - 0,9 % Cu при суммарном извлечении цветных металлов 4,5 % (от руды) [10].

В странах дальнего зарубежья полномасштабно используются технологии по получению строительных материалов из хвостов обогатительных фабрик [11].

Актуальной задачей является экологизация районов складирования хвостов. Экологический ущерб от складирования лежалых хвостов усугубляется тем, что они занимают значительные площади, которые не могут быть использованы для сельскохозяйственных или для других целей промышленности. Отходы флотационного обогащения свинцово-цинковых руд существенно отличаются от исходного материала не только по содержанию и составу, но и по степени окисления их поверхности, фракционным составом, наличием значительного количества сростков минералов. На данный момент прослеживается малая эффективность технологических схем переработки промпродуктов флотационного обогащения свинцово-цинковых руд. Анализ практики обогатительных фабрик показывает, что для дополнительного извлечения металлов из богатых по Zn и Pb хвостов флотационного обогащения полиметаллических руд, а также для хвостов от переработки медных сульфидных руд применяют флотационные методы обогащения, с предварительной подготовкой хвостов к флотации [12].

1.1 Технологические свойства руд и промпродуктов

Технология переработки руд свинцово-цинковых руд и промпродуктов зависит от их минерального состава, степени окисления, комплексности, текстуры и структуры, крупности зерен, степени взаимного прорастания одних минералов другими, сопротивляемости руд дроблению и степени шламообразования при их дроблении и измельчении.

Вследствие комплексного состава и относительно невысоких содержаний ценных компонентов руды полиметаллических месторождений и промпродукты подвергаются обогащению, преимущественно флотации. Реагентный режим флотации предусматривает использование в качестве собирателей различных ксантогенатов, дитиофосфатов и их сочетаний. Из вспенивателей применяют Т-80, МИБК, сосновое масло. Реагенты регуляторы: известь, медный купорос, сернистый натрий.

Коллективная флотация особенно эффективна для обогащения бедных вкрапленных полиметаллических руд. Она позволяет отделить в голове процесса основную массу пустой породы и получить отвальные хвосты с минимальным содержанием металлов.

Коллективно-селективная схема обогащения применяется, когда в руде кроме свинца и цинка в заметных количествах присутствует медь. В этом случае сначала получают свинцово-медный концентрат, который затем разделяется на свинцовый и медный. Материал, оставшийся от свинцово-медной флотации, содержит в себе сфалерит и пирит, последовательно извлекаемые в отдельные концентраты.

При обогащении обычно получают свинцовый, цинковый, пиритный, баритовый, а иногда медный, флюоритовый, реже оловянный и другие концентраты.

Многие ценные попутные компоненты при обогащении извлекаются в свинцовый, цинковый и пиритный концентраты, из которых они могут быть получены в процессе последующей металлургической переработки.

Неэффективные методы переработки сложного сырья также приводят к образованию большого количества хвостов, промпродуктов, содержащих целевые металлы, доизвлечение которых затруднено. При хранении накопленные отходы под атмосферным воздействием превращаются в мощный очаг загрязнения окружающей среды, одновременно являясь источником металлов, запасы которых сопоставимы с запасами крупных месторождений.

Одним из месторождений труднообогатимых руд в Республике Казахстан на данный момент является Жайремское месторождение. Основной причиной трудной обогатимости руд Жайремского месторождения является весьма тонкая вкрапленность рудных минералов. Первичные сульфидные руды Жайремского месторождения обогащаются намного лучше смешанных и оксидных. Сложность вещественного состава Жайремских руд требует отдельной переработки всех типов руд. В настоящий момент продолжаются поиски вариантов повышения показателей обогащения Жайремских руд. Причем вопрос о переработке

смешанных и оксидных руд, в отличие от баритсодержащих свинцово-цинковых сульфидных руд и безбаритовых свинцово-цинковых руд стоит наиболее остро. Попытки улучшения технологических показателей обогащения традиционными методами не привели к необходимым результатам [12].

При флотационном обогащении полиметаллических руд значительное количество цинка и свинца переходит в хвосты и промпродукты, и в получаемые при обогащении пиритные концентраты. В условиях истощения руд актуальным становится вовлечение в переработку хвостов и промпродуктов обогащения и разработка технологий эффективной переработки окисленных и смешанных руд.

Анализ наиболее актуальных существующих технологий приведен в таблице 1. В таблице приведены данные по существующим технологиям с текущим результатом по основным индикаторам технологий.

Таблица 1 – Анализ технологий по переработке окисленных и смешанных труднообогатимых полиметаллических руд, содержащих цинк и свинец

Объект исследования	Существующие технологии	Текущий результат технологии
Переработка окисленных и смешанных труднообогатимых полиметаллических	1. Прямые пирометаллургические гидрометаллургические способы переработки труднообогатимых полиметаллических руд разработаны до уровня промышленно рекомендуемых.	Не разработаны до уровня промышленно рекомендуемых.

Продолжение таблицы 1

Объект исследования	Существующие технологии	Текущий результат технологии
руд, содержащих цинк и свинец	2. Предварительная активация исходного сырья окислительным и сульфатизирующим обжигом последующей переработкой активированного продукта	Способы не нашли применения в промышленности
	3. Пирометаллургическое сульфидирование и автоклавное сульфидирование	Невысокая производительность аппаратуры крупнотоннажного производства, способ малоэффективен.
	4. Сульфидирование сульфатредуцирующими бактериями	Промышленного использования нет
	5. Сульфидирование полиметаллического сырья элементной серой	Извлечение свинца концентрат до 75 %

	б. Сульфидирование элементарной серой и сернистым газом с добавлением в шихту обжига пирит. Полученный огарок подвергается флотации.	Извлечение свинца концентрат до 82 %
--	--	--------------------------------------

Нами были проведены технологические исследования процесса термической обработки промпродуктов флотации с сульфидированием цинка за счет пирита, содержащегося в промпродукте которые осуществлялись на установке для сульфидирующего пирротинизирующего обжига в неподвижном слое. Также изучался состав и магнитные свойства образующегося в результате обжига пирротина, с изучением влияния температуры, продолжительности и состава газовой фазы на процесс.

Технологическая схема позволяет повысить технико-экономическую эффективность переработки окисленных свинцово – цинкового сырья.

1.2 Маркетинговые исследования

За период 31.12.2021 – 20.05.2022 г.г, разница между максимальной (4528 \$) и минимальной (3500 \$) ценой на цинк на LME, составила 1028 \$, или 22,7 процентов. На 20.05.2022 цена составляет 3573 \$ за тонну. График идет на повышение и прогнозируется стабилизация, график приведен в рисунке 1.

По прогнозу International Lead and Zinc Study Group (ILZSG), по итогам 2022 г. на мировом рынке рафинированного цинка возникнет дефицит в размере 292 тыс. т. В прошлом году спрос превысил предложение на 193 тыс. т.

Как отмечает ILZSG, ей пришлось пересмотреть свои прежние прогнозы. В октябре 2021 г. данная организация ожидала, что в 2021 и 2022 г. на мировом рынке цинка возникнет совокупный избыток предложения в размере 261 тыс. т.

Производство рафинированного цинка в 2021 г. выросло только на 0,4 % по сравнению с предыдущим годом, тогда как добыча металла и его конечное потребление увеличились соответственно на 4,1 и 5,7 %. Нехватка цинка возникла вследствие энергетического кризиса в Китае летом 2021 г. и подъема тарифов на электроэнергию в Европе с осени прошлого года [13].

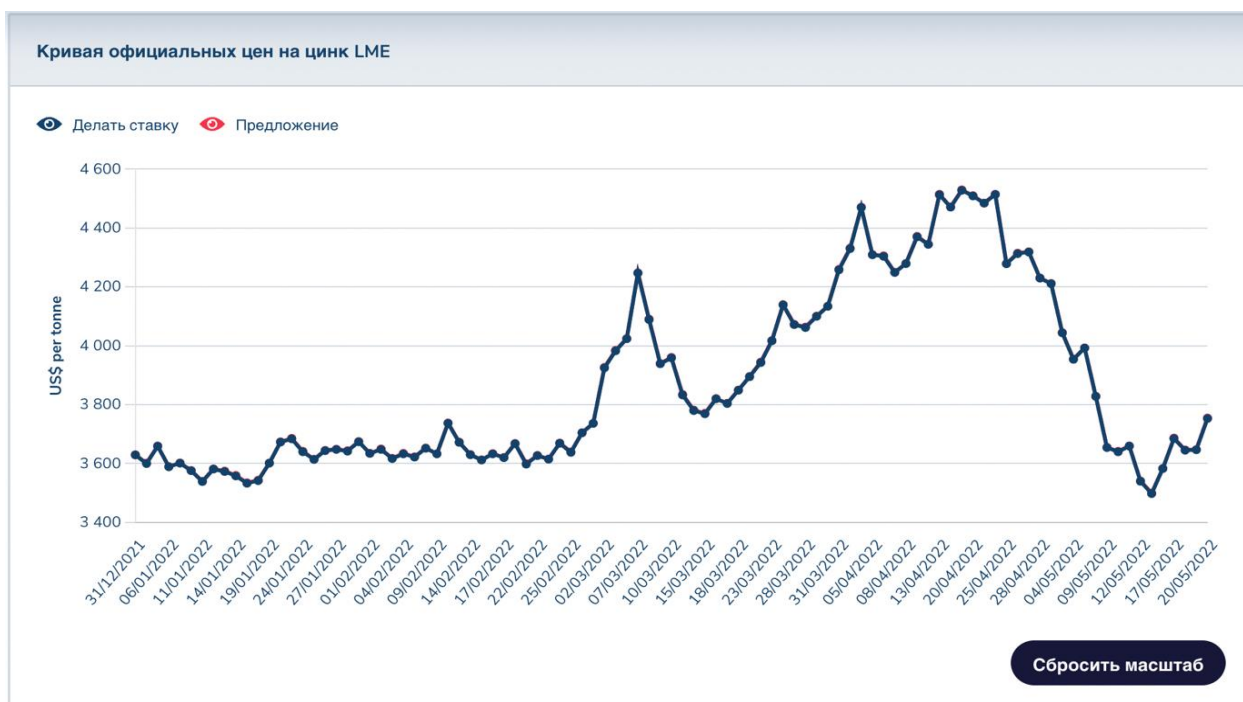


Рисунок 1 – Кривая официальных цен на цинк LME

По данным американского инвестиционного банка Citi, по состоянию на конец апреля 2022 г. в Европе из-за высоких затрат на энергию были выведены из эксплуатации мощности по выпуску рафинированного цинка в совокупном объеме 660 тыс. т в год. Причем улучшения обстановки в обозримом будущем не предвидится. Кроме того, в текущем году в Канаде закроется устаревший завод Flin Flon производительностью 90 тыс. т цинка в год.

Поэтому, как отмечает ILZSG, основным источником роста мирового производства цинка должен стать Китай. Но по итогам первых четырех месяцев текущего года выпуск рафинированного металла сократился там на 1,0 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Основной причиной спада стали локдауны и транспортные ограничения во время вспышки ковида. Тем не менее, ILZSG прогнозирует для Китая на текущий год увеличение производства рафинированного цинка на 2,5 % по сравнению с 2021 г. Благодаря этому общемировой показатель возрастет на 0,9 %. В то же время, добыча прибавит 3,9 %, так что дефицит рафинированного цинка на мировом рынке будет сопровождаться избытком предложения концентрата.

Цена на свинец на 20.05.2022 составляет 2146 \$, тогда как самая низкая цена за последние пол года была 2032 \$ за тонну. Самая высокая цена зафиксирована в марте 2022 и составляла 2513 \$ за тонну.

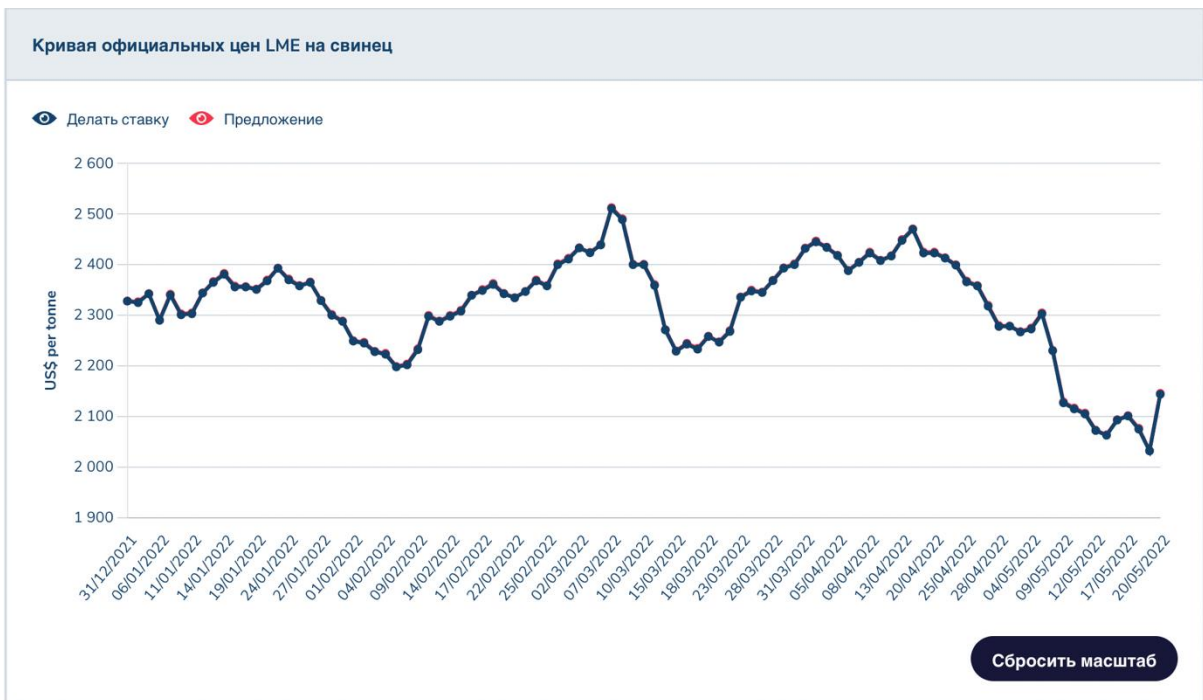


Рисунок 2 – Кривая официальных цен LME на свинец

Как сообщает WBMS, дефицит на рынке свинца составил в январе-марте 92 тыс. т по сравнению с дефицитом на уровне 148,4 тыс. т по итогам всего 2021 г. Общий объем запасов свинца снизился по состоянию на конец марта на 7,2 тыс. т. относительно уровня конца 2021 г. Мировое производство рафинированного свинца, как первичного, так и вторичного, составило в январе-марте 3 млн 550,4 тыс. т., что на 0,5 % больше, чем в январе-марте 2021 г. Китайский видимый спрос на свинец составил 1 млн 773,5 тыс. т., что на 14 тыс. т. больше, чем в таком же периоде 2021 г. и эквивалентно 49 % от общемирового целого. В США видимый спрос на свинец вырос на 6 тыс. т. относительно января-марта 2021 г.

В марте производство рафинированного свинца составило 1 млн 235,7 тыс. т, спрос - 1 млн 262,9 тыс. т.

1.3 Процесс обжига свинцово-цинковой руды в атмосфере водяного пара

В последнее время для переработки как традиционного сырья цветных и благородных металлов, так и различных видов отходов обогащательной и металлургической промышленности, а также вторичного сырья все больше внимание исследователей привлекают биогидрометаллургические методы.

По данным РФА, основными рудными минералами сульфидной пробы являются пирит FeS_2 , сфалерит ZnS и галенит PbS . Породообразующие минералы представлены кварцем SiO_2 и кальцитом CaCO_3 [14-16].

Объектом исследования являлась технологическая проба сульфидной руды. Основными рудными минералами сульфидной пробы согласно рентгенофазовому анализу являются пирит FeS_2 , сфалерит ZnS и галенит PbS (в меньшем количестве). Породообразующие минералы представлены кварцем SiO_2 и кальцитом CaCO_3 . По данным химического анализа исследуемой пробы руды массовая доля Pb составила 1,16 %; Zn — 6,43 %; Fe — 19,73 %; S — 26,72 %.

Физико-химическое моделирование системы «основные составляющие сульфидной руды — H_2O » проведено при различном количестве водяного пара (1,5—12 мл/мин) и интервале температур 200—800 °С.

Определен фазовый и химический состав изученной системы и его изменения в зависимости от температуры и расхода водяного пара. Согласно результатам термодинамического моделирования системы «руда-вода» при расходе водяного пара 1,5 мл/мин, температуре 600 °С и выше в продуктах реакции присутствуют пирротин, неразложившийся пирит, а сульфиды свинца и цинка остаются неизменными.

Кислородные минералы породы, входящие в состав руды, претерпевают некоторые изменения — в небольшом количестве образуются метасиликаты кальция и магния. При увеличении водяного пара до 8 мл/мин количество оксида железа растет, но в системе еще остается фаза пирротина.

Практически полное превращение пирита в магнетитовую форму происходит при увеличении водяного пара до 12 мл/мин. Видно, что сульфидные соединения свинца и цинка устойчивы во всем исследуемом интервале температур и при всех расходах воды. В процессе обжига сульфидной руды с водяным паром основным продуктом газовой фазы является сероводород.

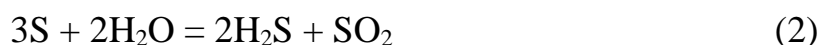
Рабочую печь нагревали до заданной температуры, регулируемой автоматически с точностью 10 °С. Затем через рабочую зону печи пропускали водяной пар, вводили лодочку с измельченной рудой крупности — 0,25 мм и массой 1 г. Продолжительность обжига составляла 30 мин.

При температуре 600 °С и расходе воды 1,5 мл/мин продукты реакции представлены смесью ZnS , PbS , FeS_2 , $\text{Fe}_x\text{-1S}_x$. При увеличении количества воды до 5 мл/мин и температуры до 650-700 °С конечной железосодержащей фазой является магнетит. Сульфиды свинца, цинка и минералы породы не претерпевают изменений.

Известно, что термическая диссоциация сульфида железа сопровождается выделением S_0 по реакции



А водяной пар выше критической температуры воды (374,2 °C) переходит в газовое состояние и становится активным реагентом. Затем в данной системе при температурах свыше 600 °C продукты диссоциации сульфида железа — элементарная сера и сернистое железо — взаимодействуют с перегретым водяным паром с выделением сероводорода:



Образующийся FeO неустойчив, и он легко модифицируется в магнетитовую форму Fe_3O_4 .

Таким образом, установлена возможность селективного окисления пирита с образованием магнетита и сероводорода в процессе обжига сульфидной свинцово-цинковой руды в атмосфере водяного пара при температуре 650 °C.

По данным анализов огарков основными продуктами обжига являются ZnS , PbS , Fe_3O_4 , SiO_2 и $CaCO_3$, это дает предполагать, что обожженный продукт может быть отнесен к легкообогатимому свинцово-цинковому сырью.

1.4 Выбор сульфидирующего – пирротинизирующего обжига

Критический анализ работы промышленных предприятий и текущих технологий дает возможность сделать заключение, что комплексная переработка окисленных и смешанных труднообогатимых руд должна осуществляться комбинированными, гибридными методами.

Современные технологические исследования по комплексной переработке окисленных полиметаллических руд показывают эффективность использования процесса предварительного сульфидирования окисленных соединений цветных металлов с последующим выделением сульфидов во флотоконцентраты.

Однако существующие на сегодняшний день технологии автоклавного и безавтоклавного гидротермального сульфидирования элементарной серой, сульфидами натрия или аммония, высокотемпературного сульфидирования элементарной серой и сернистым газом не находят применения в промышленности. Причинами являются - периодичность и невысокая производительность процесса, дорогостоящие реагенты и специальное оборудование.

В данных исследованиях основными критериями выбора и оценки процесса сульфидирования являлись:

- использование широкораспространенных недорогих реагентов с вовлечением в переработку неиспользуемого сырья;
- проведение процесса сульфидирования в энергосберегающем режиме;
- возможность применения стандартного (типового) оборудования для инженерного оформления процесса;
- утилизация обжиговых газов с соблюдением экологических требований;
- получение продуктов обжига с заранее прогнозируемыми свойствами и составом, традиционными для металлургии.

Перспективным для переработки окисленных и смешанных труднообогатимых полиметаллических руд и промпродуктов является применение комбинированных методов, включающих сульфидирующий обжиг с последующим обогащением огарка.

На основании вышеизложенного технологическим процессом выбран сульфидирующий обжиг окисленных и смешанных полиметаллических руд и промпродуктов, с последующей переработкой огарков методами флотационного и магнитного обогащения.

1.5 Свойства и структура пирротинов, как потенциальных продуктов сульфидирующего обжига

Известно, что пирит (FeS_2), разлагаясь под каким-либо внешним воздействием, переходит в пирротин и затем в троилит, образуя различные сочетания фаз. При этом данные фазовые соотношения со временем могут изменяться. До настоящего времени остаются не изучены некоторые из фаз и их соотношения, которые могут образовываться в результате разложения пирита.

Формульная единица пирротина представляется как Fe_{1-n}S , где n – число вакансий, то есть среднее число вакансий, приходящее на один атом железа (плотность вакансий).

Магнитные свойства в нестехиометрических ферромагнетиках тесно связаны с распределением катионных вакансий в структуре. Так, например, в структуре пирротина реализуется ферромагнитное спиновое упорядочение в базисных плоскостях, а антиферромагнитное – в соседних плоскостях. Отличием пирротина от троилита заключается не только в том, что у пирротина есть вакансии в кристаллической структуре, а у троилита их нет, но также в направлении спина – у троилита он направлен вдоль оси C , а у пирротина поперек оси C [17].

Исследования механизма превращений в пирротинах проводились многими учеными. Появление новых современных методов исследования и накопления экспериментальных данных способствовало выявлению бесспорных физических свойств и структурных особенностей.

Физические свойства пирротинов – огромное разнообразие сверхструктур многочисленные аномалии магнитных и электрических свойств – тесно

связаны с фазовыми отношениями в системе Fe – S, которые определяются ее термодинамикой.

Интересующая нас пирротиновая область составов содержит однофазовое поле, где существует пирротиновый твердый раствор $Fe_{1-n}S$ с неизменной структурой. Считается что уменьшение отношения металл/анион в сульфиде сопровождается лишь увеличением числа пустых катионных позиций (вакансий) в решетке, задаваемой плотнейшей гексагональной упаковкой анионов серы. Другими словами, $Fe_{1-n}S$ – это твердый раствор вычитания, т.е. структура, в которой часть катионных позиций (n) пустует.

Куллеруд и Йодер впервые установили, что пирит $743^{\circ}C$ и давлении 10 бар плавится инконгруэнтно по перитектической реакции:



Равновесные отношения в системе Fe-S между пиритом и пирротином изучены Р. Арнольдом (1966). Положение пирит-пирротинового сольвуса определено от 325 до $743^{\circ}C$ и давлении 2000 бар.

Давление порядка 2000 бар существенно не меняет положение и форму границ между фазами пирит и пирротин + пирит при температурах ниже $670^{\circ}C$. Состав пирита не изменяется в зависимости от давления, температуры и продолжительности синтеза и отвечает отношению Fe:S = 1:2. При быстром охлаждении пирротинов с содержанием Fe ниже 45,6 ат. % от температуры выше $665^{\circ}C$ возникает фаза неопределенных сульфидов, которая исчезает при медленном охлаждении.

Пирротин, образовавшийся в равновесии с пиритом при $325^{\circ}C$, содержал до 42,7 ат. % железа, а образовавшийся при $600^{\circ}C$ – уже 46,0 ат. %.

А.Г.Бетехтин (1955 г.), рассматривая парагенетические соотношения минералов в системе Fe – S – O, показал, что могут наблюдаться три трех- и семь двухфазных парагенетических ассоциаций. «Пирит, являющийся более богатым серой из сульфидов железа, возникает в более окислительных условиях, чем пирротин». Влияние температуры показывается на примере диссоциации пирита. При его нагревании в запаянной стеклянной трубке «возгоняется атомная сера и происходит превращение FeS_2 в FeS (при $575^{\circ}C$). Стевенсоном описываются псевдоморфозы пирротина по пириту в сланцах, подвергшихся на контакте с дайкой термическому воздействию. Это, по мнению А. Г. Бетахтина, доказывает вышесказанное о разложении пирита. В зависимости от концентрации кислорода и сероводорода можно наблюдать следующие парагенетические ассоциации указанные в таблице 2 [18-20].

Таблица 2 – Парагенетические ассоциации в зависимости от концентрации кислорода

	$\rightarrow pO_2$
$\downarrow pH_2S$	1. $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$

	2. $\text{Fe}_{1-x}\text{S} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow (\text{Fe}_2\text{O}_3)$
	3. $\text{Fe}_{1-x}\text{S} \rightarrow \text{FeS}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$
	4. $\text{Fe}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$
	5. $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$

Таблица 3 – Парагенетические ассоциации в зависимости от концентрации сероводорода

	$\rightarrow p\text{H}_2\text{S}$
$\downarrow p\text{O}_2$	1. $\text{Fe}_{1-x} \rightarrow \text{FeS}_2$
	2. $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_{1-x} \rightarrow (\text{FeS}_2)$
	3. $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeS}_2$
	4. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeS}_2$

Как видно из схемы интересующий нас минерал – пирротин – образуется при несколько повышенной концентрации сероводорода и низком парциальном давлении кислорода. При повышении давления последнего происходит замещение пирротина мегнетитом, в повышение концентрации сероводорода ведет к образованию пирита.

По данным Кискариса (1960 г.), гексагональные пирротины являются преимущественно парамагнитными. Их образование связывается с высокой температурой. Моноклинные – ферромагнитны в интервале температур до 320 °С, выше этой температуры они парамагнитны. Последняя разновидность пирротинов, вероятно, является низкотемпературным минералом.

Считается, что магнитные свойства зависят от содержания серы в решетке пирротина; увеличение серы в решетке ведет к появлению вакансий. Ф.Бертаут по результатам рентгеновского анализа монокристалла природного пирротина (Fe_7S_8) установил, что в структуре имеется упорядоченное распределение вакансий.

Слои с ионами железа перпендикулярные к оси С, попеременно содержат вакантные положения. Число ионов железа различается в слоях без вакансий и в слоях с вакансиями, что приводит к появлению неполной компенсации этих подрешеток, между которыми существует антиферромагнитное взаимодействие при температуре ниже точки Кюри. В результате неполной компенсации возникает ферримагнетизм.

Ф.Лотгеренг отмечает, что повышение температуры ведет к разупорядочению вакансий, т.е. ослаблению и полному исчезновению ферримагнитных свойств. Следует указать, что в большинстве случаев направление термоостаточной намагниченности совпадает с направлением магнитного поля, в котором происходило намагничение. По данным Харалдсена, ферримагнитными являются пирротины FeS_{1+x} , где $0,1 < X < 0,7$.

Е.Т.Леонченкова изучала связь между магнитными свойствами и структурой пирротинов. По ее данным, гексагональные пирротины, содержащие

от 51 до 53,5 ат. %, обладают слабыми магнитными свойствами, а пирротины, содержащие 53,5 до 55 ат. %, кристаллизуются в моноклинной сингонии и являются сильно магнитными.

Исследуя пирротины Хайлеолского железорудного месторождения, Ю.В.Индугаев с помощью микроскопического, спектрального, химического и рентгеноструктурного методов выделил 4 генерации этого минерала. Пирротины 1 с содержанием серы 52,00 ат. % являются парамагнитными. Неодинаковое содержание серы в пирротинах объясняется различными условиями формирования этих минералов.

Дифференциально-термическими, рентгенографическими, микроскопическими исследованиями и изучением магнитных свойств пирротинов установлено, что в зависимости от геологических условий образования, химического состава и температуры пирротин имеет различные кристаллические структуры и фазы. При комнатной температуре выделяются три стабильные (низкотемпературные) фазы: троилит – FeS (железа 50 ат. %), гексагональный пирротин – Fe_{1-x}S (железа 46,7 ат. %) и моноклинный пирротин – Fe_7S_8 (железа 46,7 ат. %). Последние являются ферримагнитными.

По данным различных исследователей, переход антиферримагнитного пирротина в ферримагнитный происходит при содержании при содержании железа соответственно 47,2; 47,6; 48 ат. % [20-23].

А. Кларк, изучая поле устойчивости моноклинного пирротина, показал, что при давлении менее одной атмосферы он устойчив ниже 380 °С. Приводятся данные, свидетельствующие о более быстром переходе моноклинного пирротина при нагревании в гексагональную разновидность, чем обратное преобразование.

А.Ф. Генкин и др., изучая пирротины из различных руд Норильска, пришли к выводу, что во вкрапленных рудах почти сплошь отмечается моноклинный пирротин, а в жильных рудах 80 и более – гексагональный. Ю.Н.Удодов убедительно показывает, что «независимыми параметрами, с помощью которых можно описать физико-химические условия образования сульфидов железа в гидротермальных условиях, являются температура, активность железа или серы».

Подводя итог, можно отметить:

1. Верхняя граница существования пирит-пирротинового солидуса 755°С,
2. Нижнюю граница образования пирротина предположительно ниже 80°С,
3. Четко устанавливается наличие двух разновидностей пирротина: гексагонального и моноклинного. Первый более высокотемпературный,
4. Моноклинные пирротины ферримагнитны, а гексагональные парамагнитны,
5. Их ассоциация существует в узком интервале температур и состава,
6. Моноклинные пирротины становятся ферримагнитными при содержании серы 52,8; 52,4; 53,05 и выше ат. %,
7. При повышении температуры и низком кислородном потенциале пирит переходит в пирротин.

Исследования пирротинов, полученных в результате перехода пирит – пирротин, показывают зависимость их магнитных свойств и особенностей кристаллической структуры от температуры отжига и времени их выдержки.

В интервале температур отжига пирита 500–650 °С образцы получались двухфазными, состоящими из пирита и пирротина. Подъем намагниченности на этом участке объясняется уменьшением процентного содержания парамагнитной фазы пирита и одновременным увеличением ферромагнитной фазы пирротина.

В интервале температур прокаливания пирита 650–850 °С все полученные образцы обладали высокой намагниченностью. Стабильные фазовые состояния соответствуют составам: FeS, Fe_{0,975}S, Fe_{0,950}S, Fe_{0,909}S, Fe_{0,900}S, Fe_{0,75}S, FeS₂ – между ними смесь FeS+Fe_{0,875}S+FeS₂. Это соответствует составам FeS, FeS_{1,03}, FeS_{1,05}, FeS_{1,10}, Fe₉S₁₀. Важно отметить, что при температурах прокаливания образцов 100–200 °С и последующей их выдержке образовывался ферромагнитный пирротин состава Fe₇S₈ (Fe_{0,875}S), поэтому намагниченность образцов не обращалась в ноль.

В труде были представлены дифрактограммы составов Fe_{0,875}S и Fe_{0,900}S и кривые намагничивания этих образцов. Отличная от нуля намагниченность в области антиферромагнитных образцов первоначального состава доказывает наличие ферромагнитной фазы Fe_{0,875}S. Из анализа рентгеновских дифрактограмм можно заключить, что в образцы, содержащие первоначально пирротин в метастабильном состоянии, с течением времени распадаются на узкий интервал стабильных пирротинов. Это составы Fe_{0,975}S, Fe_{0,950}S, Fe_{0,909}S, Fe_{0,900}S, Fe_{0,875}S, FeS и FeS₂.

На основе полученных данных авторы сделали вывод, что фазовый состава образцов, полученных в результате перехода пирит–пирротин–троилит, зависит от температуры отжига и времени последующей выдержки. Метастабильные пирротины в изотермических условиях при наличии атмосферы переходят со временем в стабильные фазовые состояния пирротинов. Из анализа спектров также следует, что метастабильные пирротины переходят со временем в троилит.

1.6 Магнитное обогащение

Процессы магнитного обогащения, основанные на различии магнитных свойств разделяемых компонентов, находят широкое применение для обогащения руд черных, редких и цветных металлов, регенерации сильномагнитных утяжелителей, удаления железистых примесей из кварцевых песков, абразивов, керамического сырья, флюсов, ванадийсодержащих шлаков и других материалов.

Основными объектами магнитного обогащения являются магнетитовые, титаномагнетитовые, магнетито-гематитовые, окисленные железные, сидеритовые, хромитовые, а также марганцевые руды, обладающие магнитными свойствами.

В настоящее время разделение материалов по магнитным свойствам осуществляется главным образом в постоянном магнитном поле. Наряду с магнитными свойствами разделяемых частиц на показатели обогащения оказывают влияние их плотность, крупность и форма, а также конструктивные особенности магнитного сепаратора. На разделение в магнитном поле существенно влияет магнитная флокуляция сильномагнитных частиц.

Отличие магнитных свойств пирротина и сульфидов цветных металлов технологии, разработанной в химико-металлургическом институте АН КазССР. Термическая диссоциация пирита в температурах 700-1000 °С дает возможность получить пирротин с ферромагнетизмом [24].

Магнитная сепарация продукта пирротинизирующего обжига позволяет извлечь до 85 % свинца, 83 % цинка и 80 % меди в немагнитный продукт 85-95 % железа в магнитную фракцию. В свою очередь магнитная фракция (пирротиновый концентрат) подвергается окислительному обжигу получением огарка гематита и диоксида серы. На предприятиях цветной металлургии в свою очередь перерабатывается немагнитный концентрат цветных металлов.

Пирротинизированное сырье также перерабатывают сульфатизирующим обжигом с последующей гидрометаллургической переработкой огарка.

Способом обжигмагнитного обогащения извлечения меди из сульфидного сырья, содержащего пирит, является обжиг без доступа воздуха течение 1–2 и дальнейшая магнитная сепарация огарка. Способ был разработан в Химико-металлургическом институте в Казахстане. Огарок охлаждают со скоростью 2–4 град/мин и ведут магнитную сепарацию при напряженности магнитного поля 96-120 кА/м для отделения сульфидов железа и после этого при 358-477 кА/м чтобы выделить сульфиды меди. Эти операции проводятся целью повышения селективности разделения компонентов сырья.

В следствии твердофазного взаимодействия с пиритом моносульфидные меди, входящие в состав сырья, при 600–750 °С без доступа воздуха в течение 1-2 часов образуется сложный сульфид меди – кубический халькопирит.

В тех же условиях природный диамагнитный тетрагональный халькопирит, входящий в состав сырья, также переходит в кубическую форму. Охлаждение продукта термообработки со скоростью 2-4 рад/мин способствует переходу халькопирита снова в тетрагональную форму, но с небольшим дефицитом в сере. При этом он обретает магнитные свойства, что связано изменением кристаллической структуры. После медленного охлаждения продукта термообработки удаления сульфидов железа магнитной сепарацией при 96-120 кА/м повторной сепарацией при напряженности поля 358-477 кА/м отделяют медный продукт от остальных рудообразующих [25-27].

Таким образом, исходя из анализа литературных данных специфические особенности, преимущества и достоинства пирротинизирующего обжига позволяют предложить этот способ как самостоятельный вариант обжигмагнитного обогащения железо-сернистых материалов. Термомагнитный способ обогащения сырья имеет большое практическое значение, и разработка его теоретических и технологических нов является актуальной задачей как для

цветной, так и для черной металлургии, так и для химической технологии серы и силикатных материалов.

1.6 Флотационное обогащение

При проведении исследований, направленных на разработку режима коллективной флотации свинцово-цинковой руды, установлено, что коллективную флотацию следует проводить при содержании 100 % класса – 0,074 мм в исходном питании. В измельчение в качестве регулятора среды необходимо подавать кальцинированную соду, для сульфидизации подоxygenного сфалерита – небольшое количество сернистого натрия (100 г/т), для активации свежесформированной поверхности сфалерита – медный купорос при расходе 300 г/т.

Основную коллективную флотацию и дальнейшие три перечистки коллективного концентрата проводили с бутиловым ксантогенатом, в качестве пенообразователя использовали оксаль Т-80. По данному реагентному режиму нарабатывали коллективный концентрат, содержание свинца и цинка в объединённом продукте составило 37,19 и 10,15 % соответственно [27-30].

Далее коллективный концентрат подвергался предварительной десорбции реагентов и дефлокуляции путем пропарки в среде сернистого натрия (расход сернистого натрия 5 кг/т, температура 75 °С, время пропарки 30 минут) и направлялся в цикл селекции. Селекция осуществлялась на высокоградиентном магнитном сепараторе с получением магнитного (цинковый концентрат) и немагнитного (свинцовый концентрат) продуктов. Перечистка магнитного продукта осуществлялась путем снижения напряженности магнитного поля в каждой стадии (три этапа). Перечистка немагнитного продукта осуществлялась в одну стадию путем повышения напряженности магнитного поля до 960 кА/м.

В результате магнитной сепарации получен свинцовый концентрат (немагнитный продукт) с содержанием Pb 68,24 % при извлечении 85,02 %. Полученный свинцовый концентрат по технологическим показателям выше, чем свинцовый концентрат, получаемый на Горевской фабрике при обогащении свинцово-цинковых руд по прямой селективной флотации. Извлечение Zn в цинковый концентрат (магнитный продукт) составило 68,81 %, при содержании 11,09 %. В свинцовый концентрат переходит сфалерит, находящийся в сростках с галенитом, сидерит отсутствует, породообразующая часть представлена кварцем [30-33].

Низкое содержание в цинковом концентрате (магнитном продукте ВГС) объясняется тем, что в него перешел железосодержащий сидерит, который представлен как в свободной форме, так и в сростках со сфалеритом. Присутствие свинца в цинковом концентрате (магнитном продукте ВГС) объясняется срастанием галенита с сидеритом и его нахождением в сложных сростках со сфалеритом и пиритом.

Таким образом, метод высокоградиентной магнитной сепарации возможно использовать как способ селекции коллективного свинцово-цинкового концентрата, но для достижения оптимальных технологических показателей необходимо улучшение самого качества коллективного концентрата, а именно следует достичь увеличения в нем содержания цинка, поэтому возникает необходимость в проведении исследований для подбора реагентного режима основной коллективной флотации [34-38].

2 Экспериментальная часть

2.1 Термодинамика фазовых превращений в системе Fe-S-O

В работе изучалась термодинамика сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка и потенциальная возможность проведение пирротинизирующего обжига окисленной свинцово-цинковой руды месторождения Жайрем и промпродукта обогащения. Для изучения превращений был использован программный комплекс HSC-5, компании Outocumpu.

В таблице 4 приведены устойчивые конденсированные фазы, выявленные в системе Fe-S-O в интервале температур от 500 до 1100 °С.

Таблица 4 – Устойчивые конденсированные фазы, выявленные в системе Fe-S-O в интервале температур от 500 до 1100 °С

Химическая формула	Атомное соотношение элементов			ΔG , кДж/моль
	Fe	O	S	
Fe	1,000	0,000	0,000	0,00
Fe _{0,945} O	0,945	1,000	0,000	-212,75
Fe _{0,947} O	0,947	1,000	0,000	-212,66
FeO	1,000	1,000	0,000	-213,93
FeO _{1,056}	1,000	1,056	0,000	-224,22
Fe ₃ O ₄	3,000	4,000	0,000	-860,89
Fe _{0,877} S	0,877	0,000	1,000	-104,31
FeS	1,000	0,000	1,000	-111,14
FeS ₂	1,000	0,000	2,000	-144,22
Fe ₂ S ₃	2,000	0,000	3,000	-268,49
Fe ₇ S ₈	7,000	0,000	8,000	-790,95
FeSO ₄	1,000	4,000	1,000	-664,09
Fe ₂ (SO ₄) ₃	2,000	12,000	3,000	-1762,67

Рассмотрена термодинамика взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами цинка и свинца при температуре от 300 до 1000 °С (таблица 5). Полученные данные показывают потенциальное интенсивное взаимодействие окисленных соединений цинка и свинца с пиритом с образованием соответствующих сульфидов железа, относящихся к пирротинам различного состава до Fe_{0,95}S.

Таблица 5 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами

№	Температура, °C	ΔH , кДж	ΔS , кДж	ΔG , кДж	K	lgK
1	$3FeS_2 + 2ZnO = 3FeS + 2ZnS + SO_2$					
	300	224.632	349.956	24.108	6.341E-003	-2.198
	400	228.090	355.694	-11.292	7.524E+000	0.876
	500	228.668	356.507	-46.912	1.480E+003	3.170
	600	228.631	356.468	-82.565	8.721E+004	4.941
	700	228.289	356.098	-118.194	2.217E+006	6.346
	800	227.942	355.757	-153.786	3.069E+007	7.487
	900	227.883	355.702	-189.355	2.709E+008	8.433
	1000	228.402	356.123	-224.942	1.701E+009	9.231
2	$3FeS_2 + 2ZnCO_3 = 3FeS + 2ZnS + SO_2 + 2CO_2$					
	300	355.839	685.439	-36.917	2.321E+003	3.366
	400	353.589	682.040	-105.423	1.524E+008	8.183
	500	346.345	672.052	-173.150	5.028E+011	11.701
	600	336.273	659.831	-239.760	2.223E+014	14.347
	700	323.608	646.121	-305.067	2.391E+016	16.379
	800	308.598	631.454	-368.952	9.171E+017	17.962
	900	291.481	616.215	-431.339	1.620E+019	19.209
	1000	272.510	600.704	-492.186	1.575E+020	20.197
3	$4ZnCO_3 + 7FeS_2 = 4ZnS + Fe_7S_8 + 2SO_2 + 4CO_2$					
	300	718.801	1357.403	-58.991	2.388E+005	5.378
	400	705.908	1336.772	-193.739	1.092E+015	15.038
	500	687.940	1311.962	-326.207	1.109E+022	22.045
	600	664.785	1283.857	-456.022	1.939E+027	27.288
	700	636.345	1253.066	-582.888	1.970E+031	31.294
	800	602.541	1220.039	-706.561	2.506E+034	34.399
	900	563.278	1185.089	-826.832	6.646E+036	36.823
	1000	518.486	1148.475	-943.523	5.231E+038	38.719
4	$4ZnO + 7FeS_2 = 4ZnS + Fe_7S_8 + 2SO_2$					
	300	456.387	686.436	63.059	1.783E-006	-5.749
	400	454.910	684.081	-5.476	2.661E+000	0.425
	500	452.585	680.872	-73.729	9.607E+004	4.983
	600	449.501	677.129	-141.633	2.986E+008	8.475
	700	445.707	673.022	-209.143	1.693E+011	11.229
	800	441.229	668.646	-276.228	2.806E+013	13.448
	900	436.082	664.064	-342.865	1.859E+015	15.269
	1000	430.269	659.312	-409.035	6.099E+016	16.785
5	$1,508ZnO + 2,631FeS_2 = 3Fe_{0,877}S + 1,508ZnS + 0,754SO_2$					
	300	170.445	275.317	12.689	6.970E-002	-1.157
	400	174.808	282.508	-15.320	1.546E+001	1.189
	500	176.383	284.699	-43.690	8.965E+002	2.953
	600	177.543	286.114	-72.234	2.101E+004	4.322
	700	178.593	287.252	-100.904	2.614E+005	5.417
	800	179.720	288.354	-129.684	2.059E+006	6.314
	900	181.047	289.535	-158.577	1.154E+007	7.062
	1000	182.658	290.851	-187.595	4.991E+007	7.698
6	$1,508ZnO + 2,631FeS_2 = 3Fe_{0,877}S + 1,508ZnS + 0,754SO_2 + 1,508CO_2$					
300	269.375	528.271	-33.324	1.092E+003	3.038	

	400	269.434	528.573	-86.295	4.992E+006	6.698
	500	265.112	522.620	-138.874	2.427E+009	9.385
	600	258.705	514.850	-190.759	2.599E+011	11.415
	700	250.463	505.929	-241.806	9.599E+012	12.982
	800	240.534	496.229	-291.919	1.630E+014	14.212
	900	229.000	485.962	-341.033	1.541E+015	15.188
	1000	215.916	475.266	-389.097	9.269E+015	15.967
	$3\text{FeS}_2 + 2\text{PbCO}_3 = 3\text{FeS} + 2\text{PbS} + \text{SO}_2 + 2\text{CO}_2$					
7	300	334.541	650.688	-38.304	3.105E+003	3.492
	400	332.347	647.375	-103.336	1.050E+008	8.021
	500	325.426	637.828	-167.616	2.125E+011	11.327
	600	315.985	626.373	-230.838	6.501E+013	13.813
	700	304.309	613.731	-292.851	5.281E+015	15.723
	800	290.695	600.427	-353.562	1.634E+017	17.213
	900	275.433	586.837	-412.927	2.452E+018	18.389
	1000	258.828	573.259	-470.930	2.114E+019	19.325
	$3\text{FeS}_2 + 2\text{PbO} = 3\text{FeS} + 2\text{PbS} + \text{SO}_2(\text{g})$					
8	200	161.328	353.169	-5.721	4.284E+000	0.632
	300	166.275	362.679	-41.540	6.125E+003	3.787
	400	169.281	367.693	-78.177	1.170E+006	6.068
	500	169.221	367.626	-114.954	5.869E+007	7.769
	600	168.388	366.620	-151.671	1.191E+009	9.076
	700	167.133	365.261	-188.266	1.282E+010	10.108
	800	165.801	363.958	-224.725	8.725E+010	10.941
	900	113.553	318.847	-260.454	3.974E+011	11.599
	1000	112.249	317.774	-292.277	9.861E+011	11.994
	$4\text{PbO} + 7\text{FeS}_2 = 4\text{PbS} + \text{Fe}_7\text{S}_8 + 2\text{SO}_2(\text{g})$					
9	300	339.672	711.881	-68.236	1.663E+006	6.221
	400	337.291	708.080	-139.247	6.434E+010	10.808
	500	333.690	703.110	-209.813	1.510E+014	14.179
	600	329.015	697.434	-279.845	5.566E+016	16.746
	700	323.394	691.347	-349.287	5.659E+018	18.753
	800	316.948	685.047	-418.107	2.268E+020	20.356
	900	207.423	590.354	-485.062	3.999E+021	21.602
	1000	197.963	582.615	-543.705	2.049E+022	22.312
	$4\text{PbCO}_3 + 7\text{FeS}_2 = 4\text{PbS} + \text{Fe}_7\text{S}_8 + 2\text{SO}_2 + 4\text{CO}_2$					
10	300	676.204	1287.901	-61.764	4.274E+005	5.631
	400	663.424	1267.442	-189.564	5.178E+014	14.714
	500	646.100	1243.515	-315.137	1.981E+021	21.297
	600	624.209	1216.939	-438.179	1.659E+026	26.220
	700	597.747	1188.286	-558.456	9.609E+029	29.983
	800	566.736	1157.985	-675.782	7.951E+032	32.900
	900	531.183	1126.335	-790.008	1.523E+035	35.183
	1000	491.122	1093.585	-901.012	9.420E+036	36.974
	$1,508\text{PbO} + 2,631\text{FeS}_2 = 3\text{Fe}_{0,877}\text{S} + 1,508\text{PbS} + 0,754\text{SO}_2$					
11	200	121.825	276.109	-8.775	9.313E+000	0.969
	300	126.443	284.910	-36.810	2.269E+003	3.356
	400	130.466	291.555	-65.751	1.270E+005	5.104
	500	131.559	293.083	-94.994	2.628E+006	6.420

600	132.120	293.769	-124.340	2.756E+007	7.440
700	132.481	294.161	-153.738	1.795E+008	8.254
800	132.866	294.537	-183.172	8.274E+008	8.918
900	94.843	261.746	-212.185	2.816E+009	9.450
1000	95.079	261.936	-238.366	6.048E+009	9.782

Термодинамические показатели подтверждают возможность сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка пиритом при оптимальных температурах 700-850 °С с образованием гексагональных структур пирротинов от $Fe_{0,85}S$ до $Fe_{0,95}S$. В связи с этим правильность выбора сульфидирующего обжига окисленных соединений термодинамически подтверждается.

2.2 Графики зависимости термодинамических параметров основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами

В разделе 2.2 разработаны термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($3FeS_2 + 2ZnO = 3FeS + 2ZnS + SO_2$) и установлены зависимости энтальпии, энтропии и энергии Гиббса от температуры, рисунок 3.

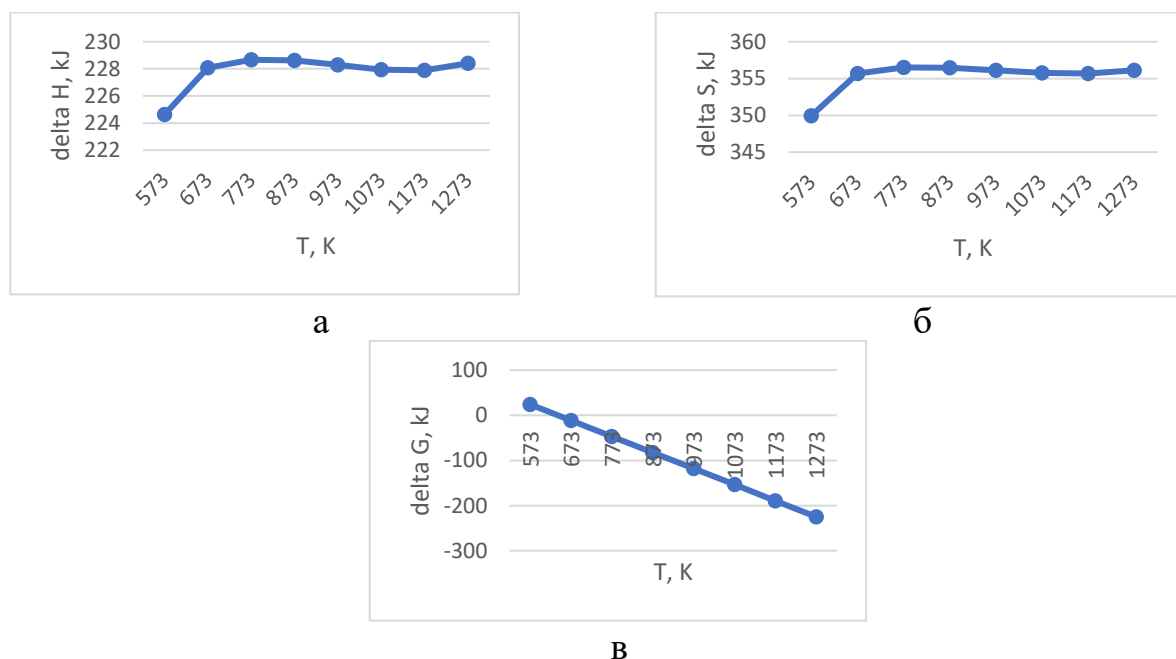


Рисунок 3 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($3FeS_2 + 2ZnO = 3FeS + 2ZnS + SO_2$)

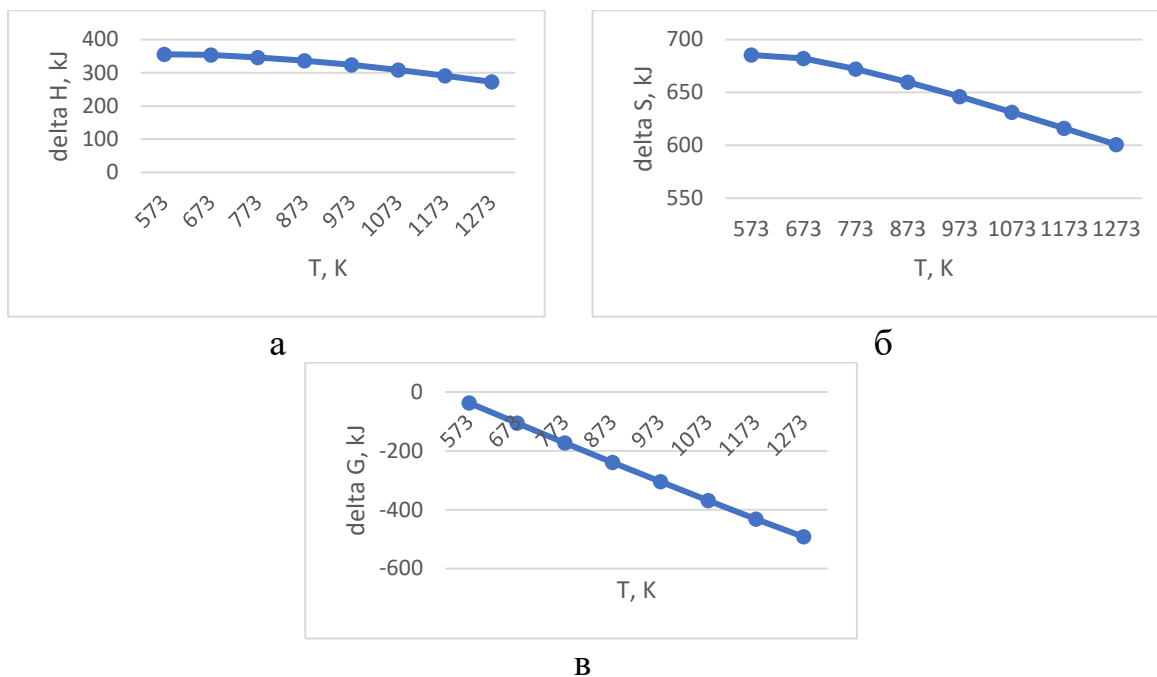


Рисунок 4 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами
 $(3\text{FeS}_2 + 2\text{ZnCO}_3 = 3\text{FeS} + 2\text{ZnS} + \text{SO}_2 + 2\text{CO}_2)$

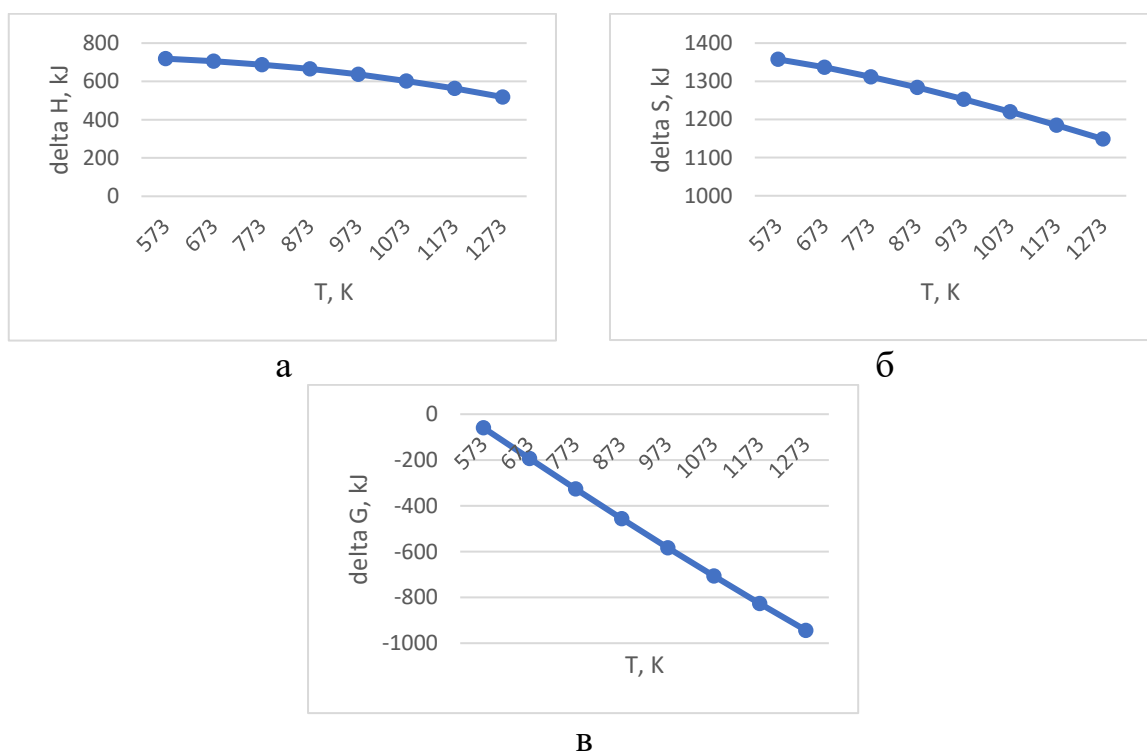


Рисунок 5 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами
 $(4\text{ZnCO}_3 + 7\text{FeS}_2 = 4\text{ZnS} + \text{Fe}_7\text{S}_8 + 2\text{SO}_2 + 4\text{CO}_2)$

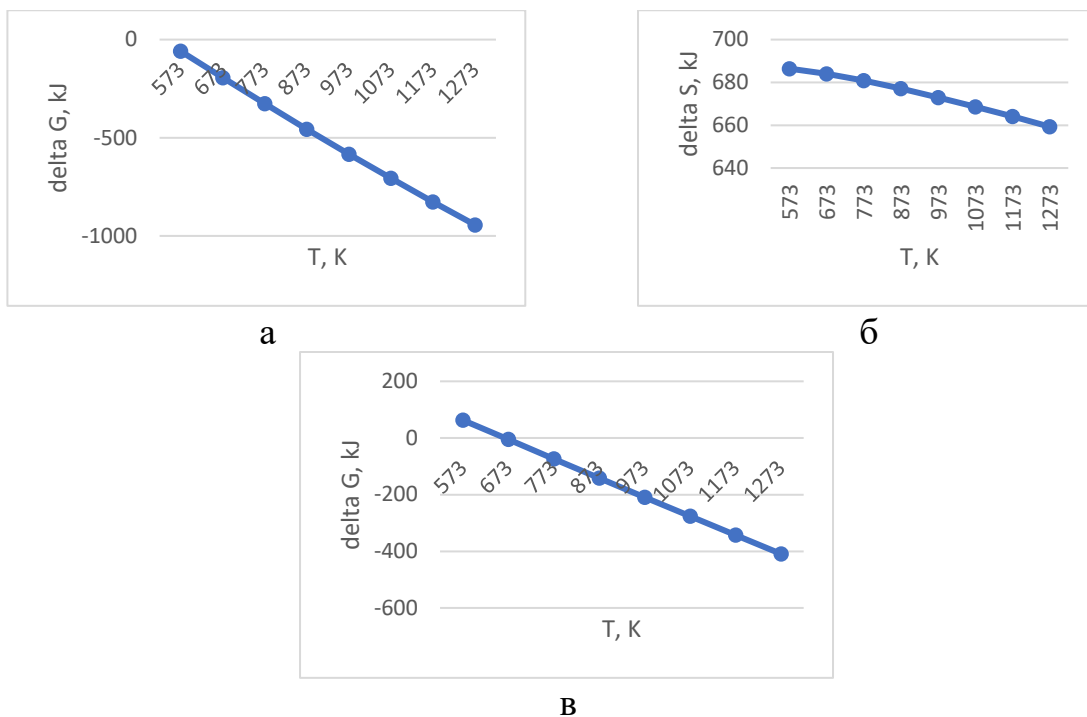


Рисунок 6 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($4\text{ZnO} + 7\text{FeS}_2 = 4\text{ZnS} + \text{Fe}_7\text{S}_8 + 2\text{SO}_2$)

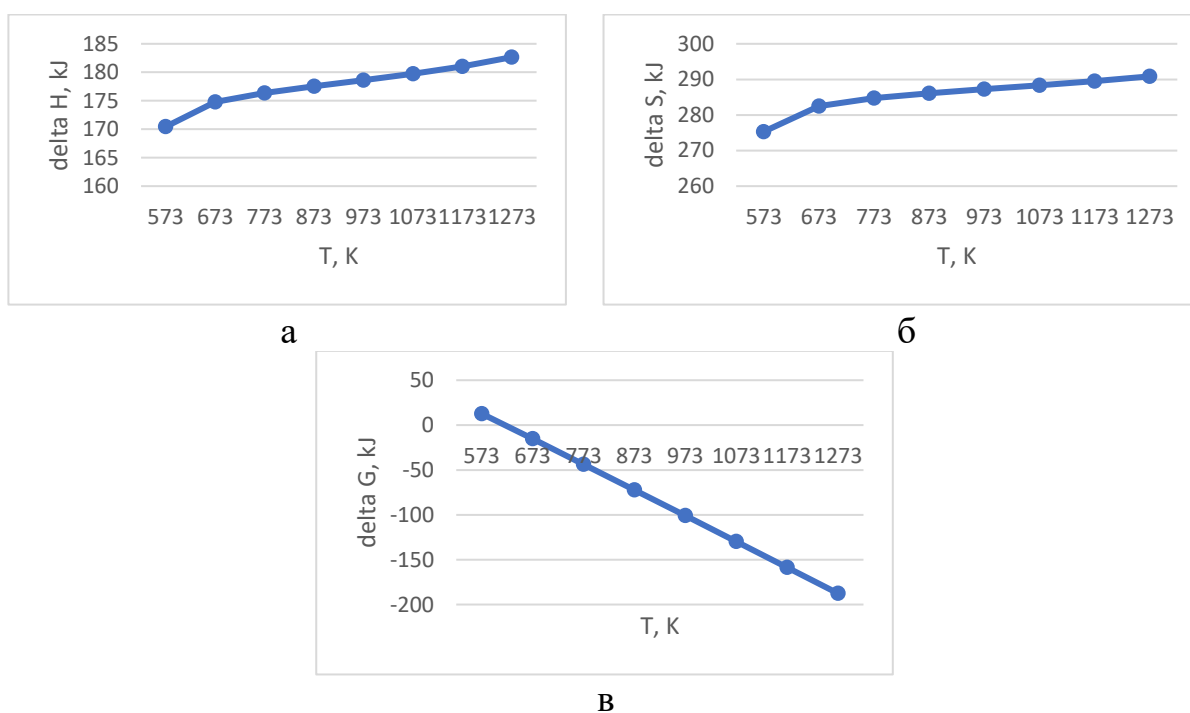
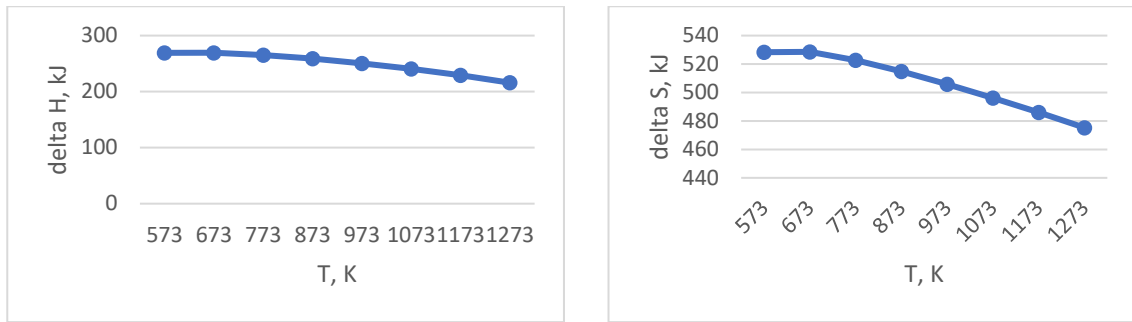
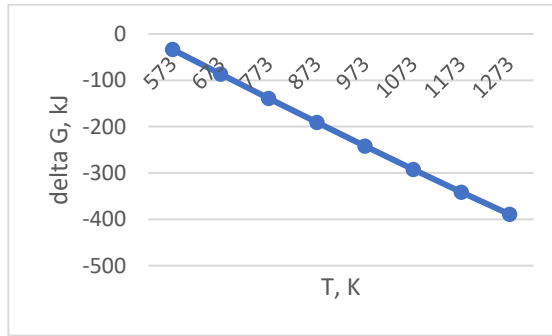


Рисунок 7 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($1,508\text{ZnO} + 2,631\text{FeS}_2 = 3\text{Fe}_{0,877}\text{S} + 1,508\text{ZnS} + 0,754\text{SO}_2$)



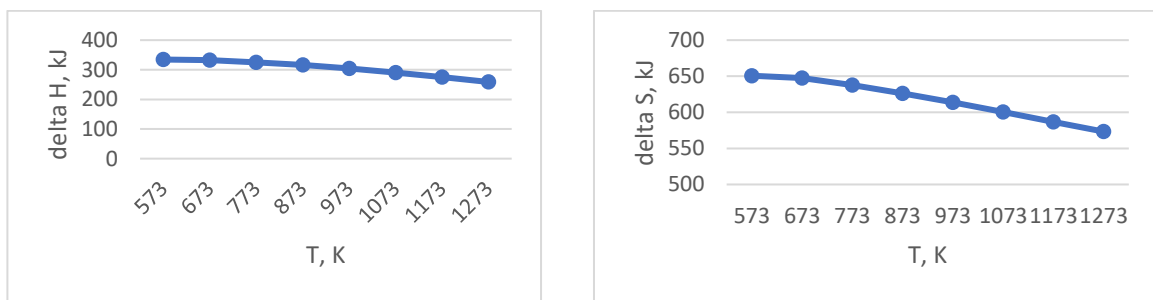
а

б



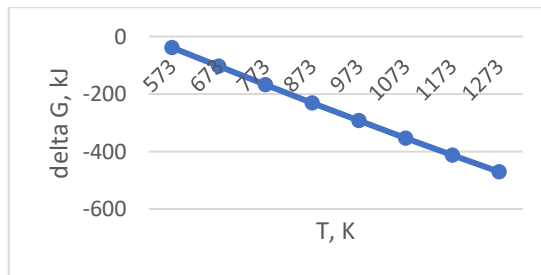
в

Рисунок 8 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($1,508\text{ZnO} + 2,631\text{FeS}_2 = 3\text{Fe}_{0,877}\text{S} + 1,508\text{ZnS} + 0,754\text{SO}_2 + 1,508\text{CO}_2$)



а

б



в

Рисунок 9 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($3\text{FeS}_2 + 2\text{PbCO}_3 = 3\text{FeS} + 2\text{PbS} + \text{SO}_2 + 2\text{CO}_2$)

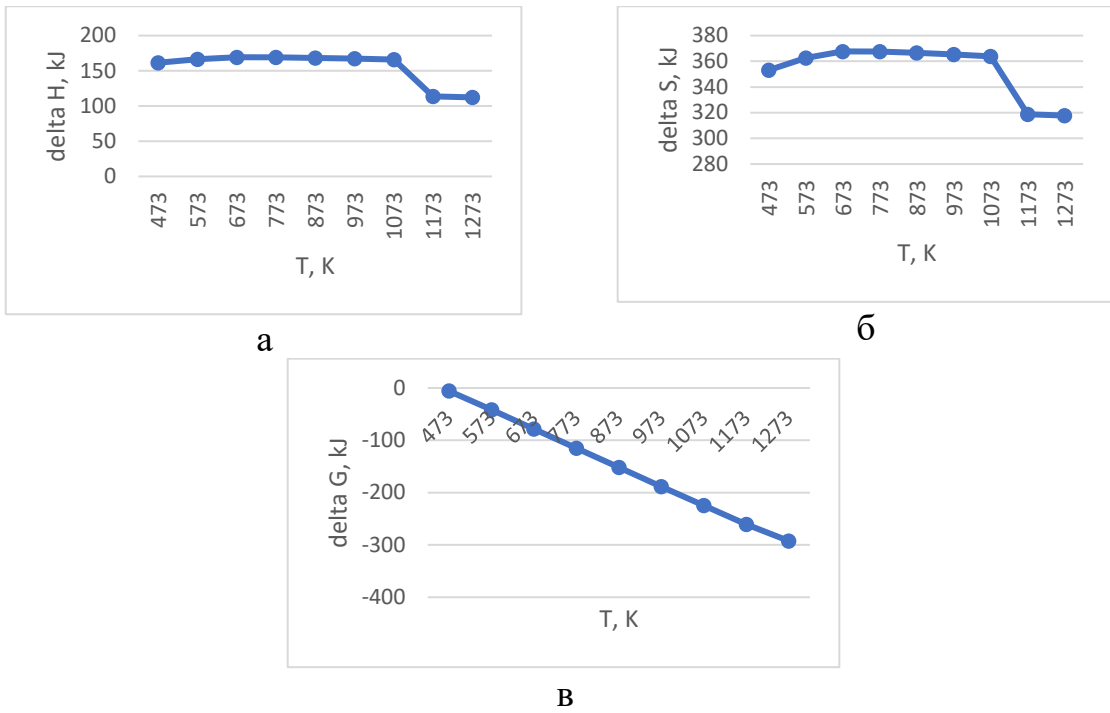


Рисунок 10 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами
 $(3\text{FeS}_2 + 2\text{PbO} = 3\text{FeS} + 2\text{PbS} + \text{SO}_2(\text{g}))$

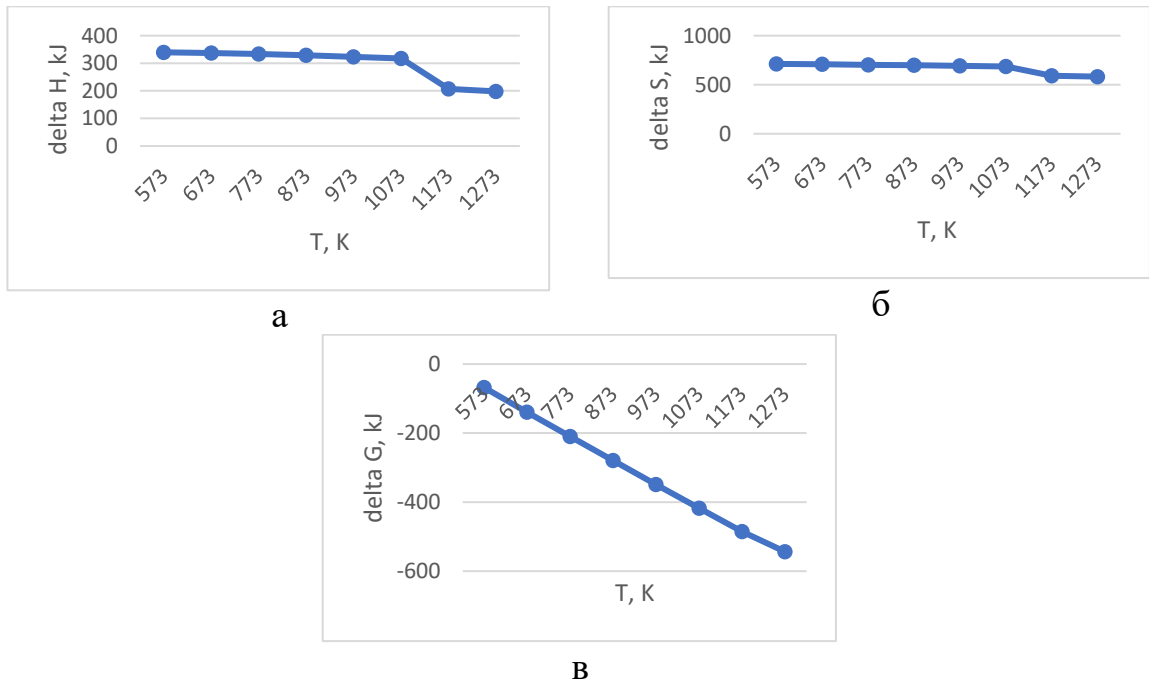


Рисунок 11 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами
 $(4\text{PbO} + 7\text{FeS}_2 = 4\text{PbS} + \text{Fe}_7\text{S}_8 + 2\text{SO}_2(\text{g}))$

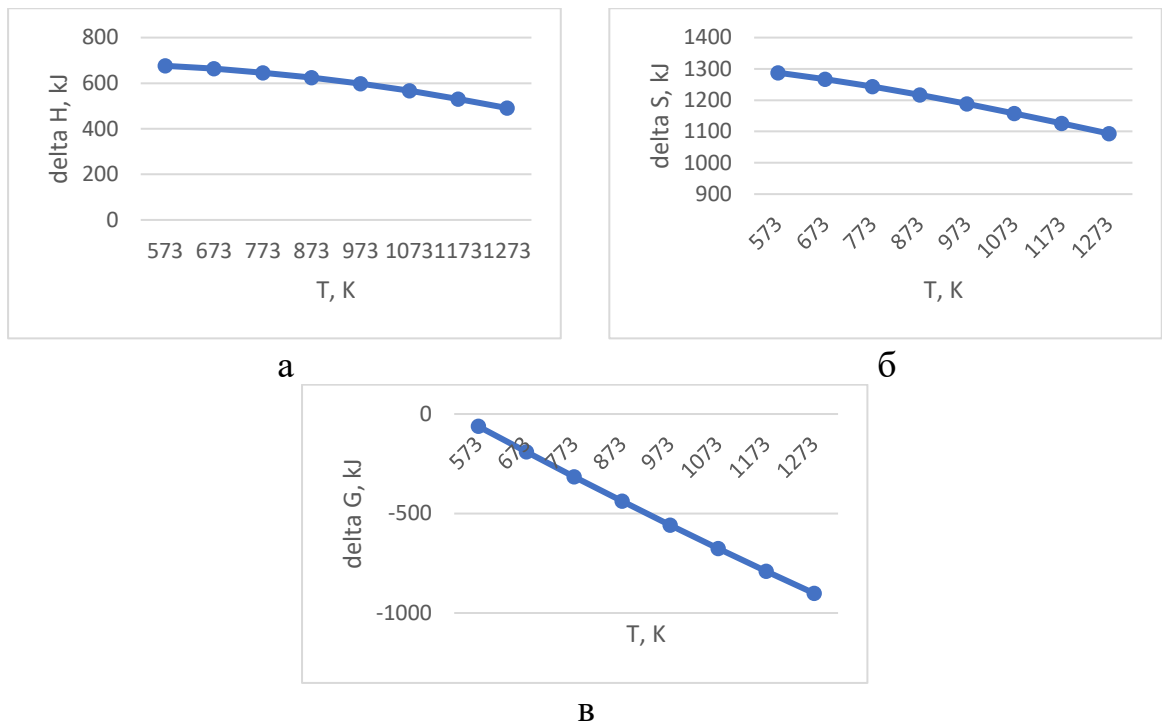


Рисунок 12 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($4\text{PbCO}_3 + 7\text{FeS}_2 = 4\text{PbS} + \text{Fe}_7\text{S}_8 + 2\text{SO}_2 + 4\text{CO}_2$)

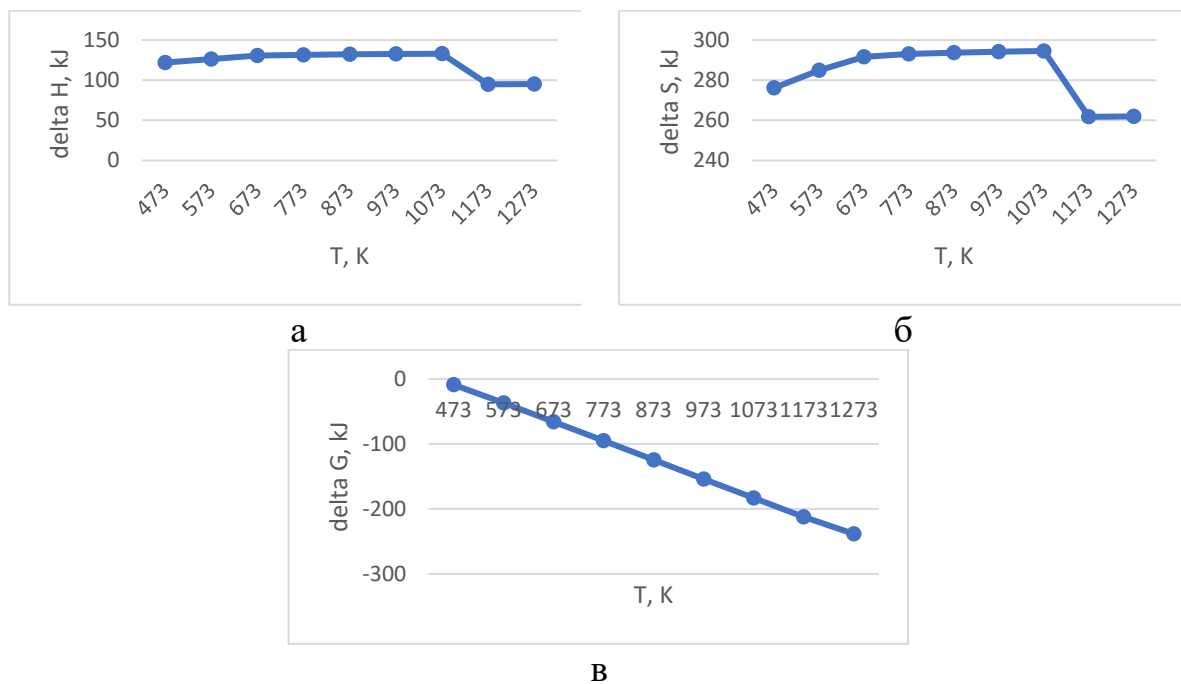


Рисунок 13 – Термодинамические характеристики основных реакций взаимодействия пирита с оксидами и карбонатами ($1,508\text{PbO} + 2,631\text{FeS}_2 = 3\text{Fe}_{0,877}\text{S} + 1,508\text{PbS} + 0,754\text{SO}_2$)

Оптимальное сульфидирование оксидов свинца и цинка достигается при температурах от 700 до 850 °С с получением наиболее магнитно-устойчивых

пирротин, энергия Гиббса достигает значений от 320 до 850 кДж, что позволяет спрогнозировать технологические условия обжига.

2.3 Диаграмма фазовых равновесий системы Fe – O – S

Анализ диаграмм фазовых равновесий системы Fe – O – S позволяет подтвердить устойчивость фаз в системе Fe – O – S при температурах от 700 до 900 °С, рисунок 14.

Из диграмм видно, что область пирротина в устойчивом состоянии достигается при температурах от 500 до 850 °С.

Диаграммы фазовых равновесий систем S – Fe – Zn при температурах 700-800 °С показывают устойчивость образованных сульфидов цинка при сульфидизации пиритом.

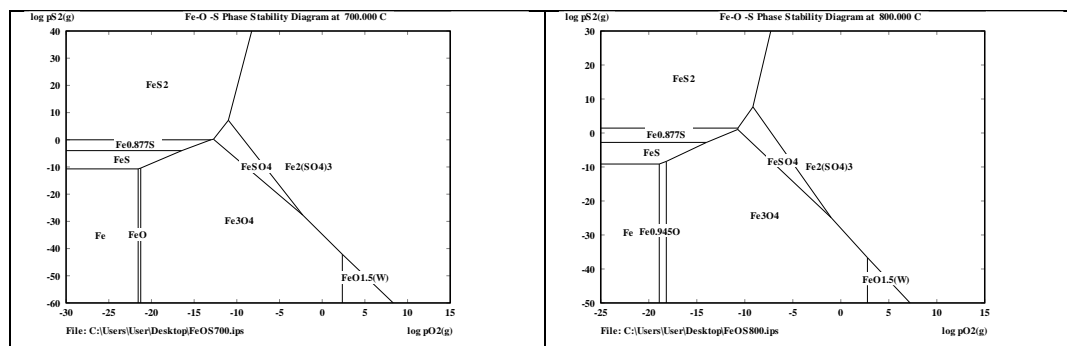


Рисунок 14 – Диаграмма фазовых равновесий системы Fe – O – S

Из приведенных диаграмм видно, что с увеличением парциального давления цинка в системе образуется сульфид цинка, а при повышении парциального давления железа образуются пирротины и пирит при 700-800 °С, рисунок 15.

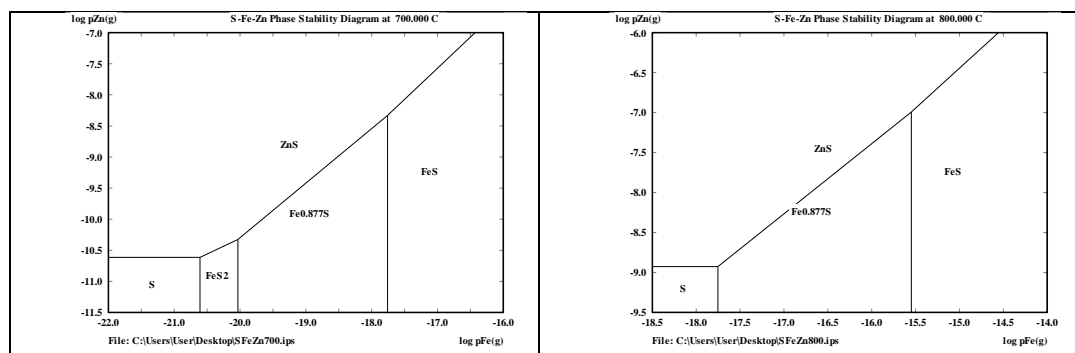


Рисунок 15 - Диаграмма фазовых равновесий системы S–Fe–Zn

Диаграммы фазовых равновесий систем S – Fe – Pb при температурах 700-800 °С показывают устойчивость образованных сульфидов свинца при сульфидизации пиритом. Из приведенных диаграмм видно, что с увеличением

парциального давления свинца в системе образуется сульфид цинка, а при повышении парциального давления железа образуются пирротины и пирит при 700-800 °С, рисунок 16.

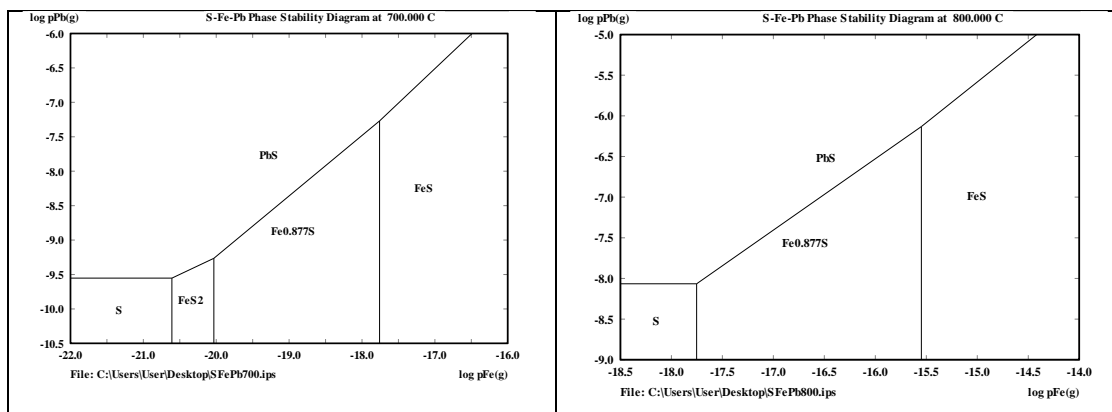


Рисунок 16 - Диаграмма фазовых равновесий системы S–Fe–Pb

3 Технологические исследования

3.1 Исходные материалы

Смешанная окисленная полиметаллическая руда месторождения Жайрем, участок Западный, АО «Жайремский горно-обогатительный комбинат», ТОО «Казцинк» отобрана объектами исследований.

Параметры частиц отобранной окисленной цинковой руды обладает нелинейным характером, которое говорит нам о большем количестве крупных классов в пробе руды. Содержание мелких классов крупности (классы -0,1+0,074 и -0,074+0 мм). В таблице 6 показаны результаты элементного анализа пробы исходной руды месторождения «Жайрем».

Таблица 6 – Результаты элементного анализа пробы исходной руды месторождения «Жайрем»

Содержание в %												
Zn	Pb	Cu	Fe	S _{об}	S _{SO4}	SiO ₂	Ca	Mg	Al	C _{об}	C _{карб.}	Mn
21,07	0,55	0,012	1,56	0,97	0,10	20,70	13,30	0,31	3,00	3,27	3,13	0,39

С целью установления состава ключевых порообразующих минералов применялся рентгеноструктурный способ фазового анализа. Исследования велось на дифрактометре Aeris (XRD).

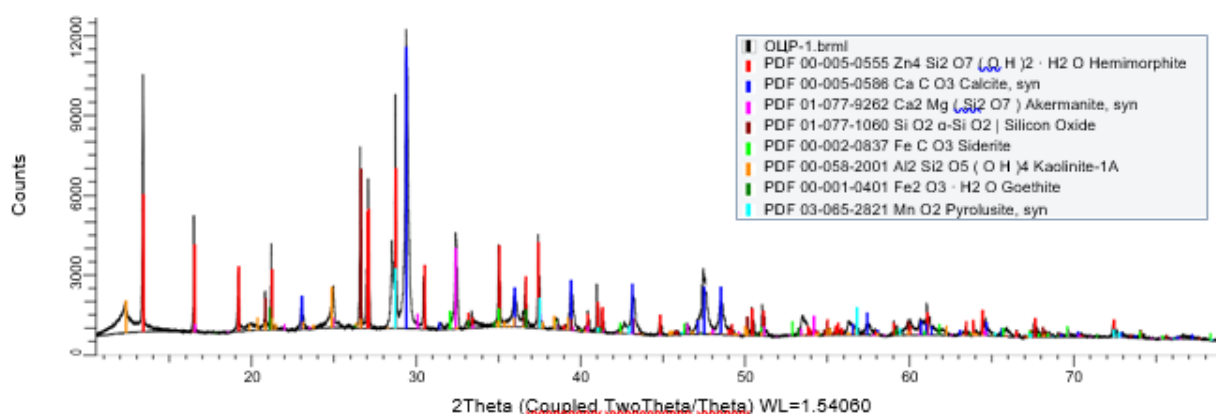
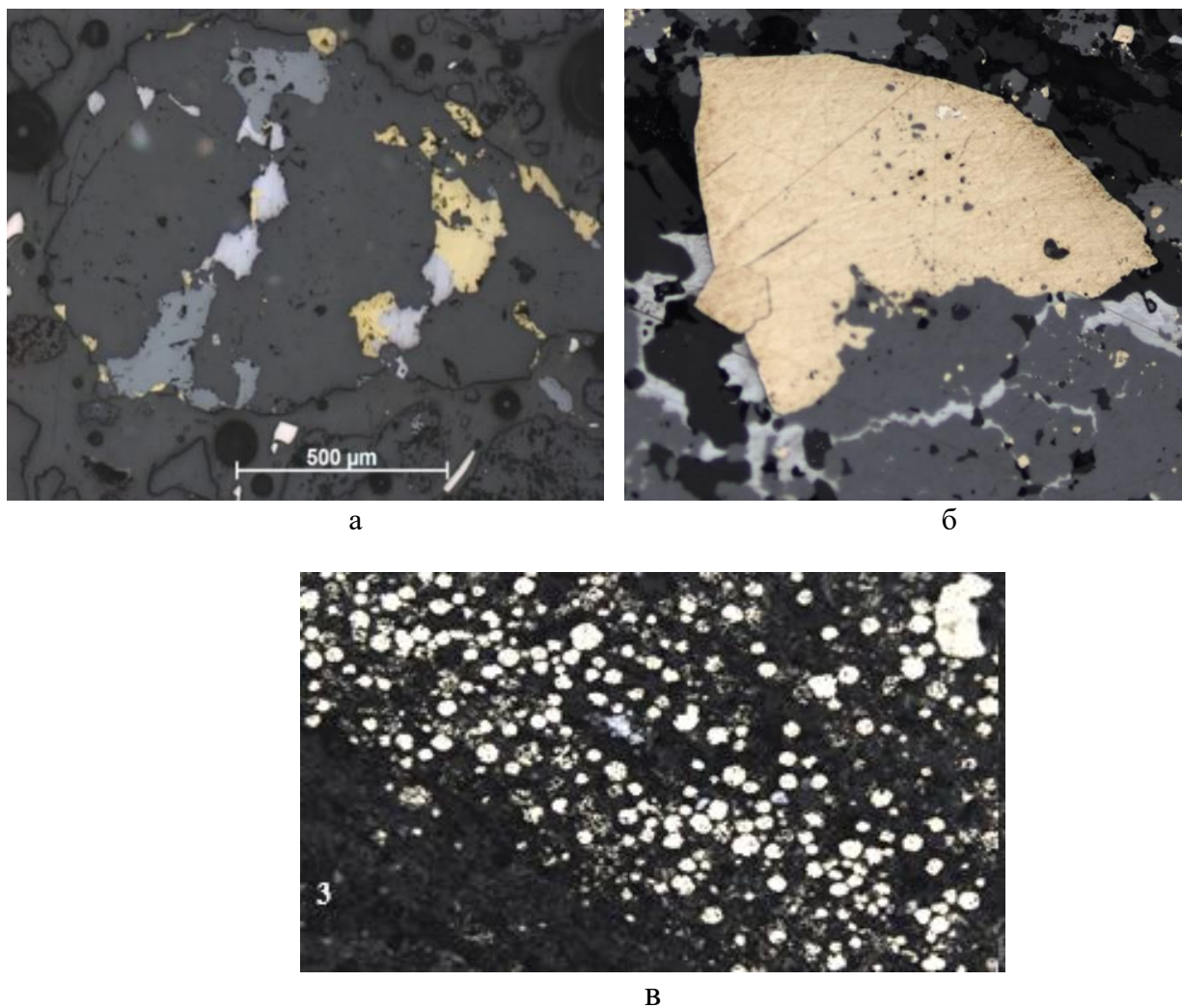


Рисунок 17 – Дифрактограмма окисленной цинковой руды

В качестве исходных материалов использовался: промежуточный продукт флотационного обогащения свинцово-цинковой руды, Риддерской обогатительной фабрики ТОО "Казцинк", в качестве сульфидизатора использовался содержащийся в хвостах пирит. Рентгенофазовый анализ промпродукта показал следующий минеральный состав: FeS₂, ZnCO₃, ZnO, ZnO·2SiO₂, ZnSiO₃, ZnS, PbO, PbCO₃, PbS, PbSiO₃; содержание Zn – 0,38 %, Pb – 0,07 %, Fe 13,0 %, S 7,20 %; FeS₂ – 53,9 % Fe и 45,15 % S.

Использовался пиритный концентрат Риддерской обогатительной фабрики с содержанием 33-40 % железа и 39-50 % серы, подаваемые в шихту до 75 % от массы шихты. Крупность концентратов составляла – 0,074 мм (80 %).

Результаты минералогического анализа образцов представлены на рисунке 18.



а - цинк-олигонитовая руда Жайремского месторождения; б – аншлиф пирита; в - окисленные соединения промпродукта СОФ

Рисунок 18 – Результаты минералогического анализа образцов

Результаты химического фазового анализа показывают, что кислородсодержащая форма нахождения цинка состоит преимущественно из каламина, значительно содержание смитсонита. Цинковый нонтронит обнаруживается в небольшом количестве, практически укладываемом в нижний предел погрешности анализа на стадии разделения фаз.

3.2 Методика сульфидирующего обжига руды и промпродукта

Сульфидирующий обжиг свинцово-цинковых хвостов флотации и руды проводился в вакууме. Опыты проводились с навесками $10 \cdot 10^{-3}$ кг в неподвижном слое в эклектической печи Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5) в вакууме, давление -0,05 МПа, схема установки приведена на рис. 19. Время выдержки навески образцов в печи составляло от 15 до 60 мин; температура варьировалась от 400 до 900 °С. Результаты экспериментов представлены в таблице 7. Охлаждение пробы производилось под вакуумом. Контролировался вес пробы после разложения и содержание железа и серы в обработанном продукте.

В результате исследований, в вакууме при продолжительности процесса разложения 30 мин, удается отогнать до 84-87 % лабильной серы пирита.



Рисунок 19 - Установка для сульфидирующего обжига, эклектическая печь Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5)

3.3 Результаты термического анализа исходных материалов

Исследования термического разложения исходных материалов проводили на установке термического анализатора STA 409 PC/PG (NETZSCH), воспроизводимость измеряемых параметров - 0,1 %.

Термогравиметрические исследования полиметаллической свинцовой-цинковой руды месторождения Жайрем представлены на рисунке 20.

Результаты термического анализа полиметаллической свинцовой-цинковой руды месторождения Жайрем показывают, что наиболее термическое разложение происходит стадийно с равномерной потерей массы образца, в связи с гидратацией и удалением летучих компонентов. При температуре 570 °С фиксируется эндотермический пик, который отвечает за начало разложения окисленных соединений свинца и цинка, а также перехода в β модификацию кристаллической решетки.

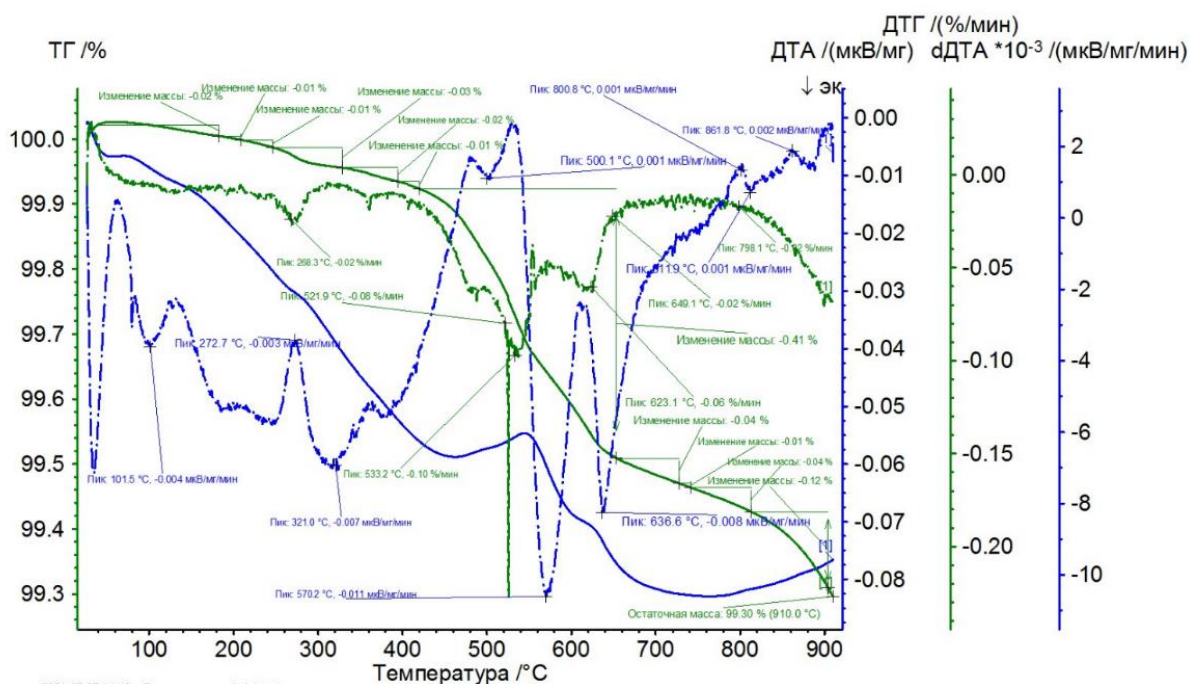


Рисунок 20 – Результаты термического анализа полиметаллической свинцовой-цинковой руды месторождения Жайрем

Температура диссоциации окисленных соединений в интервале температур от 500 до 850 °С, совпадает с данными по термодинамике сульфидирования в разделе 2 и условиями обжига. Стадиальный механизм разложения окисленных соединений подтверждается фазовыми переходами при температурах 570, 636 и 801 °С.

Термогравиметрические исследования промпродукта представлены на рисунке 21.

Полученные результаты показывают, что наибольшая амплитуда разложения промпродукта фиксируется при температурах от 500 до 850 °С, что коррелирует с данными по термодинамике обжига и дальнейшего выбора условий для сульфидирования. Стадиальный механизм разложения окисленных соединений подтверждается фазовыми переходами при температурах 534, 770 и 801 °С.

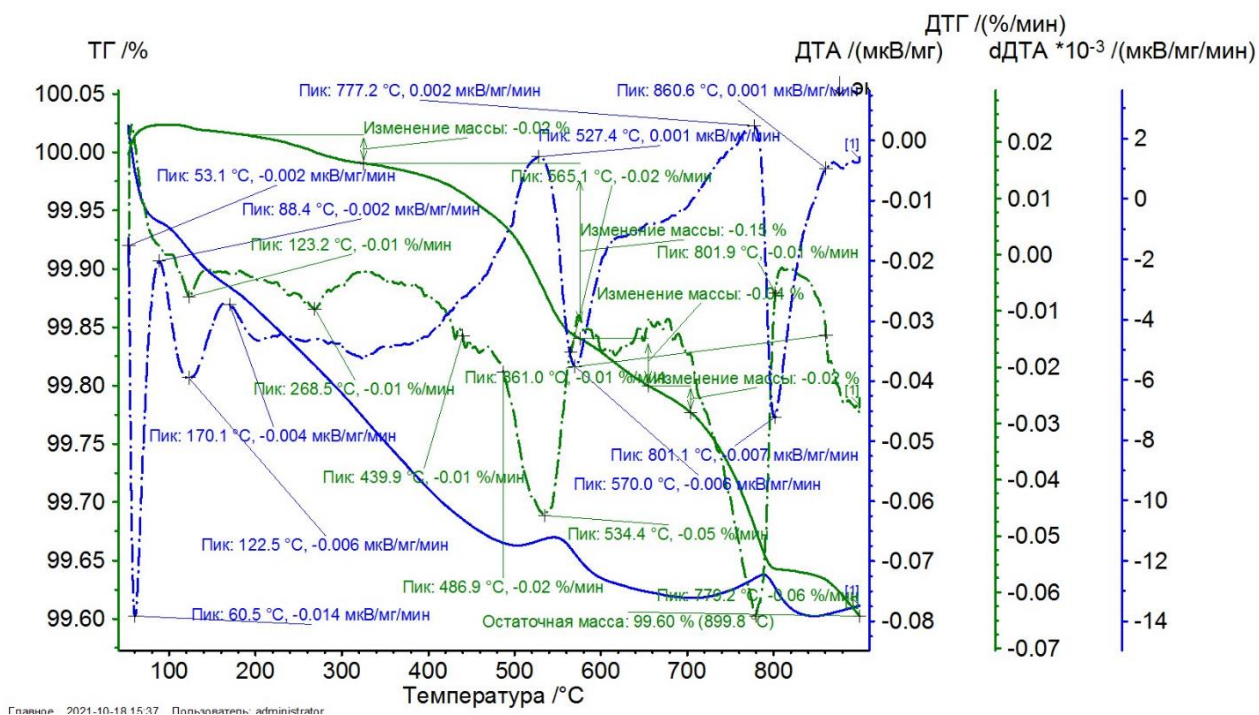


Рисунок 21 – Результаты термического анализа промежуточного продукта флотационного обогащения свинцово-цинковой руды ТОО "Казцинк"

3.4 Результаты обжига промпродукта обогащения

Результаты обжига промпродукта обогащения представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты обжига промпродукта обогащения при продолжительности 30 минут

τ, мин	Т, °С	m,г	m огарка, г / содержание, %					Извлечение S в огарок, %
			Fe	S	Zn	Pb	Прочие*	
30	600	19,37	2,6/13,4	1,3/6,71	0,07/0,38	0,012/0,06	15,4/79,4	90,4
30	700	18,24	2,6/14,3	1,01/5,5	0,07/0,40	0,012/0,06	14,53/79,	73,8
30	800	18,2	2,6/13,4	0,9/6,5	0,07/0,39	0,012/0,06	14,53/80,	61,6
30	900	18,03	2,6/14,4	0,8/4,4	0,07/0,41	0,012/0,06	14,53/80,	59,7
*Прочие – элементы пустой породы								

X-Ray анализ продуктов сульфидирования оксида свинца показал, что процессе сульфидирования происходит стадийно от PbO до первичного образования сульфата, с последующим переходом в сульфид свинца PbS.

Рентгенофазовые исследования продуктов сульфидирования оксида цинка показывают, что в процессе сульфидирования образуются сульфиды цинка по схеме $ZnO \rightarrow ZnS$. Сульфид цинка представляет собой β -модификацию.

Установлено, что при обжиге промежуточного продукта флотационного обогащения свинцово-цинковой руды, Риддерской обогатительной фабрики ТОО "Казцинк" с увеличением температуры от 550 до 900 °С степень сульфидирования цинка и свинца достигает 85 - 95 % при 700 - 900 °С. Рентгенофазовые исследования продуктов обжига подтверждают наличие пиротинов состава $Fe_{0,892}S - Fe_{0,869}S$.

Таким образом, установлено, что оптимальными условиями сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка в вакууме являются: продолжительность 30-60 минут, температура 600-800 °С. В данном интервале температур образуются пиротины состава $Fe_{0,892}S - Fe_{0,869}S$ с максимально выраженными магнитными свойствами. Получаемые сульфиды свинца и цинка по свойствам максимально соответствуют аналогам природных сульфидов галенита и сфалерита.

Данные результаты указывают на возможность применения к термически обработанному продукту методов обогащения.

3.4.1 Результаты обжига свинцово-цинковой руды месторождения Жайрем

Исследования по сульфидированию проводились в печи для сульфидирующего обжига, в эклектической печи Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (BR-17AM-5) в периодическом режиме при температурах 400-900 °С. В качестве сульфидизатора использовали пиритный концентрат с содержанием 33-40 % железа и 39-50 % серы, подаваемый в шихту до 75 % от массы шихты.

Результаты проведенных исследований по сульфидирующему обжигу цинк-олиганитовой руды показали, что степень сульфидирования окисленных цинковых соединений достигает 80-90 % при 650-700 °С, парциальном давлении серы 50-150 Па и содержании в шихте 30-50 % пиритного концентрата.

Данные петрографического анализа огарков сульфидирования показали, что сложные цинксодержащие соединения при обжиге разрушаются до простых оксидов, которые при взаимодействии с серой образуют сульфиды цинка. Рентгеноструктурным анализом установлено, что полученные сульфиды цинка соответствуют сфалериту β -модификации. При этом количество свободных зерен сфалерита достигает 63-73 % от общего содержания цинка, а в исходной руде в виде сфалерита было представлено 2 % цинка.

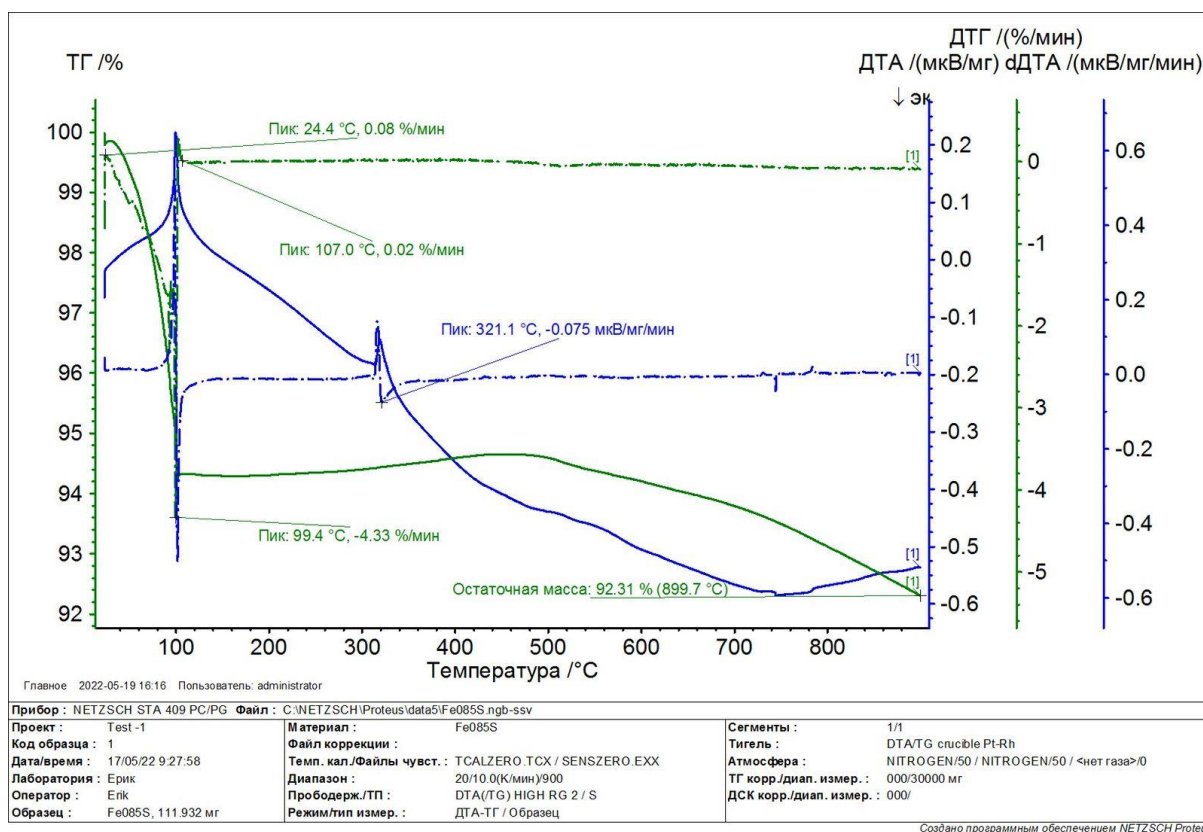
Оксидные формы цинка сохраняются только в ядре сульфидных частиц, что обусловлено механизмом протекания процесса сульфидирования.

Пирит на 95 % замещен пирротинном "ячеистого" строения. Результатами рентгеноструктурного анализа установлено, что образуется пирротин состава

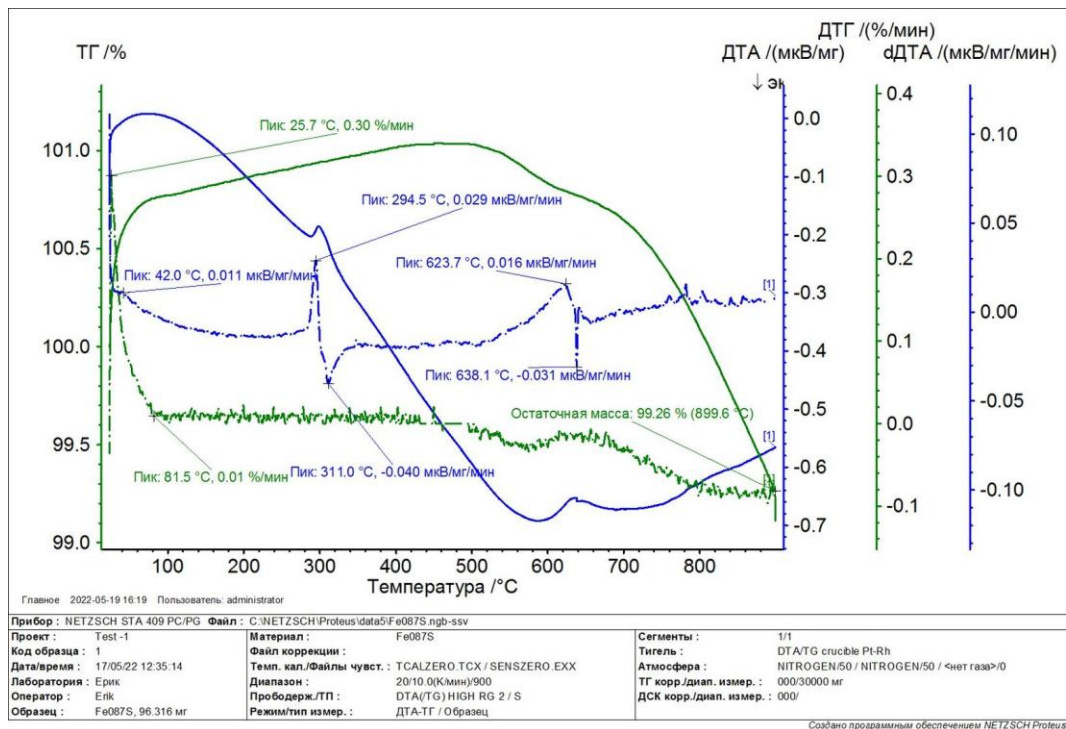
$Fe_{0,85}S - Fe_{0,9}S$, который имеет магнитную восприимчивость $\chi = 1,7-2,05$ ед. СИ и относится к ферромагнетикам, что дает возможность выделить его магнитной сепарацией.

3.4.2 Результаты термического анализа продуктов обжига

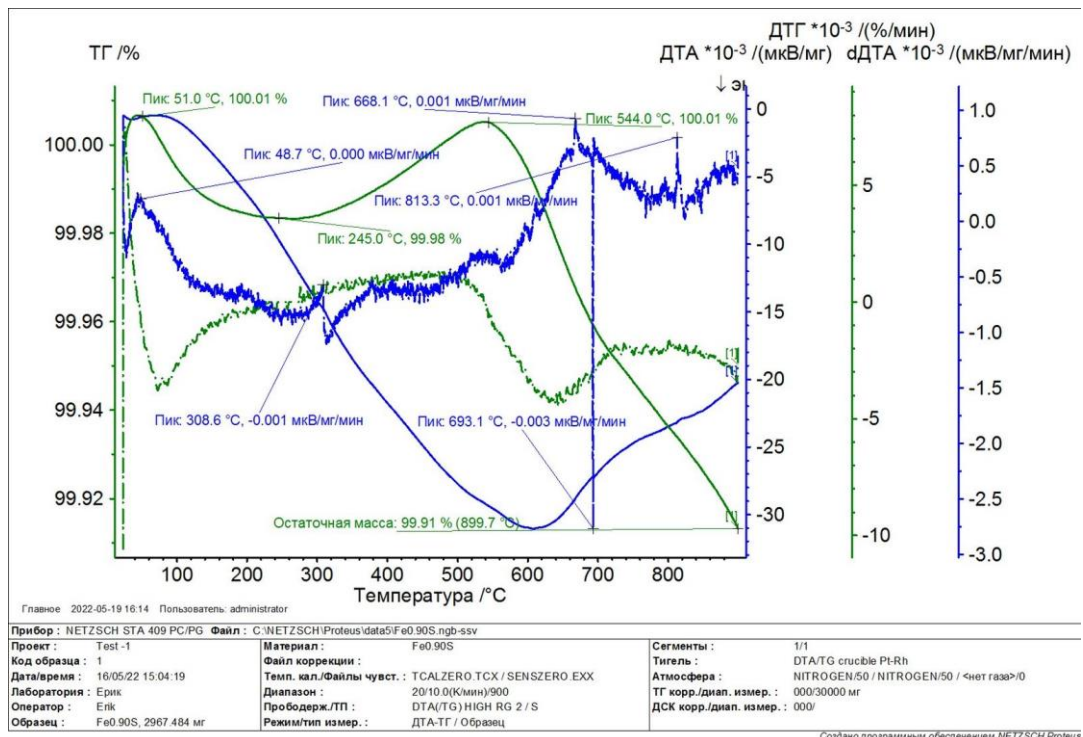
Термогравиметрические исследования огарков - продуктов обжига после сульфидирующего обжига промпродуктов проводили на термическом анализаторе STA 409 PC/PG (NETZSCH) в атмосфере воздуха. Рентгенофазовыми исследованиями установлен состав огарков, состоящих их пирротинов различного состава. Состав пирротинов идентичен как после обжига руды, так и после обжига промпродуктов, далее представлена схема термического разложения наиболее магнитных пирротинов, т.к. далее по технологической схеме предполагается их магнитная сепарация, рисунок 21.



а



б



в

а- $\text{Fe}_{0,85}\text{S}$; б- $\text{Fe}_{0,87}\text{S}$; в- $\text{Fe}_{0,90}\text{S}$

Рисунок 21 – Термограммы магнитных пирротинов состава $\text{Fe}_{0,85}\text{S}$ - $\text{Fe}_{0,9}\text{S}$

Результаты термического анализа пирротинов показывают, что наблюдаются фазовые переходы при температуре 320 °С во всех трех пирротинах, что говорит о наличии ферромагнитных свойств, т.к. данный переход классифицируется как фазовый переход второго рода или температура Нееля. Далее с увеличением продолжения диссоциации наблюдаются фазовые переходы 600-650 °С отвечающие за трансформацию пирротинов по составу с одновременной потерей части серы. Завершение термического разложения пирротинов происходит температурах 800-850 °С.

3.5 Изучение электрокинетических характеристик продуктов сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка

Методом макроэлектрофореза проведено изучение электрокинетических характеристик продуктов сульфидирования. Величина ξ -потенциала продуктов сульфидирования оксида цинка имеет более отрицательное значение, чем для продуктов сульфидирования оксида свинца, что указывает на более высокую его гидрофобность. Значения ξ -потенциала для продуктов сульфидирования карбоната цинка близки со значениями величин ξ -потенциалов сульфидирования оксида цинка. Характер изменения ξ -потенциала от продолжительности и температур в интервале 550-750 °С представлен в таблица. Сульфидирование карбоната цинка начинается после его разложения. Образующийся сульфид цинка соответствует сфалериту β -модификации.

Таблица 8 - Зависимость ξ -потенциала продуктов сульфидирования оксида цинка от продолжительности

$\tau(\text{мин})/t$ (°С)	550	600	650	700	750
0	-0,1	-0,25	-0,4	-0,72	-0,8
5	-0,4	-0,42	-0,71	-0,83	-0,98
10	-0,5	-0,62	-0,84	-0,98	-1,1
15	-0,42	-0,6	-0,8	-0,92	-1,05
20	-0,4	-0,58	-0,75	-0,86	-0,93
25	-0,39	-0,48	-0,62	-0,73	-0,84

Таблица 9 - Зависимость ξ -потенциала продуктов сульфидирования карбоната цинка от продолжительности

$\tau(\text{мин})/t$ (°С)	550	600	650	700	750
0	-0,1	-0,26	-0,37	-0,41	-0,59
5	-0,36	-0,4	-0,62	0,76	-0,89
10	-0,4	-0,65	-0,8	-0,95	-1
15	-0,6	-0,7	-0,88	-0,96	-1,2
20	-0,58	-0,6	-0,71	-0,94	-0,99
25	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-0,95

В процессе сульфидирования карбоната свинца элементарной серой при температурах 650 - 700 °С образуются сульфиды, которые имеют высокую гидрофобность. При увеличении продолжительности первыми образуются небольшое количество сульфатной фазы, чье количество затем уменьшается практически до следов, возрастает количество образующегося сульфида.

С целью изучения способа флотационного разделения продуктов обжига пиритсодержащих материалов (промпродуктов флотационного обогащения) нами исследованы электрокинетические характеристики пирротинов различного состава.

С итогов измерения электрокинетического потенциала суспензии пирротинов возможно совершить следующие заключения: ξ -потенциал во всех пирротинах возрастает при увеличении рН от 5 до 13, электрофоретическая скорость тоже возрастает при увеличении рН от 5 до 13. Вместе с сокращением содержания серы в пирротине ξ -потенциал уменьшается с - 52,1 мВ у пирротина $Fe_{0,85}S$ до - 40,8 мВ у пирротина $Fe_{0,89}S$, таблица 10.

Таблица 10 – Изменение электрокинетического потенциала суспензии пирротинов различного состава в зависимости от рН среды

τ (мин)/ t (°С)	$Fe_{0,89}S$	$Fe_{0,87}S$	$Fe_{0,86}S$	$Fe_{0,85}S$
4	-40	-43	-46	-58
6	-41	-44	-48	-55
8	-43	-45	-50	-66
10	-46	-49	-52	-71
12	-46	-49	-54	-69

По итогам экспериментов выяснено, что флотируемость пирротинов снижается при сокращении содержания серы в составе. То есть учитывая, что ξ -потенциал сульфидов свинца и цинка равен: -15,6 и - 13,8 возможно флотационное разделение низкосернистого пирротина и сульфидов цветных металлов.

3.6 Результаты магнитного обогащения огарков-продуктов обжига

Магнитное обогащение огарков промпродуктов проводилось на магнитном сепараторе с выделением пирротинов в отдельный продукт. При обжиге промпродуктов флотации 97 % пирита трансформируется в пирротин.

При установленной оптимальной температуре обжига 750 °С и продолжительности 35-40 минут, выход немагнитной фракции составляет около 70 %, магнитной фракции до 32 %. Выход цинка в немагнитную фракцию при продолжительности 40 минут составляет 86,5 %.

Таблица 11 – Результаты магнитной сепарации огарков, обожженных при 750 °С

элемент	Т, °С / продолжительность обжига, мин.							
	750/15		750/30		750/40		750/60	
	МФ	НМФ	МФ	НМФ	МФ	НМФ	МФ	НМФ
Fe	81,7	18,3	87,4	12,6	93,3	6,7	97,2	2,8
S	47,2	55,5	48,6	48,6	48,6	34,7	48,6	20,8
Zn	13,5	86,5	13,5	86,5	13,5	86,5	13,5	86,5
Pb	-	~100	-	~100	-	~100	-	~100
* МФ – магнитная фракция; НМФ – немагнитная фракция.								

Пирротины являются гидрофильными веществами и обладают плохими флотационными свойствами, а отделённые в немагнитную фракцию цинк и свинец обладают гидрофобными свойствами, что позволяет провести флотацию этой фракции и разделить продукты сепарации.

Магнитная сепарация огарков обожженной руды. Магнитная сепарация огарков обожженной руды показала следующие результаты: пирротин выделяется в самостоятельный магнитный концентрат.

Результаты проведенных исследований по мокрой и сухой магнитной сепарации при напряженности магнитного поля 100-120 кА/м показали, что в магнитную фракцию выводится более 95 % пирротина, полученного в результате разложения пирита, введенного в шихту обжига.

После отделения пирротина хвосты магнитной сепарации направляются на флотационное выделение сульфидов цветных металлов.

3.7 Флотационное обогащение немагнитной фракции промпродуктов

На результаты флотационного разделения немагнитных продуктов влияет повышение температуры и продолжительность обжига, с увеличением этих параметров, происходит увеличение выхода пенного продукта. Выход пенного продукта составляет 36,82 % для обожженных огарков при 600 °С, для обожженных огарков при 800 °С - 53,89 %.

Установлено, что содержание цинка и свинца в пенном продукте увеличивается с повышением температуры и продолжительности обжига хвостов обогащения. Так, при 600 °С и 15 минут обжига содержание цинка в пенном продукте составляет 0,7 %, при продолжительности обжига до 60 минут достигает 1,41 %. При температуре обжига 800 °С и продолжительности обжига 60 минут, содержание цинка составляет 6,7 % а свинца 1,4 %.

Сквозное извлечение элементов представлено в таблице 12.

Таблица 12 - Сквозное извлечение элементов, %

Эле- менты	Температура, К / продолжительность, минут							
	873-15	873-30	873-45	873-60	1073-15	1073-30	1073-45	1073-60
Zn	35,47	50,95	50,95	51,90	74,39	74,39	81,66	84,77
Pb	50,0	56,70	66,70	75,0	60,0	70,0	75,0	80,0

Установлено, что извлечение свинца и цинка в пенный продукт с повышением температуры и продолжительности обжига повышается. При 600 °С извлечение цинка составляет до 60 %, свинца 75 %. Высокие показатели извлечения наблюдается при высоких температурах, так при температуре обжига 800 °С извлечение цинка в пенный продукт достигает до 90 %, свинца 78 %. Установлено, что сквозное извлечение цинка составляет - 84,77 %, по свинцу составляет - 80 %.

Флотационная переработка хвостов магнитной сепарации в прямом цикле обеспечивает извлечение цинка в пенный продукт на 90 % при содержании в нем до 25 % цинка. Расчеты и практика работы предприятий показывают, что при переработке в замкнутом цикле возможно получение концентратов с содержанием 45-50 % цинка и извлечением его не ниже 70-75 %. Кроме того, необходимо учитывать, что применение полиметаллических пиритных концентратов для сульфидирования позволяет раскрыть содержащиеся в них минералы цинка и свинца, повысить их флотационную активность и в конечном счете доизвлечь эти металлы в соответствующие концентраты.

Применение флотации для огарков окисленной руды также возможно, флотационная переработка немагнитной фракции в прямом цикле обеспечивает извлечение цинка в пенный продукт на 85-88 % при содержании в нем до 20-24 % цинка.

3.8 Результаты определения магнитной восприимчивости пирротинов

Магнитная восприимчивость определялась на приборе – капшаметр КАР 52, производства Чехия.

Исследования магнитной восприимчивости проводились на пирротинах полученных при сульфидирующем обжиге промпродуктов обогащения и впоследствии выделенных в магнитный продукт сепарацией.

При изменениях температуры от 600 до 850 °С и продолжительности процесса от 10 до 60 минут содержание железа в получаемом пирротине меняется с 54,30 до 60,91 ат. % (рисунок 22).

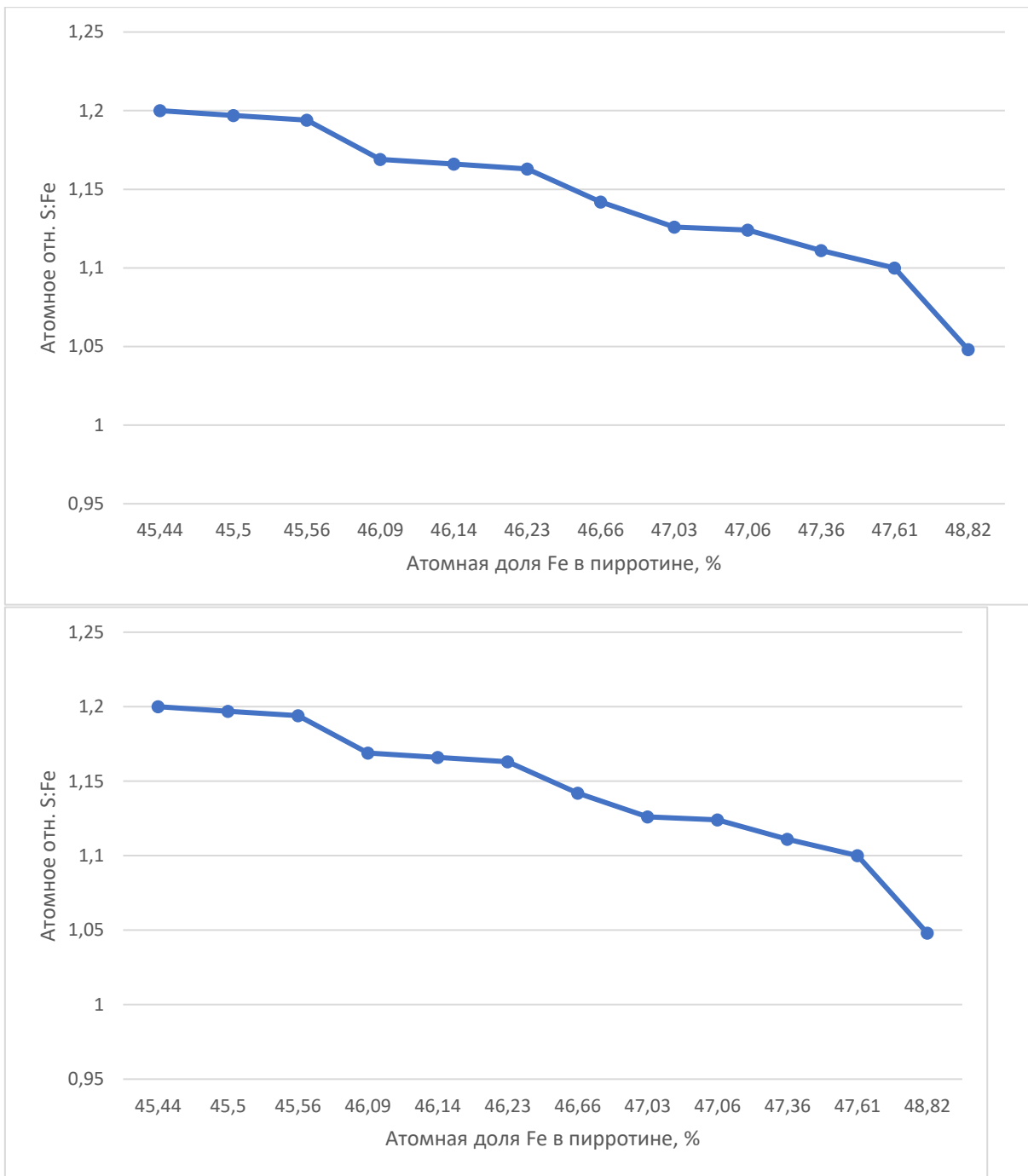


Рисунок 22 – Состав пирротинов в огарке

В результате исследований получены значения магнитной восприимчивости различных пирротинов, где отмечается максимальная магнитная восприимчивость у пирротинов состава $\text{Fe}_{0,888}\text{S}-\text{Fe}_{0,9}\text{S}$ равная 1,89 единицам СИ, таблица 13.

Таблица 13 – Зависимость магнитной восприимчивости пирротина в

огарке от атомного отношения S : Fe

Состав Fe _{1-x} S в огарке	Атомное отношение S:Fe	Магнитная восприимчивость ед. СИ
Fe _{0,909} S	1,100	0,97
Fe _{0,909} S	1,111	1,32
Fe _{0,900} S	1,124	1,8
Fe _{0,888} S	1,126	1,89
Fe _{0,875} S	1,142	1,75
Fe _{0,860} S	1,163	1,51
Fe _{0,857} S	1,166	1,41
Fe _{0,855} S	1,169	1,23
Fe _{0,837} S	1,194	1,2
Fe _{0,835} S	1,197	1,12
Fe _{0,833} S	1,20	0,9

Пирротины Fe_{0,888}S-Fe_{0,9}S являются сильномагнитными и обладают ферромагнитными свойствами. Таким образом, обжиг целесообразно проводить при температурах 750-800 °С с получением наиболее магнитных пирротинов.

3.9 Результаты оценки технико-экономической эффективности

Оценки технико-экономической эффективности разработки рассчитана на 100000 т в год переработки Жайремской руды.

При объеме производства по перерабатываемой руде Жайремского ГОКа 100000 т в год за счет доизвлечения Pb в результате применения предварительного активирующего сульфидирующего обжига можно получить 7560 т свинцового концентрата и 37502 т цинкового концентрата, что с учетом эксплуатационных затрат на переработку даст прибыль 356 млн. тенге. Удельные затраты на 1 тенге товарной продукции по схеме, предусматривающей активирующий сульфидирующий обжиг, ниже удельных затрат по существующей технологии, что связано, с повышением извлечения свинца и цинка в товарный продукт и ростом выпуска товарной продукции в тенге. Активирующий сульфидирующий обжиг повышает технико-экономическую эффективность переработки окисленных свинцово - цинковых руд более чем на 65 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критическим анализом литературы установлено, что лучшие показатели по переработке окисленных и смешанных руд достигаются при использовании предварительной активации исходного сырья сульфидирующим обжигом с последующей переработкой активированного продукта. Таким образом, исследования показывают возможность переработки сложных полиметаллических жайремских руд, руд подобного состава любой географии расположения, окисленных свинцово-цинковых хвостов с использованием процесса сульфидирования оксидных соединений цинка и свинца пиритным материалом в непрерывном режиме в трубчатой или печи КС с получением сульфидных соединений цинка и свинца, обладающих высокими флотационными свойствами и хорошо извлекаемые в самостоятельный флотоконцентрат. Применение пиритных концентратов обеспечивает, во-первых, вовлечение в переработку отвальных пиритных промпродуктов, что сказывается на экологии, во-вторых, повышается комплексность использования сырья путем извлечения серы и цветных металлов.

Задачи исследований выполнены в полном объеме: выработано термодинамическое обоснование процессов сульфидирующего обжига окисленной полиметаллической руды и промпродуктов обогащения; разработан механизм сульфидирования окисленных соединений свинца и цинка с достижением степени сульфидирования Pb и Zn до 95 %; созданы оптимальные условия обогащения получаемых огарков методами магнитной сепарации и флотации.

Установлено, что сквозное извлечение из хвостов обогащения в пенный продукт при проведении флотации в прямом одностадийном цикле цинка достигает более 84 % и около 80 % свинца.

Полученный магнитный пирротиновый концентрат может быть использован для производства абразивов, высококачественного сульфата железа, для мелиоративных работ и других целей. Гидрометаллургическая переработка пирротинизированного продукта обеспечивает получение серы пиритных концентратов в элементной форме.

Хвосты от флотационного обогащения хвостов магнитной сепарации огарков представляют собой сырье для строительной индустрии и могут быть использованы в производстве цемента и других материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Azevedo, A., Oliveira, H. A., Rubio, J. Treatment and water reuse of lead-zinc sulphide ore mill wastewaters by high rate dissolved air flotation // *Minerals Engineering*. - 2018. - № 127. - P. 114 - 121.

2 Меркибаев Е.С., Луганов В.А., Чепуштанова Т.А., Гусейнова Г.Д., Мишра Б. Термодинамическое обоснование высокотемпературного сульфидирования оксида цинка // *Вестник КазНУ*. - 2020. - №2. - С. 761 - 765.

3 Luo X., Feng B., Wong C., Miao J., Ma B., Zhou H.. The critical importance of pulp concentration on the flotation of galena from a low grade lead-zinc ore // *J. Mater. Res. Technol.* - 2016. - № 5. - P. 131 - 135.

4 Peng Y., Grano S., Fornasiero D., Ralston J. Control of grinding conditions in the flotation of galena and its separation from pyrite // *Int J Miner Process.* - 2003, - №70, - P. 67 - 82.

5 Kostović, M., Gligorić, Z. Multi-criteria decision making for collector selection in the flotation of lead-zinc sulfide ore // *Minerals Engineering*. - 2015. - № 74. - P. 142 - 149.

6 Lei C., Yan B., Chen T., Xiao X. Recovery of metals from the roasted lead-zinc tailings by magnetizing roasting followed by magnetic separation // *Journal of Cleaner Production*. - 2017, - № 158. - P. 73 - 80.

7 He B., Tian X., Sun Y., Yang C., Zeng Y., Wang Y., Zhang S., Pi Z. Recovery of iron oxide concentrate from high-sulfur and low-grade pyrite cinder using an innovative beneficiating process // *Hydrometallurgy*. - 2010. - № 104. - P. 241 - 246.

8 Lei C., Yan B., Chen T., Quan S.X., Xiao X.M. Comprehensive utilization of lead-zinc tailings, part 1: Pollution characteristics and resource recovery of sulfur // *J. Environ. Chem. Eng.* - 2015. - № 3. - P. 862 - 869.

9 Zhang Y., Yu X. and Li X. Zinc recovery from franklinite by sulphation roasting // *Hydrometallurgy*, - 2011. - №109. - P. 211 - 214.

10 X H., et al., Sulfuric acid leaching of zinc silicate ore under pressure // *Hydrometallurgy*. - 2010. - № 105. - P. 186 - 190.

11 Li C., Wei C., and Fan G. Pressure acid leaching of high silicon zinc oxide ore // *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*. - 2009. - № 9. -P. 1678 - 1683.

12 Shu J. Sintering and ferrite formation during high temperature roasting of sulfide concentrates // *Canadian Metallurgical Quarterly*. - 1999. - № 38. - P. 215 - 225.

13 Turan M. D., Altundoğan H. S., Tümen F. Recovery of zinc and lead from zinc plant residue. *Hydrometallurgy*, - 2004. - № 75. - P. 169 - 176.

14 Jha M.K., Kumar V., Singh R.J. Review of the hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes // *Resour. Conserv. Recycl.* - 2001. - № 33. - P. 1 - 22.

15 Li M., Peng B., Chai L., Peng N., Yan H., Hou D. Recovery of iron from zinc leaching residue by selective reduction roasting with carbon // *Journal of Hazardous Materials*, - 2012. - № 237. - P. 233 - 330.

- 16 Воробьев А.Е., Зубков А.А., Некушина Т.В. Перспективные технологии переработки окисленных руд и металлоносных растворов // Обогащение руд. - 2010. - №3. - С. 54 - 61.
- 17 Ван Е.Ю., Касперская А.А., Рамазанова Р.А., Испаев Н.А. К вопросу переработки сульфидных труднообогатимых руд // ВКГТУ им. Серикбаева.- 2010. - № 2. - С. 112 - 117.
- 18 Крылова Л.Н., Мощанецкий П.В., Шириня Н.В. Выщелачивание металлов из труднообогатимого продукта флотации медно-цинковых колчеданных руд // Обогащение руд. - 2015. - №6. - С. 145 - 151.
- 19 Газалеева Г.И., Ключников А.М. Высокотемпературное выщелачивание бедных медно-цинковых сульфидных продуктов с использованием солей железа (III) // Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья. Материалы научно-технической конференции / Екатеринбург, 2013. - С. 191 - 196.
- 20 Тарасов А.В., Романов Е.В. Автоклавная переработка полиметаллического сырья цветных металлов // Цветная металлургия. - 2011. - № 7 – 8. -С. 205 - 212.
- 21 Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. - 2010. - №5. - С. 186 -192.
- 22 Каткеева Г.Л., Буркитсетеркызы Г., Оскембеков И.М., Жунусов Е.М. О перспективах использования модифицированного сульфидизатора в обогащении окисленных руд // Обогащение руд. - 2020. - №3. - С. 58 - 67.
- 23 Глазунов Л.А. Сульфидирование-нанопроцесс для повышения флотационной активности сульфидных минералов // Цветная металлургия. - 2014. - №2. - С. 117 - 123.
- 24 Власов О.А. Подготовка к обогащению труднообогатимых сульфидных медно-цинковых руд // Обогащение руд. - 2011. - №3. - С. 98 - 104.
- 25 Антропова И.Г., Дамбаева А.Ю., Данжеева Т.Ж. Применение сульфидирующего обжига в атмосфере водяного пара в схемах обогащения окисленных свинецсодержащих руд // Обогащение руд. - 2016., - № 6. - С. 98 - 104.
- 26 Киселева С.П., Марченков И.Ф., Парилова Н.С., Аркуша А.Е. Цветные металлы. - 2010. - С. 165 -171.
- 27 Бейсембаев Б.Б., Кенжалиев Б.К., Горкун В.И., Говндовская О.Ю., Игнатъев М.М. Глубокая переработка свинцово-цинковых руд и промпродуктов с получением продукции повышенной товарности / Алматы, Былым. - 2002. – 220 с.
- 28 Абрамов А.А. Технологии обогащения окисленных и смешанных руд // Недра - М., 1986, - 347 с.
- 29 Chen J., Liu R., Sun W., Qiu G. Effect of mineral processing waste water on flotation of sulfide minerals // Trans. Non ferrous Met. Soc. China, - 2009. - № 19. - P. 454 - 457

30 Зак М.С. и др. *Металлургия и обогащение руд тяжёлых цветных металлов* // Гинцветмет. - М., 1989. - С. 11 - 116.

31 Чепуштанова Т.А., Меркибаев Е.С., Мотовилов И.Ю., Поляков К.В. Разработка гибридной технологии сульфидирующего обжига цинк, свинецсодержащих промпродуктов обогащения. «Горный журнал Казахстана», № 10 - 2021 г. С. 26-33.

32 С.Ф. Темірхан, Т.А. Чепуштанова. Технологические исследования пирротинизирующего обжига окисленной свинцово-цинковой руды и промпродукта обогащения ТОО «Казцинк». Доклады международной конференции «Сатпаевские чтения - 2021», том 1, Алматы 2021, С. 1027-1031.

33 Т.А. Чепуштанова, Е.С. Меркибаев, М. С. Сарсенова, С.Ф. Темірхан. Комплексная переработка сложных полиметаллических руд месторождения жайрем с использованием процесса сульфидирования. Доклады международной конференции «Байконуровские чтения - 2021», С. 317-322.

34 Е.С. Меркибаев, Т. А. Чепуштанова, И.Ю. Мотовилов, В.А. Луганов, С.Г. Темірхан. Термическое сульфидирование поверхности окисленных цинковых и свинцовых минералов пиритом в присутствии восстановителя в трубчатой печи. Доклады международной конференции «Сатпаевские чтения - 2022», том 3, Алматы 2022, С. 144-146.

35 Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Лапшина Г. А., Хачатрян Л. С. Развитие технологии комплексной переработки упорных пиритных полиметаллических руд цветных металлов // *Цветные металлы*. — 2018. — № 4. — С. 27—34. DOI: 10.17580/tsm.2018.04.03.

36 Связь железосодержащих фаз с технологическими свойствами свинцово-цинковых руд горевского месторождения. А.А. Плотникова 1,2, В.И. Брагин 1,21

37 Пирротиновая минерализация металлоносных зон бассейна р. Колымы., Измайов Л.И. 1976 г.

38 Пирротины., Г. В. Новиков, В. К. Егоров, Ю. А. Соколов., Москва «Наука» 1988 г.



SATBAYEV
UNIVERSITY



СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ
САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
SATBAYEV CONFERENCE

**"СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ-2022.
ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ТРЕНДТЕРІ"
ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ
КОНФЕРЕНЦИЯ ЕҢБЕКТЕРІ**



PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
"SATBAYEV CONFERENCE - 2022.
TRENDS IN MODERN SCIENTIFIC RESEARCH"



12.04.2022



**"СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ-2022. ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ
ТРЕНДТЕРІ" ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ
КОНФЕРЕНЦИЯ ЕҢБЕКТЕРІ**

12 сәуір 2022 ж.

III Том

**ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022. ТРЕНДЫ
СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

12 апреля 2022 г.

Том III

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE "SATBAYEV CONFERENCE - 2022. TRENDS IN MODERN
SCIENTIFIC RESEARCH"**

12 April 2022

Volume III

Алматы 2022

ТЕРМИЧЕСКОЕ СУЛЬФИДИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННЫХ ЦИНКОВЫХ И СВИНЦОВЫХ МИНЕРАЛОВ ПИРИТОМ В ПРИСУТСТВИИ ВОССТАНОВИТЕЛЯ В ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ

Е.С. Меркибаев[✉], Т. А. Чепуштанова[✉], И.Ю. Мотовилов[✉], В.А. Луганов[✉],
С.Г. Темірхан[✉]

Satbayev University, Казахстан, Алматы
Y.merkibayev@satbayev.university

Аннотация. В работе представлены результаты термического сульфидирования поверхности окисленных цинковых и свинцовых минералов пиритом в присутствии восстановителя.

Выполненная на огарках сульфидирования сканирующая электронная микроскопия совмещенная с микронзондовым анализом и рентгенофазовый анализ позволили установить состав просульфидированной фазы – свинец представлен PbO, PbSO₄ и PbS, а цинк – ZnO, ZnSO₄ и ZnS.

Рентгенофазовым анализом установлено, что в продуктах сульфидирования свинец представлен следующими фазами PbO, PbSO₄ и PbS, а цинк – ZnO, ZnSO₄ и ZnS. Полученные результаты соответствуют результатам термодинамического анализа.

Результатами исследований показана принципиальная возможность использования пиритных концентратов для сульфидирования окисленных свинцовых и цинковых руд при температурах выше 1000 К с соотношением пирита к сульфидируемой фазе 1:1 в присутствии восстановителя углерода.

Ключевые слова. комплексная переработка, свинец, цинк, пирит, сера, сульфидирование.

Для переработки сульфидных полиметаллических руд в основном используют флотационное обогащение с целью извлечения сульфидных минералов цветных металлов в концентраты. Применение этого способа для переработки смешанных и окисленных полиметаллических руд не эффективно, а иногда и невозможно, что связано с гидрофильностью окисленных соединений металлов и сложным минеральным составом сырья.

Практика работы промышленных предприятий и предложений научно-исследовательских организаций дает возможность сделать заключение, что комплексная переработка окисленных и смешанных труднообогатимых руд должна осуществляться комбинированными методами.

Для повышения эффективности флотационного обогащения труднообогатимого полиметаллического сырья используют предварительное сульфидирование окисленной поверхности извлекаемых минералов сероводородом, сульфидом натрия, элементарной серой, пиритом и др. В частности в работе [1] описана возможность применения серы для сульфидизации техногенных отходов медного производства. Авторами работы на основании результатов термогравиметрического анализа показана применимость серы для сульфидизации оксидов и сульфатов свинца.

В работе [2] выполнено термодинамическое моделирование процесса сульфидирующего обжига окисленных соединений свинца и цинка в атмосфере перегретого пара. Авторами работы установлено, что в атмосфере перегретого пара сульфидирование пиритом при температуре 973 К протекает наиболее полно, что обусловлено образованием помимо элементарной серы сероводорода.

В работе [3] показано, что сульфидирование оксидов свинца и цинка возможно при давлении серы в газовой фазе 10⁻¹⁵ атм. Термодинамическим анализом диссоциации пирита установлено, что при температуре 573 К равновесное давление серы над пиритом составляет 10⁻¹¹ атм, а в присутствии восстановителя углерода при температуре 523 К.

Авторами статьи поставлена цель – рассмотреть возможность сульфидирования пиритом карбонатов свинца и цинка в присутствии восстановителя углерода.

Эксперименты выполнены в трубчатой печи. К исходным навескам карбонатов свинца и цинка подшихтовывался пирит при соотношении 1:1, а также добавлялся углерод 5 % по массе. Температуру в печи при выполнении экспериментов поддерживали 1073 К, продолжительность 30 минут. Полученные огарки были подвергнуты сканирующей

электронной микроскопии (СЭМ) совмещенной с зондовой установкой для оценки элементного состава и рентгенофазовому анализу.

Результаты СЭМ просульфидированных огарков карбоната свинца и цинка приведены на рисунке 1 и в таблице 1.

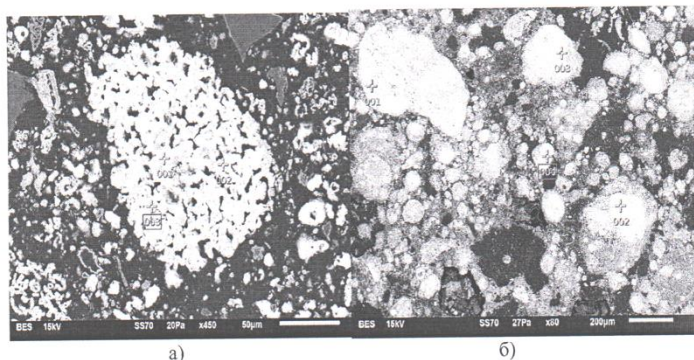


Рисунок 1 - Результаты СЭМ огарков сульфидирования карбонатов – а) свинца, б) цинка

Таблица 1 – Результаты микрозондового анализа просульфидированных огарков карбонатов свинца и цинка

Область на рис. 1	Содержание элементов, %					
	Сульфидирование PbCO ₃			Сульфидирование ZnCO ₃		
	O	S	Pb	O	S	Zn
001	1,21	11,21	87,58	-	25,27	74,73
002	1,23	11,04	87,73	-	27,86	72,14
003	1,21	10,91	87,87	-	29,13	70,87
004	-	-	-	-	24,42	75,58

Полученные данные СЭМ показывают, что при сульфидировании карбонатов свинца пиритом в присутствии восстановителя в полученном огарке микрозондовым анализом в изученных точках установлен элементный состав свинцовой фазы, которая представлена свинцом с содержанием порядка 87 %, серой порядка 11 % и кислородом 1,21 %. При сульфидировании карбоната цинка содержание его в исследуемых точках составило от 70 до 75 % и серы от 24 до 29 %.

Рентгенофазовым анализом установлено, что в продуктах сульфидирования свинец представлен следующими фазами PbO, PbSO₄ и PbS, а цинк – ZnO, ZnSO₄ и ZnS. Полученные результаты соответствуют результатам термодинамического анализа приведенного в работе [3].

Вывод:

Полученные результаты по сульфидированию карбонатов свинца и цинка в восстановительной атмосфере доказывают принципиальную возможность сульфидирования окисленных поверхностей свинца и цинка пиритом. Для установления всех параметров проведения процесса сульфидирования, рекомендуются дальнейшие изучение процесса в печах кипящего слоя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.К. Серикбаева, К.Ж. Жумашев, Ф.А. Бердикулова, А.А. Суйеубергенова О возможности применения серы для сульфидизации техногенных отходов медного производства // Известия вузов. Цветная металлургия – 2014 - №5 – С. 16-20
4. [2] И.Г. Антропова, А.Н. Гуляшинов. Термодинамическое моделирование процесса сульфидизирующего обжига окисленных соединений свинца и цинка в атмосфере перегретого водяного

пара // Горно информационно-аналитический бюллетень – 2010 – С.246-252.

[3] Е.С. Меркибаев, И.Ю. Мотовилов, В. А. Луганов, Ж. И. Ескен. Термодинамическое обоснование технологии переработки окисленных полиметаллических руд // Международные Сатпаевские чтения «Научное наследие Шахмардана Есенова», Алматы – 2017. – С. 407-410.

Thermal sulfiding of the surface of oxidized zinc and lead minerals with pyrite in the presence of a reducing agent in a tube furnace

Y.S. Merkibayev[✉], T.A. Chepushtanova[✉], I. Yu. Motovilov[✉], V.A. Luganov[✉], S.G. Temirhan[✉]

Abstract. The paper presents the results of thermal sulfiding of the surface of oxidized zinc and lead minerals with pyrite in the presence of a reducing agent.

Scanning electron microscopy combined with microprobe analysis and X-ray phase analysis performed on sulfiding cinders made it possible to establish the composition of the prosulfided phase - lead is represented by PbO, PbSO₄ and PbS, and zinc is represented by ZnO, ZnSO₄ and ZnS.

X-ray diffraction analysis established that lead in the sulfidation products is represented by the following phases PbO, PbSO₄, and PbS, while zinc is represented by ZnO, ZnSO₄, and ZnS. The results obtained correspond to the results of thermodynamic analysis.

The research results show the fundamental possibility of using pyrite concentrates for sulfiding oxidized lead and zinc ores at temperatures above 1000 K with a pyrite to sulfided phase ratio of 1:1 in the presence of a carbon reducing agent.

Keywords. complex processing, lead, zinc, pyrite, sulfur, sulfiding.

Тотықтырылған мырыш пен қорғасын минералдарының бетін құбырлы пеште тотықсыздандырғыштың қатысуымен пиритпен термиялық сульфидтеу

Е.С. Меркибаев[✉], Т. А. Чепуштанова[✉], И.Ю. Мотовилов[✉], В.А. Луганов[✉], С.Г. Темірхан[✉]

Аңдатпа. Жұмыста тотықсыздандырғыштың қатысуымен тотыққан мырыш пен қорғасын минералдарының бетін пиритпен термиялық сульфидтену нәтижелері берілген.

Сканерленген электронды микроскопия микрондтық талдаумен және сульфидтеу шлактарында жүргізілген рентгендік фазалық талдаумен біріктірілген сульфиденген фазаның құрамын анықтауға мүмкіндік берді - қорғасын PbO, PbSO₄ және PbS, ал мырыш ZnO, ZnSO₄ және ZnS арқылы берілген.

Рентгендік дифракциялық талдау сульфидтену өнімдеріндегі қорғасын келесі фазалар PbO, PbSO₄ және PbS, ал мырыш ZnO, ZnSO₄ және ZnS арқылы берілгенін анықтады. Алынған нәтижелер термодинамикалық талдау нәтижелеріне сәйкес келеді.

Зерттеу нәтижелері көміртегі тотықсыздандырғыштың қатысуымен пирит пен сульфидтелген фаза қатынасы 1:1 болатын 1000 К жоғары температурада тотыққан қорғасын мен мырыш кендерін сульфидтеу үшін пирит концентраттарын пайдаланудың іргелі мүмкіндігін көрсетеді.

Негізгі сөздер. кешенді өңдеу, қорғасын, мырыш, пирит, күкірт, сульфидтеу.

<i>Масько О.Н.</i> АЛГОРИТМ РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ В РУДНО-ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ.....	80
<i>Тойшыбек А. М., Байгенженов О. С., Алтмышбаева А.Ж.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННЫХ ИЗВЛЕЧЕНИЕ НИОБИЯ ИЗ ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ.....	84
<i>Зейлгабиденова Д.М., Усольцева Г.А., Султанбаева А.Б., Алтмышбаева А.Ж.</i> ЭКСТРАКЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ НИКЕЛЯ РЕАГЕНТОМ НА ОСНОВЕ АЛКИЛФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ «ОКТОФОР-10S».....	90
<i>Ескалина К.Т., Копыратбекова С.С., Хабиев А.Т., Юлусов С.Б.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ. <i>Ерсайынова А.А., Сейдалиева А.А., Танысбекова А.К., Усольцева Г.А.</i> ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭКСТРАКЦИИ МЕДИ РЕАГЕНТАМИ ФЕНОЛЬНОГО ТИПА.....	95
<i>Гайнуллин А.Ә., Усольцева Г.А., Байконурова А.О.</i> АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ МЕДИ В МОДЕЛЬНЫХ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРАХ В ПРИСУТСТВИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ	105
<i>Гайнуллин А.Ә., Усольцева Г.А., Байконурова А.О.</i> АНОДНОЕ РАСТВОРЕНИЕ МЕДИ В МОДЕЛЬНЫХ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРАХ В ПРИСУТСТВИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ	112
<i>Бочевская Е.Г., Шарипова А.С., Килибаева С.К.</i> ТЕХНОГЕННОЕ СЫРЬЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЕЙ - СЫРЬЕВОЙ ИСТОЧНИК РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.....	119
<i>Бакраева А.Н., Койжанова А.К., Токтар Г., Магомедов Д.Р., Абдылдаев Н.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ... <i>Абылханов Ә.Д., Гусейнова Г.Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СПОСОБА ИЗВЛЕЧЕНИЯ НИКЕЛЯ ПЕРЕРАБОТКОЙ ОТРАБОТАННЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ.....	124
<i>Токаревич М., Грондзка-Далке М.</i> ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА ALXCRSOFENI С ВЫСОКОЙ ЭНТРОПИЕЙ.....	129
<i>Куандыкова А.Н., Мамырбаева К.К., Меңдіғали Ә.Қ.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРОВ.....	134
<i>Меркибаев Е.С., Чепуштанова Т. А., Мотовилов И.Ю., Луганов В.А., Темірхан С.Г.</i> ТЕРМИЧЕСКОЕ СУЛЬФИДИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННЫХ ЦИНКОВЫХ И СВИНЦОВЫХ МИНЕРАЛОВ ПИРИТОМ В ПРИСУТСТВИИ ВОССТАНОВИТЕЛЯ В ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ.....	139
<i>Есиркегенов М.И., Мұқанғалиева А.Ә., Алтмышбаева А.Ж., Чепуштанова Т.А., Nikoloski A.</i> ВЛИЯНИЕ КРАДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ МЕДИ КАЗАХСТАНСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	144
<i>Чепуштанова Т.А., Луганов В.А., Меркибаев Е.С., Султанбаева А. Б., Калышев А.К., Тулгенов А.С.</i> ИЗУЧЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОРИСТОСТИ ПИРИТА И АРСЕНОПИРИТА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ В ПЕЧИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ.....	147
<i>Абдухъитова Д.А., Қайлыбек Ж., Әбдімомын С. Қ., Атчабарова А.А., Токпаев Р.Р., Наурызбаев М.К.</i> ИЗУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ШУНГИТОВОЙ ПОРОДЫ В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	152
<i>Холікулов Д.Б., Ахмадјонов У.М., Эрназаров М., Шарипов Х.Т.</i> ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВЫХ ПУЛЬП И РАСТВОРОВ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	158
<i>Гастанова А.Е., Кулдеев Е.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРГАНЦА И ПЕРЕРАБОТКА МАРГАНЦЕВЫХ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ.....	164
	170

Труды Международной научно-практической конференции «САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022. ТRENДЫ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ».

- Шокпаров А.Ж.** – Член Правления - Проректор по науке и международному сотрудничеству, **председатель**
- Бактыгали Ж.К.** – Директор Департамента науки, **ответственный исполнитель**
- Сыздыков А.Х.** – Директор Института геологии и нефтегазового дела
- Рысбеков К.Б.** – Директор Горно-металлургического института
- Ускенбаева Р.К.** – Директор Института автоматизации и информационных технологий
- Елемесов К.К.** – Директор Института энергетики и машиностроения
- Куспангалиев Б.У.** – Директор Института архитектуры и строительства
- Амралинова Б.Б.** – Директор Института управления проектами
- Удербаяев А.Ж.** – И.о. директора Института базового образования
- Узбаева Б.Ж.** – Директор Научной библиотеки

«Сатбаев окулары-2022. Қазіргі ғылыми зерттеулердің трендтері» = «Сатбаевские чтения – 2022. Тренды современных научных исследований» = "Satbayev conference - 2022. Trends in modern scientific research": Материалы Международной научно-практической конференции – Алматы: КазНИТУ, 2022.-Том 3.239- с. – Англ., каз., рус.

ISBN 978-601-323-291-1

В сборнике рассматриваются тренды современных научных исследований следующих направлений: Науки о Земле; Актуальные вопросы биотехнологии, химической технологии и защиты окружающей среды; Энергетика и машиностроение; Инновационные технологии в геопространственной инженерии и горном деле; Прогрессивные технологии в ИКТ; Проблемы и перспективы развития архитектуры и строительной инженерии в современных условиях; Управление развитием бизнеса, проектный менеджмент и логистика; Современные тенденции преподавания базовых дисциплин в эпоху цифровой трансформации.

ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022. ТRENДЫ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ»

Том III

Подписано в печать 11.02.2022 г.
Тираж – 100 экз. Формат – 60x84x 1/16.
Бумага типогр. № 1. Уч.-изд.л. 14,9.
Заказ № 291. Цена договорная.

Издание Казахского национального исследовательского
технического университета имени К.И. Сатпаева
Издательство «Polytech»
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22



"САТПАЕВ ОҚУЛАРЫ - 2021"

СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ

ЕҢБЕКТЕРІ

I Том

ТРУДЫ

САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ

"САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2021"

Том I

PROCEEDINGS

SATPAYEV'S READINGS

"SATPAYEV READINGS - 2021"

I volume

Алматы 2021 Almaty

УДК 001
ББК 42
021

- Сыздыков А.Х. - И.о. Проректор по науке и инновациям, председатель оргкомитета
- Рысбеков К.Б. - Директор Института геологии, нефти и горного дела, заместитель председателя оргкомитета
- Бекботаева А.А. - Заведующий кафедрой «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», ответственный исполнитель
- Елемесов К.К. - Директор Института металлургии и промышленной инженерии
- Сейлова Н.А. - Директор Института кибернетики и информационных технологий
- Түйебахова З.К. - Директор Института химических и биологических технологий
- Омарбеков Б.О. - Директор Института промышленной автоматизации и цифровизации
- Куснаиалиев Б.У. - Директор Института архитектуры и строительства
- Субалова М.А. - Директор Института управления проектами
- Саренова А.С. - Директор Института базового образования
- Узбаева Б.Ж. - Директор Научной библиотеки
- Баудагулова Г.Т. - Специалист минералогического музея кафедры ГСПИРМИИ, ответственный секретарь конференции

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АЛМАТЫ АРНАУЛЫҚ АКАДЕМИЯСЫ»
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АЛМАТЫ АКАДЕМИЯСЫ
ӘЛЕМДІК ЖІТЕК КІТАПХАНАСЫ - БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ЖІТЕК
ЦЕНТРИ - КОМБЕРІДІ
НАЦИОНАЛЬНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ КНИЖНАЯ ПАЛАТА РК
ПРИСОБЫ ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫМ МЕСТОНАХОДИМ
ИНФОРМИРОВАННЫМ ДОСТУПНЫМ КЛАССИФИКАТОР
БИБЛИОТЕКА - БИБЛИОГРАФИЯ - БИБЛИОТЕКА - БИБЛИОТЕКА

021

«Сатпаевские чтения -2021»: сборнике представлены материалы конференции Сатпаевские чтения
Алматы: КазНУТУ имени Сатпаева, 2021.
ISBN 978-601-323-246-1
ISBN 978-601-323-247-8
Конференция посвящена празднованию 30-летия независимости Казахстана, обобщению опыта развития горно-геологической, металлургической, химической отраслей, машиностроения, строительства, коммуникаций, а также развитию творческого и интеллектуального потенциала обучающихся и молодых ученых университета. Конференция будет способствовать подготовке нового поколения лидеров, способных решать глобальные задачи устойчивого развития, узнаваемости университета и популяризации научных исследований.

ISBN

УДК 001
ББК 42

ISBN 978-601-323-246-1
ISBN 978-601-323-247-8

021
1 ма

© Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

Кесте 3 – Қатты/сұйық қатынасының магниттік фракциядан никельді бөліп алуға әсері

С:Қ қатынасы	Ni бөліп алу, %
1:2	67
1:3	83
1:4	83

Сұйық:қатты қатынасы жоғары болған кезде никель концентрациясы төмен болады, бұл никель өндірісінің келесі кезеңдерінде булану үшін жоғары энергияны қажет етеді. Екінші жағынан, сұйық/қатты қатынасы төмен болған кезде алынған ерітінді қанықтырылады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде асбест қалдықтарынан никельді азот қышқылымен шаймалаудың тиімді параметрлері ұсынылды. Магниттік фракциядан никельді бөліп алу үшін қолайлы жағдайлар шаймалау процесіне әсер ететін негізгі факторларды, атап айтқанда, шаймалау уақытын, шаймалау ерітіндісінің температурасын, қышқыл шығынын зерттеу арқылы анықталды.

Temirgali I.A., Baigenzhenov O.S., Sarsenova M.S.

Extraction of nickel from asbestos wastes

Abstract. The article presents the results obtained on the study of nickel leaching technology from the wastes generated in the chrysotile asbestos production. Favorable conditions for leaching nickel by nitric acid from the waste materials have been determined.

Key words: asbestos wastes, nickel, leaching, nitric acid.

Темірғали І.А., Байгенженов О.С., Сарсенова М.С.

Извлечение никеля из отходов асбестового производства

Аннотация. В статье изложены полученные результаты по изучению технологии выщелачивания никеля из состава отходов, образующихся при производстве хризотил асбеста. Определены благоприятные условия выщелачивания никеля азотной кислотой из состава отходов материалов.

Ключевые слова: асбестовые отходы, никель, выщелачивание, азотная кислота.

УДК 669.431:661.242.2 (043)

С.Ф.Темірхан, Т.А. Чепуштанова

Научный руководитель – Чепуштанова Т.А., ассоциированный профессор, кандидат технических наук, зав. кафедрой МПТиТСМ

Казахский национальный, исследовательский технический университет имени

К.И. Сатпаева, Satbayev University

Казахстан, г. Алматы

t.chepushanova@satbayev.university

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПИРРОТИНИЗИРУЮЩЕГО ОБЖИГА ОКИСЛЕННОЙ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ И ПРОМПРОДУКТА ОБОГАЩЕНИЯ ТОО «КАЗЦИНК»

Аннотация. В статье приведены результаты теоретического обоснования и технологических исследований технологии комплексной переработки окисленных и смешанных полиметаллических руд и промпродуктов обогащения сульфидирующим обжигом с последующим обогащением огарка. Разработана технологическая схема.

1027

включающая пирротинизирующий обжиг с последующей магнитной сепарацией, при которой выделение в магнитный продукт подшихтованного пирротина составляет более 90 %, извлечение Zn составляет – 96-97 % в немагнитный продукт, при содержании 10,05 %.

Ключевые слова: промпродукт, окисленная свинцово-цинковая руда, пирит, магнитная сепарация, сульфидирующий обжиг.

Введение. В настоящее время в мире наблюдается сокращение базы минеральных ресурсов. Это связано с истощением запасов, повышением доли окисленных труднообогатимых руд, отсутствием высокоэффективных методов обогащения руд смешанного типа. Это приводит к переводу многих месторождений цветных металлов в категорию забалансовых.

Тем временем наблюдается стабильное увеличение спроса на цветные металлы, в связи с чем возникает необходимость постоянного поиска перспективных вариантов вовлечения сложных руд. По итогам 2021 года прогнозируется увеличение профицита цинка на мировом рынке до 387 тыс. тонн. Начиная с середины июня 2020 г. стоимость металла закрепилась выше уровня \$2 000 за тонну. Этому способствовал увеличивающийся спрос на цинк со стороны автомобильного и строительного секторов.

По прогнозу аналитиков VMI Research, цинк и свинец будут дорожать на фоне увеличения спроса и дефицита в течение ближайших нескольких лет. Рост добычи свинца в 2016-2020 годах составит в среднем 0,9 %, и будет выше уровня \$2 000 за тонну.

Неэффективные методы переработки сложного сырья также приводят к образованию большого количества хвостов, промпродуктов, содержащих целевые металлы, доизвлечение которых затруднено. При хранении накопленные отходы под атмосферным воздействием превращаются в мощный очаг загрязнения окружающей среды, одновременно являясь источником металлов, запасы которых сопоставимы с запасами крупных месторождений [1].

Одним из месторождения труднообогатимых руд в Республике Казахстан на данный момент является Жайремское месторождение. Основной причиной трудной обогатимости руд Жайремского месторождения является весьма тонкая вкрапленность рудных минералов. Первичные сульфидные руды Жайремского месторождения обогащаются намного лучше смешанных и оксидных. Сложность вещественного состава Жайремских руд требует раздельной переработки всех типов руд. В настоящий момент продолжают поиски вариантов повышения показателей обогащения Жайремских руд. Причем вопрос о переработке смешанных и оксидных руд, в отличие от баритсодержащих свинцово-цинковых сульфидных руд и безбаритовых свинцово-цинковых руд стоит наиболее остро. Попытки улучшения технологических показателей обогащения традиционными методами не привели к необходимым результатам.

При флотационном обогащении полиметаллических руд значительное количество цинка и свинца переходит в хвосты и промпродукты, и в получаемые при обогащении пиритные концентраты. В условиях истощения руд актуальным становится вовлечение в переработку хвостов и промпродуктов обогащения и разработка технологий эффективной переработки окисленных и смешанных руд [2].

Анализ наиболее актуальных существующих технологий приведен в таблице 1. В таблице приведены данные по существующим технологиям с текущим результатом по основным индикаторам технологий.

Таблица 1 – Анализ технологий по переработке окисленных и смешанных труднообогатимых полиметаллических руд, содержащих цинк и свинец

Объект исследования	Существующие технологии	Текущий результат технологии
	1. Прямые пиро- и гидрометаллургические способы	Не разработаны до уровня

Переработка окисленных и смешанных труднообогатимых полиметаллических руд, содержащих цинк и свинец	переработки труднообогатимых полиметаллических руд не разработаны до уровня промышленно рекомендуемых.	промышленно рекомендуемых.
	2. Предварительная активация исходного сырья окислительным или сульфатизирующим обжигом с последующей переработкой активированного продукта	Способы не нашли применения в промышленности
	3. Пирометаллургическое сульфидирование и автоклавное сульфидирование	Невысокая производительность аппаратуры для крупнотоннажного производства, способ малоэффективен.
	4. Сульфидирование сульфатредуцирующими бактериями	Промышленного использования нет
	5. Сульфидирование полиметаллического сырья элементарной серой	Извлечение свинца в концентрат до 75 %
	6. Сульфидирование элементарной серой и сернистым газом с добавлением в шихту обжига пирита. Полученный огарок подвергают флотации.	Извлечение свинца в концентрат до 82 %

В работе предлагается технологическая схема доизвлечения свинца и цинка, включающая перевод неликвидного, продукта в балансовый продукт и решение экологической проблемы накопления отвальных продуктов посредством их переработки, сокращение их количеств.

Целью исследований было проведение критического анализа рынка технологий свинца и цинка, физико-химическое изучение объектов исследования и технологические исследования смешанной полиметаллической руды месторождения Жайрем и промпродукта свинцовой обогатительной фабрики (СОФ), ТОО «КАЗЦИНК».

Исходные материалы. Смешанная полиметаллическая руда месторождения Жайрем. Выполнены минералогический и гранулометрический анализы смешанной полиметаллической руды месторождения Жайрем, участок Западный. Главными рудными минералами являются окисленные соединения свинца и цинка, пирит, сфалерит, галенит. Второстепенные минералы представлены халькопиритом, теннантитом. Физико-химические анализы проб смешанной полиметаллической руды месторождения Жайрем, участок Западный. Анализ гранулометрического состава показал, что основное количество свинца и цинка (порядка 79 % от руды) находится в классах крупности более 5 мм. Остальное количество свинца и цинка преимущественно в классах менее 1 мм. Также следует отметить, что порядка 60 % двуокиси кремния от руды находится в классах крупности более 5 мм и, следовательно, данное количество пустой породы будет направляться на операции тяжелосреднего обогащения, а значит появляется возможность вывести часть данного материала из процесса обогащения путем выделения в легкую фракцию.

Суммарный выход от руды: класса - 5 + 0,0 мм составляет 36,26 %; класса - 5 + 2,0 мм составляет 9,04 %; класса -1 + 0,0 мм составляет 26,48 %; класса -1+0,315 мм составляет 10,55 %; класса -0,315 + 0,0 мм составляет 15,93%; класса - 1 + 0,074 мм составляет 17,59 %; класса - 0,074 + 0,0 мм составляет 8,89 %; класса -0,074 + 0,044 мм составляет 0,73%; класса - 0,044 + 0,0 мм составляет 8,16 %. Удельный вес пробы руды – 3,35 т/м³. Средняя плотность рудных минералов, рассчитанная на основе XRD анализа составляет – 5,27.

Характеристика промпродукта свинцовой обогатительной фабрики (СОФ), ТОО «КАЗЦИНК». Главными рудообразующими минералами являются глобулярный пирит, сфалерит и галенит, окисленные соединения свинца и цинка. Нерудные минералы представлены, в первую очередь, кварцем, а также, карбонатами и кремнистыми минералами. Результаты химического анализа пробы промпродукта СОФ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты химического анализа пробы промпродукта СОФ

Наименование	Содержание					
	Pb, %	Zn, %	BaSO ₄ , %	Fe, %	Ag г/т	SiO ₂ , %
Промпродукт СОФ	0,9	2,03	2,76	4,26	17,9	56,00

Методы и их описание.

В работе использовался рентгеновский дифрактометр Aeris (XRD).

Технологические исследования процесса термической обработки промпродуктов флотации с сульфидированием цинка за счет пирита, содержащегося в промпродукте осуществлялись на установке для сульфидирующего пирротинизирующего обжига в неподвижном слое. Также изучался состав и магнитные свойства образующегося в результате обжига пирротина, с изучением влияния температуры, продолжительности и состава газовой фазы на процесс.

Результаты и обсуждение.

Магнитная сепарация смеси ферромагнитного пирротина и промежуточных продуктов флотационного обогащения, полиметаллических руд позволяет выделить в магнитный продукт 91 % подшихтованного пирротина. В результате обжига промпродуктов в неокислительной атмосфере и последующей магнитной сепарации огарка можно извлечь свыше 69,20 % железа в форме пирротина в магнитную фракцию, содержание пирротина в магнитной фракции находится на уровне 85-97 %. При напряженности магнитного поля 40-80 кА/м (500-1000 Э) удается извлечь до 69,20 % пирротина в магнитную фракцию.

На основании проведенных исследований разработана технологическая схема переработки хвостов обогащения полиметаллической руды, рисунок 1. Извлечение Fe_{1-x}S достигает 69-70 % в магнитный продукт, извлечение цинка возможно до 97 % в немагнитный продукт.

Закключение. Разработана технологическая схема переработки хвостов обогащения полиметаллической руды. Экономическая целесообразность исследований заключается в следующем: при объеме производства по перерабатываемой руде Жайремского ГОКа 100000 т в год за счет повышения извлечения свинца в результате внедрения предлагаемой технологии можно получить 6320 т свинцового концентрата и 30508 т цинкового концентрата, что с учетом эксплуатационных затрат на переработку даст прибыль 220 млн. тенге. Технологическая схема позволяет повысить технико-экономическую эффективность переработки окисленных свинцово – цинкового сырья.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ЖЕЗҚАЗҒАН ҚАЛАСЫ ӘКІМДІГІ

Ө. А. БАЙҚОҢЫРОВ атындағы ЖЕЗҚАЗҒАН УНИВЕРСИТЕТІ

SATBAYEV UNIVERSITY

«Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары»

Халықаралық ХХІ Байқоңыров оқулары
материалдарының жинағы

«Перспективы развития науки и образования в условиях
новой реальности»

Сборник материалов
Международных ХХІ Байқоңуровских чтений

Ж е з қ а з ғ а н
2021

УДК 001
ББК 72
Ж-35

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі “Ө.А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті” АҚ Ғылыми кеңесінің ұсынысымен баспадан шығаруға бекітілді.

Редакциялық коллегия:

Тәкішев Ә.А. (бас редактор)

Нуртазина А.С. (жауапты редактор)

Аринов Е.Б., Ерқоңыр Ә.К., Кашкинбаева З.Ж., Темирбаева Г.Р., Умбетова А.К., Рысбеков Қ.Б., Сандыбеков М.Н., Барменшинова М.Б., Какимов У.К., Чепуштанова Т.А., Орынбасарова Ә.О., Мырзахметов С.С.

Ж-35 Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары: Халықаралық XXI Байқоңыров оқулары материалдарының жинағы= Перспективы развития науки и образования в условиях новой реальности: Сборник материалов Международных XXI Байконуровских чтений.

-Жезқазған: “ЖезУ” АҚ, 2021. – 331 бет

ISBN 978-601-7971-70-0

Бұл жинақ 2021 жылдың 10 желтоқсанында Жезқазған қаласында өткен Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Жаңа кезеңдегі ғылым мен білімнің даму перспективалары» атты XXI Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдарына негізделген. Ғылыми еңбектер жинағында ғылымның қазіргі мәселелері және ғылыми зерттеу нәтижелерін қолдану тәжірибесі қарастырылған. Жинақ ғылыми қызметкерлерге, оқытушыларға, аспиранттарға, докторанттарға, магистранттарға, студенттерге ғылыми жұмыстарда және оқу қызметінде пайдалануға арналған. Мақаладағы дәйексөздердің, атаулардың, тақырыптардың және басқа да мәліметтердің шынайылығы мен дұрыстығына, сондай-ақ зияткерлік меншік туралы заңнаманың сақталуына жарияланған материалдардың авторлары жауапты.

Настоящий сборник составлен по материалам XXI Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в условиях новой реальности» посвященных 30-летию Независимости Республики Казахстан, состоявшейся 10 декабря 2021 г. в г. Жезказган. В сборнике научных трудов рассматриваются современные проблемы науки и практики применения результатов научных исследований. Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, докторантов, магистрантов, студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законодательства об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

ISBN 978-601-7971-70-0

© “ЖезУ” АҚ, 2021

high school students - future students have formed methods of educational work (intellectual, informational, research, etc.), which present the techniques learned in the educational process of working with the material and the results of the student's own experience accumulation. They are evaluated according to the following indicators [3]:

- the predominant orientation of high school students to individual signs of the phenomena being studied or to a system of signs of a particular subject;
- predominant orientation towards a certain way of recording information (schematic, graphic, symbolic);
- the need to master meta-knowledge (knowledge of knowledge);
- the presence of meta-knowledge - knowledge about the techniques and means of assimilation of educational material;
- ability to analyze the content and structure of texts of any kind, educational tasks;
- the ability to highlight the main thing in definitions, problems, theorems, etc.;
- the ability to compare, classify cognitive objects;

The initial level of interest in the chosen profession is determined in the first year. At this stage, it is important to evoke and consolidate a positive emotional attitude to the chosen specialty, awaken involuntary attention to it, and form professionally significant motives in the motivational sphere. To do this, the teacher needs to conduct a complex of research work and setting goals and objectives of management activities. The formation of professional interest is carried out in stages, becoming more complicated from course to course, from simple curiosity to awareness of the social significance of the chosen profession, awareness of the need to acquire knowledge, and not just knowledge, but it is necessary that knowledge become valuable, have meaning for the student. Verbal and visual teaching methods turn into partially exploratory, research works, which are based on a step-by-step solution of multi-level tasks, which leads the student to achieve «acme» - the pinnacle in the development of creative activity.

1. M.I. Gubanova. Pedagogical support of students' social self-determination. Pedagogy No. 9, 2002.
2. Zh.A. Karaev, Zh.U. Kobdikova, G.O. Iskakova. Quality management of education in the context of the personal -activity paradigm. Inf. Bulletin of RIPC CO No.3 2004. Almaty.
3. A.M. Novikov. Problems of humanization of vocational education. Pedagogy No. 9, 2000.

УДК 669.431:661.242.2 (043)

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙРЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА СУЛЬФИДИРОВАНИЯ

Чепуштанова Т.А., Меркибаев Е.С., Сарсенова М. С., Темірхан С.Ф.
Казахский национальный, исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева - SatbayevUniversity
Казахстан, г. Алматы
t.chepushtanova@satbayev.university

Мақалада мырыш-олигонит кенін сульфидтеп күйдіру бойынша зерттеулердің нәтижелері берілген. Тотыққан мырыш қосылыстарының сульфидтену дәрежесі 650-700°C температурада 80-90%, күкірттің парциалды қысымы 50-150 Па және шихтадағы пирит концентратының мөлшері 30-50% дейін жететіні анықталды. Тікелей циклде магниттік сепарация қалдықтарын флотациялық оңдеу құрамында

25%-ға дейін мырыш бар кезде көбік өніміне 91%-ға дейін мырыш бөліп алады қамтамасыз ететіні анықталды.

The paper presents the results of research on sulphidizing roasting of zinc-oligonite ore. It was found that the degree of sulfidization of oxidized zinc compounds reaches 80-90% at 650-700 °C, a partial pressure of sulfur of 50-150 Pa and a content of up to 30-50% pyrite concentrate in the charge. It was found that the flotation processing of magnetic separation tailings in a direct cycle ensures the extraction of zinc into the foam product by 91% with a zinc content of up to 25%.

Ключевые слова: окисленная цинк-олигонитовая руда, пирит, сульфидирующий обжиг, магнитная сепарация, флотационное обогащение.

Түйін сөздер: тотыққан мырыш-олигонит кені, пирит, сульфидпен күйдіру, магниттік сепарация, флотациялық концентрация.

Key words: oxidized zinc-oligonite ore, pyrite, sulfidizing roasting, magnetic separation, flotation concentration.

Введение. Вовлечение техногенных запасов сырья и труднообогатимого бедного сырья, а также усложнение экологической обстановки в районах складирования хвостов требуют создания новых высокопроизводительных, энергосберегающих технологий, позволяющих с наименьшими затратами комплексно перерабатывать сложное сырье [1].

Критический анализ работы промышленных предприятий и текущих технологий дает возможность сделать заключение, что комплексная переработка окисленных и смешанных труднообогатимых руд должна осуществляться комбинированными, гибридными методами [2].

Современные технологические исследования по комплексной переработке окисленных полиметаллических руд показывают эффективность использования процесса предварительного сульфидирования окисленных соединений цветных металлов с последующим выделением сульфидов во флотоконцентраты.

Однако существующие на сегодняшний день технологии автоклавного и безавтоклавного гидротермального сульфидирования элементной серой, сульфидами натрия или аммония, высокотемпературного сульфидирования элементной серой и сернистым газом не находят применения в промышленности. Причинами являются - периодичность и невысокая производительность процесса, дорогостоящие реагенты и специальное оборудование [3-5].

В данных исследованиях основными критериями выбора и оценки процесса сульфидирования являлись:

- использование широко распространенных недорогих реагентов с вовлечением в переработку неиспользуемого сырья;
- проведение процесса сульфидирования в энергосберегающем режиме;
- возможность применения стандартного (типового) оборудования для инженерного оформления процесса;
- утилизация обжиговых газов с соблюдением экологических требований;
- получение продуктов обжига с заранее прогнозируемыми свойствами и составом, традиционными для металлургии.

На основании вышеизложенного изучался сульфидирующий обжиг окисленных и смешанных полиметаллических материалов, совмещенный с автогенным пирротинизирующим обжигом пиритных концентратов, с исследующей переработкой огарков методами флотационного и магнитного обогащения [6-7].

Результаты химического фазового анализа показывают, что кислородсодержащая форма нахождения цинка состоит преимущественно из каламина, значительно содержание смитсонита. Цинковый нонтронит обнаруживается в небольшом количестве, практически укладываемом в нижний предел погрешности анализа на стадии разделения фаз.

Термический анализ. Термический анализ был проведен на установке STA 409 PC/PG компании NETZSCH. Были проведены исследования термического разложения исходной цинк-олигонитовой рудой месторождения Жайрем, участок Западный, АО «Жайремский горно-обогатительный комбинат», ТОО «Казцинк», рисунок 2, с целью прогнозирования результатов сульфидирующего обжига, изучения поведения окисленных соединений при разложении и влияния сульфидных вкраплений на поведение образца.

Результаты свидетельствуют о том, что наибольшая амплитуда разложения окисленных соединений фиксируется при температурах от 500 до 850 °С, что коррелирует с данными по термодинамике обжига и последующего выбора условий для сульфидирования. Стадиальный механизм разложения окисленных соединений подтверждается фазовыми переходами при температурах 570, 636 и 800 °С.

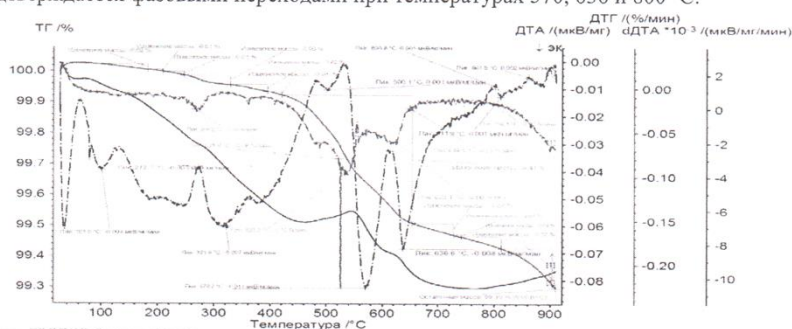


Рисунок 2– Результаты термического анализа полиметаллической свинцовой-цинковой руды месторождения Жайрем

Результаты и их обсуждение.

Технологические исследования.

Исследования по сульфидированию проводились в трубчатой печи в непрерывном и периодическом режимах при 400-900 °С. В качестве сульфидизатора использовали пиритные концентраты с содержанием 33-40 % железа и 39-50 % серы, задаваемые в шихту до 75 % от массы шихты.

Результаты проведенных исследований по сульфидирующему обжигу цинк-олигонитовой руды показали, что степень сульфидирования окисленных цинковых соединений достигает 80-90 % при 650-700°C, парциальном давлении серы 50-150 Па и содержании в шихте 30-50 % пиритного концентрата.

Давние петрографического анализа огарков сульфидирования показали, что сложные цинксоодержащие соединения при обжиге разрушаются до простых оксидов, которые при взаимодействии с серой образуют сульфиды цинка. Рентгеноструктурным анализом установлено, что полученные сульфиды цинка соответствуют сфалериту β -модификации. При этом количество свободных зерен сфалерита достигает 63-73 % от общего содержания цинка, а в исходной руде в виде сфалерита было представлено 2 % цинка.

Оксидные формы цинка сохраняются только в ядре сульфидных частиц, что обусловлено механизмом протекания процесса сульфидирования.

Пирит на 95 % замещен пирротинном "ячеистого" строения. Результаты рентгеноструктурного анализа установлено, что образуется пирротин состава $Fe_{0,85}S - Fe_{0,9}S$, который имеет магнитную восприимчивость $x = 1,7-2,05$ ед. СИ и относится к ферромагнетикам, что дает возможность выделить его магнитной сепарацией.

Изучение флотационных свойств образующихся сульфидов с применением метода измерения дзета-потенциала показало, что в ходе сульфидирующего обжига образуются сульфиды цинка с высоким гидрофобными свойствами, характеризующимися величиной дзета- потенциала от -1,0 до -1,5 В. Дзета-потенциал пирротина, образующийся при разложении пирита, в зависимости от условий обжига изменяется от -1,0 до -0,3 В, что характеризует его гораздо низкую гидрофобность, а значит и флотиремость, по сравнению с сульфидами цинка и свинца. На основании результатов изучения магнитных свойств и проведенных электрокинетических исследований дальнейшая переработка просульфидированных огарков предполагает операции магнитного и флотационного обогащения.

Просульфидированный огарок после выгрузки из печи направляется на магнитную сепарацию для выделения пирротина в самостоятельный концентрат. После отделения пирротина хвосты магнитной сепарации направляются на флотационное выделение сульфидов цветных металлов.

Результаты проведенных исследований по мокрой и сухой магнитной сепарации при напряженности магнитного поля 100-120 кА/м показали, что в магнитную фракцию выводится более 95 % пирротина, полученного в результате разложения пирита, введенного в шихту обжига.

Полученный магнитный пирротинный концентрат может быть использован для производства абразивов, высококачественного сульфата железа, для мелиоративных работ и других целей. Гидрометаллургическая переработка пирротинизированного продукта обеспечивает получение серы пиритных концентратов в элементной форме.

Флотационная переработка хвостов магнитной сепарации в прямом цикле обеспечивает извлечение цинка в пенный продукт на 91 % при содержании в нем до 25 % цинка. Расчеты и практика работы предприятий показывают, что при переработке в замкнутом цикле возможно получение концентратов с содержанием 45-50 % цинка и извлечением его не ниже 70-75 %. Кроме того, необходимо учитывать, что применение полиметаллических пиритных концентратов для сульфидирования позволяет раскрыть содержащиеся в них минералы цинка и свинца, повысить их флотационную активность и в конечном счете доизвлечь эти металлы в соответствующие концентраты.

Хвосты от флотационного обогащения хвостов магнитной сепарации огарков представляют собой сырье для строительной индустрии и могут быть использованы в производстве цемента и других материалов.

Поисковые исследования показывают, что переработка полученных цинковых (свинцовых) концентратов возможна пиро- и гидро- таллургическими способами (плавкой, в том числе и автогенной; соевым и кислотным выщелачиванием, обжигом и др.), по стандартной технологии.

Заключение. Критическим анализом литературы установлено, что лучшие показатели по переработке окисленных и смешанных руд достигаются при использовании предварительной активации исходного сырья сульфидирующим обжигом с последующей переработкой активированного продукта. Таким образом, исследования показывают возможность переработки сложных полиметаллических жайремских руд, руд подобного состава любой географии расположения, окисленных свинцово-цинковых хвостов с использованием процесса сульфидирования оксидных соединений цинка и свинца пиритным материалом в непрерывном режиме в трубчатой или печи КС с получением сульфидных соединений цинка и свинца, обладающих

высокими флотационными свойствами и хорошо извлекаемые в самостоятельный флотоконцентрат. Применение пиритных концентратов обеспечивает, во-первых, вовлечение в переработку отвальных пиритных промпродуктов, что сказывается на экологии, во-вторых, повышается комплексность использования сырья путем извлечения серы и цветных металлов.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК Грант № AP08052829.

1. Отчет Инв.№ 0220РК01473. Обоснование и разработка технологии комплексной переработки окисленных и смешанных полиметаллических руд и промпродуктов обогащения сульфидирующим обжигом с последующим обогащением огарка. Промежуточный ИРН № AP08052829.
2. MinXiao-bo, JiangGuang-hua, WangYun-yan, ZhouBo-sheng, XueKe, KeYong, XuQiu-jing. Sulfidation roasting of zinc leaching residue with pyrite for recovery of zinc and iron. Journal of Central South University, 2020, P. 356-368.
3. Валиев Х.Х., Романтеев Ю.П., Х.Х. Валиев, Ю.П. Романтеев. Металлургия свинца, цинка и сопутствующих металлов. - Алматы: Айкос, 2000. - 441 с.
4. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Mamyrbayeva K., Mishra B. Mechanism of Nonoxidizing and Oxidative Pyrrhotites Leaching. // Minerals & Metallurgical Processing Journal. Vol. 29, August 2012. - № 3. - P.159-164.
5. Chepushtanova T.A., Luganov V.A., Ermolayev V.N., Mishra B., Gyseinova G.D. Investigation of the magnetic and flotation properties of synthesized hexagonal pyrrhotites. // Mineral processing and extractive metallurgy review: an international journal. Vol. 36, - 2015, - № 4. - P. 237-241.
6. HaishengHan, WeiSun, YuehuaHu, BaoliangJia, HonghuTang. Anglesite and silver recovery from jarosite residues through roasting and sulfidization-flotation in zinc hydrometallurgy// Journal of Hazardous Materials. Vol 278, 15 August 2014, - P 49-54.
7. Luo, L., Zhang, X., Wang, H., Zheng, B., Wei, C. Comparing strategies for iron enrichment from Zn- and Pb-bearing refractory iron ore using reduction roasting-magnetic separation. // Powder Technology. Vol 393, 2021, - P. 333-341

ӘОЖ 37.02; 371

ОҚУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ БЕЛСЕНДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ

Шатенова С.Е.

бастауыш сынып мұғалімі

№1 жалпы білім беретін мектеп, Қарағанды облысы Жезказған қ. Қазақстан

Safura_79@mail.ru

В данной статье рассказывается о путях повышения учебной активности учащихся. Очень эффективны игровые элементы в концентрации внимания учащихся к уроку. Во время игрового метода учащиеся дружат, сотрудничают, помогают. Особенно целесообразно выполнять задания, организованные в парах, группах. Одной из форм формирования учебной активности учащихся является трансформация на уроке с использованием новых технологий. Среди многочисленных инноваций наиболее подходящей технологией для формирования учебной активности учащихся является проект "критическое мышление". Стратегии критического мышления способствуют формированию у учащихся критического мышления, умения самостоятельно принимать решения, функциональной грамотности, языковых навыков.

МЕТАЛЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ВОДОВОЗДУШНОЙ ЭМУЛЬСИИ РАСТВОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ.....	296
Тусупова Т.Б. ӘЛИХАН БӨКЕЙХАННЫҢ ИДЕЯСЫ - ТӘУЕЛСІЗ ЕЛ БОЛУ.....	300
Туякова Р.К. МЕКТЕПКЕ ДЕЙІНГІ БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ Ы.АЛТЫНСАРИННЫҢ ШЫҒАРМАЛАРЫНДАҒЫ ЕҢБЕК ТӘРБИЕСІ.....	303
Умбетова А. К., Балгимбекова А.Г. ЫБЫРАЙ АЛТЫНСАРИН ӨҢІМЕЛЕРІНДЕГІ ФИБРАТ – ОҚИТУДЫҢ ҚУАТТЫ ҚҰРАЛЫ.....	307
Умирбекова А.К., Аманжол Ж.Е. МЕКТЕП ЖАСЫНА ДЕЙІНГІ БАЛАЛАРҒА ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘРБИЕ БЕРУ.....	310
Kholodova G.M., Kukalo L.I., Epaneshnikova A.A., Popova N.E. MULTI-LEVEL TASKS AS A MEANS OF FORMING A VALUE-SEMANTIC ATTITUDE TO THE KNOWLEDGE OF METALLURGICAL STUDENTS.....	315
Чепуштанова Т.А., Меркибаев Е.С., Сарсенова М. С., Темірхан С.Ф. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙРЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА СУЛЬФИДИРОВАНИЯ.....	317
Шатенова С.Е. ОҚУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ БЕЛСЕНДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ.....	322
Юсупова А.Ж. ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІ.....	326