## МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ТАДЖИКИСТАНА

# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени академика М.С. Осими

На правах рукописи

УДК: 536.8:620.1:621

## РАХИМЗОДА ХАЁТ ШИФОКУЛ

# РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СУРЬМЫ ИЗ СУРЬМЯНО-СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

#### **АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.00 – Химическая технология (05.17.01 – Технология неорганических веществ)

Работа выполнена на экспериментальной базе кафедры «Металлургия» Горно-металлургического института Таджикистана (ГМИТ) и кафедры «Общая и неорганическая химия» Таджикского технического университета (ТТУ) имени академика М.С. Осими.

Научный руководитель:

**Бадалов Абдулхайр** - чл.-корр. Национальной академии наук Таджикистана, доктор химических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Официальные оппоненты:

**Шарифов Абдумумин** – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Водородная энергетика» Института химии имени В.И. Никитина НАНТ

**Бобоев Икромджон Рахмонович** — кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по науке и молодежной политике ДФ Национальный исследовательский технологический университет - «МИСиС»

Ведущая организация:

Государственное учреждение «Научноисследовательский институт металлургии» Открытого акционерного общества «Таджикская алюминиевая компания»

Защита состоится «16» декабря 2024 года в 09-00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-042 при Институте химии им. В.И. Никитина НАНТ по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина НАНТ www.chemistry.tj.

Jundal

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_ 2024 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат технических наук

Хамилов Ф.А.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность** темы исследования. Наличие богатых природных ресурсов и комплексных месторождений полезных ископаемых является недорогим и доступным источником электроэнергии, который является надёжной основой для развития металлургической промышленности Республики Таджикистан и успешного осуществления стратегической задачи страны — перехода от аграрного к индустриально-аграрному.

Среди полезных ископаемых Таджикистана сурьма является одним из стратегических и прибыльных продуктов горнодобывающей промышленности и относится к группе тяжелых цветных металлов. Разработка эффективных способов переработки сульфидно-сурьмяных (сурьмянистых) минеральных руд и концентратов, достижение более высокой степени извлечения сурьмы и других сопутствующих ценных металлов имеет особое значение для развития промышленности и реальной экономики страны.

Степень изученности проблемы. Переработка различных минеральных руд и концентратов с применением методов механической активации и хлорирования являются эффективными и широко применяются в различных областях химии и химической технологии. Однако каждое месторождение полезных ископаемых имеет свою специфику и требует особого подхода. Сведений о применении этих методов для сурьмосодержащих руд недостаточно, особенно для сурьмянистых концентратов месторождения Джижикрут.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Цель** диссертационной работы: разработка эффективных технологических схема (моделей), направленных на переработку сульфидно-сурьмяных концентратов с возможно максимальными извлечениями сурьмы.

Указанная цель осуществлялась решением следующих задач:

- проведением анализа состояния и перспектив сурьмяных производств в Таджикистане и в зарубежных странах;
- исследованием фазовых, гранулометрических, химических составов концентратов сурьмы, имеющихся в месторождении Джижикрут, разработка технологической модели по извлечению сурьмы, являющейся более эффективной;
- определением оптимальных критериев для осуществления предварительной механической активации сульфидно-сурьмяных концентратов;
- для взаимодействия основных компонентов концентратов сурьмы с NaCl и CaCl<sub>2</sub> провести термодинамическую оценку с определением оптимальных критериев проведения хлорирующего обжига;
- разработкой принципиальной технологической схему процесса хлорирования переработки сурьмянистых концентратов кислотным выщелачиванием, обеспечивающим высокое извлечение сурьмы;
- оптимизировать условия проведения процесса получения сурьмы методом электролиза растворов.

**Объектами исследования** являются сурьмянистые концентраты Джижикрутского месторождения (ТА ООО СП «Анзоб» (Таджикистан)).

**Предмет исследования.** Разработка технологической схемы извлечения сурьмы, включающая предварительное кондиционирование концентрата методом механической

активации с последующим хлорирующим обжигом, кислотным выщелачиванием огарка и электролизом фильтрата процесса выщелачивания.

Методы исследования. Работа выполнена с применением ряда современных методов исследования: минералогический состав местных руд анализирован методами оптической (Поляризационный микроскоп LEICA DM4500 P, видеокамера Leica DFC 490 и программное обеспечение для анализа изображения минералов и концентратов) и электронной микроскопии (микроскоп Tescan VEGA 3 LMH); дифрактометрии (дифрактометр Bruker D2 PHASER, программное обеспечение DIFFRACplus TOPAS и DIFFRAC.EVA); химический анализ концентрата проведён методом искровой масс-спектрометрии индуктивно-связанной плазмы (ИСП-МС) с помощью масс-спектрометра с двойной фокусировкой ЈМЅ-ВМ-2 (Япония); рентгенофазовым методом (Дрон-3.0 Си-анод; Ni-фильтр) и рентгенофлюоресцентным методом (анализатор RFA-DX-2800M); адсорбция реагентов на поверхности минералов изучена методом ИК-спектроскопии (Bruker ALPHA с модулем НПВО, Bruker VERTEX 70); элементы в водных растворах анализировали методом ICP-спектрометрии на приборе ИСП-АЭС ОРТІМА 7000РУ фирмы Perkin Elmer при использовании стандартных растворов, полученных из ГСО Эко Аналитика; рН растворов измеряли с помощью рН-метра/иономера ИТАН. Обработка полученных результатов и установление зависимостей проведены с помощью стандартной программы Microsoft Excel. Термодинамический анализ возможных процессов, протекающих в исследуемых системах, проведён известными полуэмпирическими методами.

Отрасль исследования – технология чёрных, цветных и редких металлов.

**Этапы** исследования. Исследование по теме диссертации охватывает период 2020-2023 годов и состоит из следующих этапов:

- сбор и изучение литературных сведений по сурьмасодержащим минеральным рудам, способам переработки концентратов и производству сурьмы, в частности на Джижикрутском месторождении (ТА ООО СП «Анзоб»);
- изучение процесса механической активации сурьмянистого концентрата Джижикрутского месторождения, определение оптимальных условий активации концентрата;
- проведение процесса хлорирующего обжига механоактивированного сурьмянистого концентрата хлоридом натрия, установление условий достижения высокой степени извлечения сурьмы;
- проведение процесса хлорирующего обжига механоактивированного сурьмянистого концентрата хлоридом кальция, установление условий достижения высокой степени извлечения сурьмы;
- разработка метода сернокислотного выщелачивания продуктов хлорирующего обжига сурьмянистых концентратов;
- разработка и установление оптимальных условий получения сурьмы методом электролиза из раствора сульфата сурьмы.

#### Основная информационная и экспериментальная база.

**Информационная база** охватывает поиск работ по диссертационной теме через научные журналы с использованием международных информационных систем (поиск отраслевых материалов осуществляется на сайте ESPACENET).

Работа проведена на **экспериментальной базе** кафедры металлургии Горнометаллургического института Таджикистана, в лабораториях Таджикско-американского общества с ограниченной ответственностью «СП Анзоб» (Испытательная лаборатория ТА ООО

СП «Анзоб»), Физико-технического института имени С.У. Умарова НАН Таджикистана и в Центральной научной исследовательской лаборатории ГУП «Таджредмет».

#### Научная новизна работы заключается в том, что:

- определены оптимальные условия метода механической активации сульфидносурьмяных концентратов ТА ООО СП «Анзоб» Джиджикрудского месторождения, способствующие повышению вскрываемости концентратов и извлечению сурьмы почти в два раза;
- проведен термодинамический анализ основных химических процессов, протекающих при хлорирующем обжиге сульфидно-сурьмяных концентратов. Для процессов хлорирующего обжига с помощью NaCl и CaCl<sub>2</sub> выявлены высокие термодинамические вероятности их протекания. Сравнение реагентов показало, что в качестве хлорирующего реагента эффективней использовать хлорид кальция;
- разработан и осуществлён процесс хлорирующего обжига механоактивированных сурьмянистых концентратов хлоридами натрия и кальция. Определены оптимальные условия проведения процесса при пониженных температурах 450-500°C по сравнению с практическим прототипом (1100-1200°C);
- определены оптимальные физико-химические критерии для реакций сернокислотной переработки продуктов в хлорирующем обжиге концентратов сурьмы, способствующих максимальным извлечениям сурьмы в продуктивные растворы;
- проведена разработка обобщённых усреднённых технологических схем для хлорирующего обжига концентратов сурьмы и дальнейшего выщелачивания полученных продуктов серной кислотой;
- определён оптимальный режим получения кондиционного металла сурьмы из раствора сульфата сурьмы (III).

**Теоретическая значимость исследования.** Рассмотрены теоретические аспекты процессов механической активации сурьмянистых концентратов и электролиза сульфата сурьмы, термодинамический анализ основных процессов, протекающих при хлорирующем обжиге концентратов.

**Практическая** значимость. Предложен и осуществлён комбинированный способ получения кондиционной марки сурьмы (Cy2) из механически активированного сурьмянистого концентрата путём хлорирующего обжига, сернокислотного выщелачивания продуктов обжига и электролиза раствора сульфата сурьмы (III). Процесс хлорирующего обжига на основе местного сырья может проводиться при температурах 450-500°C, что значительно ниже по сравнению с производственным циклом. Улучшается вскрываемость концентрата и перевод соединений сурьмы в технологически переработанные сурьмянистые концентраты. Предусматривается возможность утилизации отходов и повторное их применение в цикл, отсутствие газовых выбросов.

По результатам исследований получены три малых патента Республики Таджикистан, которые внедрены на ТА ООО СП «Анзоб» и ГУП «Таджредмет».

#### Основные положения, выносимые на защиту:

- технологические особенности процесса переработки и механической активации сурьмянистых месторождений Джиджикруд;

- результаты исследования процесса хлорирующего обжига механически активированных сурьмянистых концентратов с использованием хлоридов натрия и кальция, улучшения вскрываемости концентрата и оптимальных условий процесса;
- результаты исследования процесса сернокислотного выщелачивания продуктов обжига концентрата. Оптимальные условия проведения процесса, при которых достигается максимальное извлечение и растворение соединений сурьмы;
- разработанные принципиальные технологические схемы переработки сурьмяного концентрата и кислотного выщелачивания огарка, а также извлечения и растворения соединений сурьмы в технологический раствор;
- результаты разработки технологической схемы процесса электролиза и выявление оптимальных условий протекания процесса.

**Личный вклад** заключается в непосредственном участии во всех этапах выполнения работы: формулировке темы, сборе, обработке и анализе литературных сведений по теме диссертации. В проведении экспериментов на всех этапах разработанного цикла получения кондиционной марки сурьмы из механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата путём хлорирующего обжига, сернокислотного выщелачивания продуктов обжига и электролиза раствора сульфата сурьмы (III). В применении расчётных методов, обработке и анализе экспериментальных и расчётных данных, составлении выводов и опубликовании материалов диссертации.

#### Апробация диссертации и информация об использовании её результатов

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на следующих научнопрактических конференциях:

международных: ГНУ «Центр исследований инновационных технологий» при НАНТ 2020, 2022); «Состояние И основные проблемы горно-металлургической Таджикистана» 2020); Российско-Таджикского промышленности (Γ. Бустон, «Роль (Славянского) университета в становлении и развитии науки и инновационного образования в Республике Таджикистан» (Ч. II. – Душанбе: РТСУ, 2021); Промышленный форум «Стабильные шаги по развитию национальной промышленности», посвященный 15-летию со дня создания Горно-металлургического института Таджикистана (г. Бустон, 2021); «Современные проблемы металлургической промышленности», (г. Душанбе, ТТУ им. акад. М.С. Осими, 2021); «Состояние и основные проблемы горно-металлургической промышленности Таджикистана (г. Бустон, 2022); «V Международное книжное издание "Лучший молодой учёный-2022" Республики Казахстан, (г. Нур-Султан, 2022); «Использование природных ресурсов, экология и устойчивое развитие» в рамках Международного десятилетия действий "Вода для устойчивого развития 2018-2028 годы" (г. Бустон, 2022); «Современные проблемы точных наук в подготовке высококвалифицированных кадров для горно-металлургической отрасли страны» (г. Бустон, 2023); Международный институт перспективных исследований им. М.В. Ломоносова (г. Омск, 2023); «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых» (г. Бустон, 2023); on-Iine конференциия "Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты» (г. Казань, КГЭУ, 2023); «Исследование и применение низкоуглеродной металлургии и поиск новых методов производства с использованием зеленой энергетики» (Китай, г. Чанша, Центральный Южный университет, 2023); XVIII Нумановские чтения "Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты" (г. Душанбе, 2023); «Развитие новых направлений в химии и

химической технологии», посвящ. академику Х. Сафиеву, (г. Душанбе, ТНУ, 2023); Международная конференция «Энергия-Земля-Окружающая среда-Инженерия», Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, UJICY (Узбекско-Японский инновационный центр молодежи) (Узбекистан, г. Ташкент, 2023);

республиканских: «Интеграция геометро-графических, точных и технических дисциплин в процессе подготовки инженеров», посвящ. 30-летию государственной независимости Республики Таджикистан (г. Бустон, 2021); «Организация технологических перевозок грузов в открытых горных месторождениях Республики Таджикистан» (г. Бустон, 2022); «Эффективная металлургическая переработка, экология и устойчивое развитие» (г. Бустон, 2023).

**Результаты** диссертации применены в ТА ООО СП «Анзоб», ГУП «Таджредмет» (имеются акты внедрения) и могут быть полезны Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, его подразделениям, проектным учреждениям и научным учреждениям НАН Таджикистана.

Полученные результаты работы могут быть использованы в технических вузах, на технологических факультетах при подготовке специалистов по металлургическим, химическим, химико-технологическим и энергетическим профилям.

Получены три малых патента Республики Таджикистан.

**Публикации.** Основное содержание работы изложено в 37 научных публикациях, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан - 5, ВАК Российской Федерации - 2, ВАК Республики Узбекистан - 3, США - 1, в материалах научных конференций различного уровня - 23, получено 3 (три) малых патента РТ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 167 страницах, содержит 25 таблицы, 40 рисунков, 6 приложений и список использованной литературы, включающий 161 наименование.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований.

В первой главе приведены сведения о современном состоянии и перспективы производства сурьмы в Таджикистане и за рубежом. Отмечено, что Таджикистан занимает одно из ведущих позиций по производству сурьмы в мире. Приведены сведения о месторождениях и типах сурьмасодержащих руд, о технологических тенденциях по извлечению сурьмы из основного минерала — антимонита, о перспективах применения сурьмы и соединений. Обсуждены перспективы производства сурьмы в Таджикистане и задачи работы.

Вторая глава посвящена классификации сурьмяного сырья и схемам его переработки. Согласно требованиям металлургического передела, сурьмяное сырье (концентраты) можно условно разделить по содержанию сурьмы на: бедное (до 25%), рядовое (25-45%) и богатое (более 45%). По степени окисленности сурьмы на сульфидное, содержащее не менее 80% общего металла в форме  $Sb_2S_3$ ; сульфидно-окисленное (окислено-сульфидное), содержащее 20-80% и окисленное, в котором содержание металла в окислах превышает 80%.

Джижикрутское месторождение в основном состоит из антимонита  $(Sb_2S_3)$  и киновари (HgS), также содержит марказит  $(FeS_2)$ , арсенопирит (FeAsS) и нерудные полезные ископаемые.

Около 15% сурьмы находится в виде оксида. Минералы содержат большое количество редких и благородных металлов, особенно таллия, золота и серебра.

Описана технология обогащения руды на ТА ООО «СП «Анзоб». Отмечено, что переработка сульфидно-сурьмяных концентратов осуществляется традиционными методами пиро- и гидрометаллургии. В процессе окислительного обжига, который в настоящее время применяется при производстве металлической сурьмы из концентрата, проявляются следующие недостатки:

- ✓ поддерживается высокая температура 1100-1200°C для перехода перерабатываемого концентрата из сульфидной формы в оксидную;
- ✓ в атмосферу выбрасывается большое количество газа SO<sub>2</sub>;
- ✓ продукт, полученный после процесса окислительного обжига, направлялся на процесс восстановительной плавки. Этот процесс также проводят при температуре 1100-1200°С. Углерод добавляется в качестве восстановителя, в результате чего выделяется большое количество газов СО и СО₂, что очень вредно с экологической точки зрения.

Приведены литературные сведения о хлорирующем дистилляционном обжиге, об особенности пиро- и гидрометаллургических способах переработки сульфидно-сурьмяных руд, о методе хлоридного выщелачивания с участием хлорида железа (III).

В третьей главе приведены теоретические сведения и результаты практического применения методов механической активации минеральных руд и хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяных концентратов.

Механическая активация минеральных руд и концентратов способствует достижению их лучшей вскрываемости и извлечения основных компонентов сырья в более мягких технологических условиях на последующих стадиях производственного цикла - обжига и выщелачивания.

Результатом механической активации является изменение удельной поверхности и внутренней энергии частиц обрабатываемого материала. Механическая обработка материала приводит не только к «уменьшению размера частиц, к разрыву химических связей, удерживающих её как единое целое, и обнажается ювенильная, т.е. «свежая» поверхность, богатая активными центрами...».

К настоящему времени накоплены определённые экспериментальные сведения по исследованию различных механоактивированных минералов. Показано, в частности, что измельчение сурьмяных концентратов в центробежных планетарных мельницах (ЦПМ) в ударном или в ударно-истирающем режимах приводит к увеличению удельной поверхности частиц. По мере накопления различных типов структурных дефектов происходит ослабление связей в кристаллической решетке частиц сурьмяных концентратов. Изменения в структуре и характеристике частиц, происходящие при механической активации концентратов, можно установить по результатам РФА и ИК-спектрометрии и других физико-химических методов.

Предложена следующая классификация механоактивации: механохимическая, если образовавшаяся и накопленная энергия в активаторе способствует химическому взаимодействию; предварительная механоактивация, если энергия идет на преобразование вне активатора. Предложен калориметрический метод путём измерения начального повышения температуры в теплоизолированном мельничном барабане. Путём оценки энергоемкости механоактиватора установлено, что 90-95% энергии превращается в тепловую энергию, а остальная расходуется на преобразование обрабатываемого материала.

Нами установлено, что механическая активация сульфидно-сурьмяного концентрата Анзобского ГОК-а весьма полезна во многих отношениях. Следует отметить, что сульфидно-сурьмяный концентрат получают методом флотационного обогащения на Анзобском ГОК-е. В качестве реагентов для извлечения сурьмы и ртути применяют ксантогенат калия (150-170 г/т), азотнокислый свинец (160-180 г/т) и сосновое масло. Эффективность обогащения полезных ископаемых, так и добычной металлургии полезных ископаемых зависит от разделения отдельных минеральных компонентов и обнажения их поверхности. Производство флотоконцентратов с размерами частиц в десятки микрон нецелесообразно для оптимальной работы многих гидрометаллургических процессов.

Механическая активация - инновационный метод, при котором улучшение гидрометаллургических процессов может быть достигнуто за счет сочетания новой площади поверхности и образования кристаллических дефектов в минералах. Особенно привлекательны экологические аспекты этих процессов.

В литературе разработаны математические расчеты теоретически необходимого количества энергии, которая должна быть накоплена в обрабатываемом материале при механоактивации ( $\Delta E_{Off}$ ) для успешного вскрытия сульфидных минералов редких металлов, на основании данных системного анализа сульфидных и оксидных минералов по химической устойчивости к действию щелочи, температуры и энергоплотности. Разработана методика оценки реакционной способности от вида накопления энергии и энергетического состояния кристаллической решетки сульфидных минералов редких и тяжелых металлов после механоактивации с помощью PCA.

Разработаны различные способы интенсификации разложения сульфидных минералов редких и тяжелых металлов, что требует поисков методов интенсификации сульфидного сурьмяного концентрата путем кратковременной механоактивации. Установлено, что после флотации поверхность частицы сульфидного сурьмяного концентрата покрывается флотореагентами. В частности, частицы сульфидно-сурьмяной руды (антимонит) покрываются ксантогеннатом, маслом т-80, трибутилфосфатом, гидратами, серой. В результате затрудняется вскрываемость концентрата и снижается эффективность процесса в целом. Проведение предварительной механической активации сульфидно-сурьмяного концентрата обусловлено повышением реакционной способности концентрата путём разрушения поверхностного слоя, образования трещин и активных центров.

Наши исследования посвящены определению оптимальных режимов предварительной механоактивации сурьмяных концентратов ( $Sb_2S_3\sim49\%$ ), которые обеспечивают более полное вскрытие концентрата и перехода соединений сурьмы в раствор.

#### Характеристика материалов и методика проведения экспериментов

Активирование частиц осуществляли в центробежной планетарной мельнице периодического действия, работающей в ударно-истирающем режиме с центробежным ускорением шаров диаметром  $\sim$ 5мм (сплав ВК-8)  $\sim$ 25g. «Сухое» активирование (измельчение в воздушной среде) проводили при соотношении шаров к концентрату по массе 1050:50 г; «мокрое» активирование (измельчение в водной пульпе) при соотношении шары:  $m_{\text{шара}}$ : $m_{\text{концентрата}}$ : $m_{\text{вода}}$  =1000:50:50 г и продолжительности от 0,5 до 7 мин.

#### Состав сульфидно-сурьмяных концентратов

В работе использован стандартный концентрат сурьмянистый ТУ 3004 РТ 30530698.04.2004 ТА ООО «СП «Анзоб». Для анализа концентрат отбирался и готовился на

основании общепринятых требований (ГОСТ 14180-80). Концентрат марки КСуФ-3 имел влажность 8,0% и использовался для проведения дальнейших исследований.

Для концентрата с целью определения химсостава был проведён химический анализ, который проводился на масс-спектрометре с двойной фокусировкой JMS-BM-2 (Япония) методом индуктивно-связанной плазмы искровой масс-спектрометрии (ИСП-МС) на содержание основных металлов (мас%.): Sb - 48,12; Hg - 0,58. Элементный и фазовый состав концентрата установлен методом РФА (мас%): стибитит Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> – 49.78; киноварь HgS – 30.74; сульфат оксида сурьмы Sb<sub>6</sub>O<sub>7</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> – 19.47. Результаты РФА исходного сульфидно- сурьмяного концентрата приведены на рисунке 1.

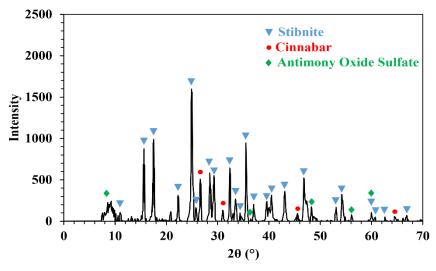


Рисунок 1. - Пиктограмма сульфидно-сурьмяного концентрата до механоактивации

#### Методика проведения механической активации сульфидно-сурьмяных концентратов

Сульфидно-сурьмяный концентрат, предварительно измельчённый до крупности частиц <74мкм, был подвергнут механической активации для увеличения энергии поверхностного натяжения в результате появления микротрещин, приводящих к повышению реакционной способности частиц.

Механическая активация сульфидно-сурьмяного концентрата произведена на планетарной центробежной мельнице ЛАИР-015. Механическое воздействие на сурьмяный концентрат обеспечивается скоростью вращения, как мельницы, так и барабанов, а также сложной траекторией движения самого концентрата. Под воздействием центробежного ускорения сила тяжести внутри шаровой мельницы увеличивается в 35-45 раз. Происходит механическое воздействия с высокой частотой, которое обеспечивается скоростью вращения, как самой мельницы, так и барабанов.

В работе использован сухой сульфидно-сурьмяный концентрат. С целью достижения высокой эффективности процесса механической активации и определения оптимальных условий извлечения сурьмы из концентрата проведены серии опытов при постоянной скорости вращения мельницы. Изучено влияние следующих факторов – степени заполнения внутреннего пространства (Z-объем) мельницы-активатора, соотношения масс шаров и концентрата (Мш: МК), продолжительности механической обработки концентрата. Выбор оптимальных условий процесса осуществлён по степени извлечения (α) сурьмы из механоактивированного концентрата.

Наиболее подходящими условиями механоактивации являются: соотношение массы шаров и концентрата (5:1), степень заполнения объема барабана шарами ( $Z_{\text{II}}$ ) 0,6 или 0,15; степень заполнения барабана концентратом ( $Z_{\text{K}}$ ) 0,023. Время проведения процесса составляло от 0,5 до 7 минут. Исследования показали, что при прочих равных условиях наиболее оптимальной степенью заполнения пространства мельницы (Z-объем) активатора-мельницы концентратом и шарами является Z-объем=80%.

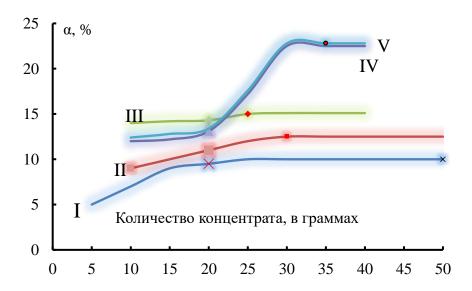
#### Оптимальные параметры процесса механоактивации

Проведены серии опытов для достижения максимальной степени извлечения ( $\alpha$ ) сурьмы из механоактивированного концентрата при одинаковой температуре обработки в зависимости от влияния следующих факторов: соотношения массы концентрата ( $M_{\kappa}$ ) к массе шаров ( $M_{\mu}$ ), обозначенное  $M_{\kappa}$ : $M_{\mu}$ , времени обработки ( $\tau_a$ , мин).

По завершению процесса механоактивации обработанный сульфидно-сурьмяный концентрат разгружается в сито с размерами отверстия r < 74мкм. Прошедшая через сито фракция концентрата растворяется в 25 мас% водном растворе NaOH в течение трёх часов при температуре T=90°C и соотношении массы концентрата  $(M_{\kappa})$  к массе раствора  $(M_p)$ , равном  $M_{\kappa}:M_p=1:6$ . Содержание сурьмы в растворе определено атомно-абсорбционным методом.

Зависимость ( $\alpha$ ) от количества концентрата рассчитана по результатам химического анализа содержания сурьмы в растворе. Зависимость ( $\alpha$ ) от количества концентрата ( $M_{\kappa}$ ) и времени механоактивации ( $\tau_a$ , мин) имеет сложный характер (рисунок 2). Из рисунка 2 видно, что при малых временных отрезках (кривые I и II) механоактивации концентрата максимально допустимое значение  $\alpha$ =(10-12)% достигается при значениях  $M_{\kappa}$ =20 г и, возможно, процесс извлечения сурьмы протекает во внешней диффузионой области частиц. При механоактивации этого же количества концентрата в течение более трёх минут (кривые IV и V) наблюдается резкое повышение степени извлечения сурьмы ( $\alpha$ =22% и более), что связано с протеканием процесса не только во внешней, но также и во внутренной диффузионой области частиц.

По завершении процесса механоактивации активированный сульфидно-сурьмяный концентрат подвергается процессу хлорирования разными хлорирующими реагентами.



**Рисунок 2.** - Зависимость степени извлечений ( $\alpha$ ) сурьмы от количества концентрата (Мк) при времени ( $\tau_a$ , мин) механоактивации: I - 0.5; II - 1.5; III - 2.5; IV - 3.5; V - 4.5

# Процесс хлорирующего обжига механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата хлоридом натрия

Процесс пирометаллургии, применяемый для переработки сульфидных полезных ископаемых на территории Республики Таджикистан, требует существенной модификации с точки зрения эффективности, экологии и энергосбережения. Одним из самых затратных этапов переработки концентрата при извлечении металлов является перевод их в растворимые состояния. Сурьмяные руды и концентрат находятся, в основном, в сульфидной форме. Поэтому необходимо провести ряд химических реакций для перевода их в растворимую форму. В этом аспекте процесс хлорирующего обжига является эффективным для переработки сульфидно-сурьмяных руд Джижкрутского месторождения, с учётом наличия огромного запаса хлорида натрия и относительно дешёвого источника электрической энергии.

При пирометаллургическом способе переработки концентрата широко применяется хлорирующий обжиг, как рациональный метод, позволяющий проводить процесс при относительно оптимальных условиях и достичь повышения выхода конечного продукта. Исследователями проведено изучение кинетических особенностей процесса хлорирующего обжига халькопирита хлоридом калия. Эффективность хлорирующего обжига резко возрастает при предварительной механической активации поликомпонентых концентратов, характерных для природных полезных ископаемых Республики Таджикистан.

#### Термодинамический анализ процесса обжига механически активированного сульфидносурьмяного концентрата хлоридами натрия и кальция

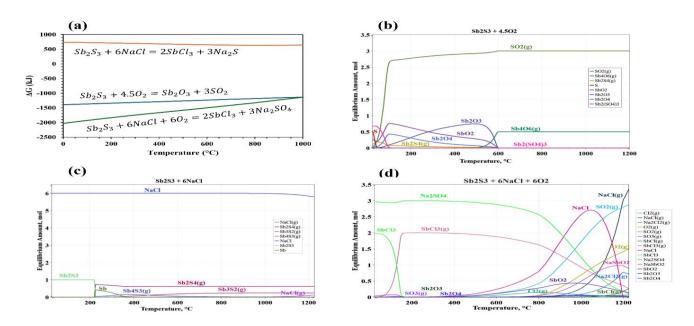
Для научно обоснованного подхода к разработке любого химико-технологического процесса необходимо проводить термодинамический анализ химических основ возможных реакций в исследуемой системе. Такой анализ позволяет оценить наиболее вероятные процессы, определить оптимальные условии их протекания и имеет важное значение для комплексной переработки сурьмянистых концентратов, которые являются объектами наших исследований - сульфидно-сурьмяные концентраты месторождения Джижикрут.

В литературе приведены результаты термодинамической оценки ряда сульфидных руд цветных металлов. Показаны возможности переработки сульфидных руд цветных металлов хлорирующим обжигом хлоридом натрия на воздухе. Сульфиды металлов превращаются в хлориды, которые можно отделить от другой части породы. При температуре 827°С (1100 К) хлориды находятся в газообразном состоянии, которые легко удаляются и конденсируются на холодной поверхности. Конденсированные хлориды можно выщелачивать для извлечения из пустой породы. Сера улавливается в виде Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и, таким образом, эмиссия SO<sub>2</sub> сводится к минимуму.

Основную реакцию обжига антимонита можно написать в виде уравнения 3 (таблица 1), в котором сульфид сурьмы окисляется до  $Sb_2O_3$  в присутствии кислорода и образует диоксид серы, который требует специальной обработки газа во избежание выбросов  $SO_2$  в атмосферу. Возможным способом предотвращения выбросов  $SO_2$  является преобразование серы в твердое соединение. Процесс хлорирования — широко известный процесс в добывающей металлургии для получения солей хлоридов металлов. Хлорид натрия, как недорогое и распространенное соединение может служить источником хлора для этой цели. Реакцию хлорирования можно проводить в присутствии воздуха, что может привести к образованию сульфата натрия вместо сульфида натрия (уравнение 1).

На рисунке За показано изменение свободной энергии Гиббса в зависимости от температуры для указанных реакций таблицы 1. Как видно, реакция хлорирования в отсутствии кислорода невозможна во всем диапазоне температур из-за положительных значений свободной энергии Гиббса. С другой стороны, вторая реакция хлорирующего обжига (уравнение 1) является вполне осуществимой реакцией, которая, как ожидается, будет протекать даже лучше, чем реакция обжига (уравнение 3), особенно при более низких температурах (рисунок 3а).

Равновесный состав реакции  $Sb_2O_3$  в присутствии 4,5 моль кислорода (уравнение 3) был рассчитан при различных температурах на основе минимизации свободной энергии Гиббса для изотермических, изобарических условий и условий фиксированной массы (рисунок 3b). Как и ожидалось, большая часть серы окисляется до  $SO_2$ . Согласно графику, почти 90% серы окисляется с резким наклоном ниже  $100^{\circ}$ С, а в остальных 10% окисление происходит до  $600^{\circ}$ С, медленно. Термодинамический прогноз показывает образование трех возможных оксидов сурьмы -  $Sb_2O_4$ ,  $SbO_2$  и  $Sb_2O_3$  с различными тенденциями в этом диапазоне температур. На рисунке 3b видно, что образование этих трех оксидов подавляется при повышении температуры до  $600^{\circ}$ С, после чего происходит образование летучего  $Sb_4O_6$ , начиная примерно с  $510^{\circ}$ С.



**Рисунок 3.** - Изменение свободной энергии Гиббса в зависимости от температуры для реакций обжига и хлорирования в воздушной среде (а); влияние температуры на равновесный состав реакции обжига антимонита (b); влияние температуры на равновесный состав хлорирования антимонита в присутствии NaCl (c); влияние температуры на равновесный состав при обжиге хлорирования антимонита в воздушной среде (d)

На рисунке 3с показан равновесный состав возможной реакции между  $Sb_2S_3$  и 6 молями NaCl. Как видно, антимонит не реагирует с хлоридом натрия во всем диапазоне температур. Судя по графику, значительное испарение NaCl начинается примерно при  $1040^{\circ}$ С, однако реакция с антимонитом не наблюдается даже в газообразном состоянии, что соответствует рисунку 3а. Расчеты термодинамического равновесия показывают термическую стабильность антимонита до  $220^{\circ}$ С и теоретическую возможность диссоциации  $Sb_2S_3$  до металлических Sb,  $Sb_2S_4$  и  $Sb_4S_3$  в отсутствие кислорода в интервале температур  $220\text{-}360^{\circ}$ С (рисунок 3c). Следует

отметить, что все сульфиды сурьмы, образующиеся после диссоциации, существуют в газообразном состоянии.

На рисунке 3d показан равновесный состав возможных продуктов реакций между Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, 6 молями NaCl и 6 молями O<sub>2</sub> по уравнению 1 (таблица 1). Как видно, возможная реакция между этими веществами соответствует прогнозу уравнения 1 с теми же продуктами, примерно до 400°С. Из рисунка 3d видно, что испарение хлорида сурьмы начинается примерно при 50°С, а SbCl<sub>3</sub> может быть полностью восстановлен в газовой фазе при температуре выше 160°С. При повышении температуры выше 400°С реакция смещается по альтернативному пути, что приводит к уменьшению образования SbCl<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и увеличению образования других продуктов, таких как SO<sub>2</sub>, SbO<sub>2</sub> и Cl<sub>2</sub>. Таким образом, теоретически целесообразно поддерживать температуру реакции как можно ближе к 400°С для достижения высокой скорости конверсии, что дает выгоду как с термодинамической, так и с кинетической точки зрения (рисунок 3d).

**Материалы и методы расчёта.** Относительно объектов настоящей диссертационной работы нами проведён термодинамический анализ процесса хлорирующего обжига сульфидов сурьмы хлоридами натрия и кальция, также другие сопутствующие реакции, протекающие по уравнениям, которые приведены в таблице 1. Для расчета термодинамических характеристик процессов использовались справочные стандартные значения компонентов, участвующих в реакциях.

Полученные термодинамические характеристики основных процессов при хлорирующем обжиге сульфидно-сурьмяного концентрата хлоридами натрия и кальция приведены в таблице 1. С целью возможности проведения сравнительного анализа термодинамических характеристик процессов данные пересчитаны для одного моля восстановленного реагента.

**Таблица 1.** – Термодинамические характеристики процессов хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяного концентрата ( $\Delta H^0$  и  $\Delta G^0$  в кДж/моль;  $\Delta S^o$  и  $\Delta c_p^o$  в Дж/моль K)

| Уравнение процесса  | $-\Delta H^0$ | -ΔS°   | $-\Delta c_p^{\ o}$ | $-\Delta G^0$ |
|---|---------------|--------|---------------------|---------------|
| $1.Sb_2S_{3(\mathtt{T})} + 6NaCl_{(\mathtt{T})} + 6O_{2(\mathtt{g})} = 3Na_2SO_{4(\mathtt{T})} + 2SbCl_{3(\mathtt{T})}$ | 2300,7        | 1028,5 | 2,3                 | 1994,7        |
| $2.Sb_2S_{3(\mathtt{T})} + 6NaCl_{(\mathtt{T})} + 6O_{2(\mathtt{g})} = 3Na_2SO_{4(\mathtt{T})} + 2SbCl_{3(\mathtt{g})}$ | 2164,1        | 720,7  | ı                   | 1949,6        |
| $3. \ 2Sb_2S_{3(T)} + 9O_{2(g)} = 2Sb_2O_{3(T)} + 6SO_{2(g)}$   | 1441,8        | 219,4  | 24,1                | 1376,4        |
| $4.Sb_2S_{3(T)} + 5O_{2(g)} = Sb_2O_{4(T)} + 3SO_{2(g)}$  | 1640,7        | 335,8  | 35.9                | 1540,5        |
| $5.\ 2NaCl_{(\texttt{T})} + SO_{2(g)} + O_{2(g)} = Na_2SO_{4(\texttt{T})} + Cl_{2(g)}$                                  | 133,9         | 112,4  | 4,1                 | 100,4         |
| 6. $2Sb_2O_{3(T)} + 6Cl_{2(g)} = 4SbCl_{3(T)} + 3O_{2(g)}$  | 55,2          | 134,4  | 43,4                | 15,15         |
| $7.2Sb_2O_{3(t)} + 6Cl_{2(g)} = 4SbCl_{3(r)} + 3O_{2(g)}$   | -81,2         | -173,4 | ı                   | -29,5         |
| $8.Sb_2S_{3(T)} + 3CaCl_{2(T)} + 6O_{2(g)} = 3CaSO_{4(T)} + 2SbCl_{3(T)}$   | 2523,9        | 1050,7 | 3,5                 | 2211,0        |
| 9. $Sb_2S_{3(T)}+3CaCl_{2(T)}+6O_{2(g)}=3CaSO_{4(T)}+2SbCl_{3(\Gamma)}$   | 2387,5        | 742,6  | ı                   | 2166,2        |
| $10.6Sb_2S_{3(\mathtt{T})} + 18CaCl_{2(\mathtt{T})} + 39O_{2(\mathtt{g})} = 18CaSO_{4(\mathtt{T})} +$                   | 2563,3        | 1111,8 | _                   | 2232,0        |
| $6SbCl_{5(T)} + 2SbCl_{3(T)} + 2Sb_2O_{3(T)}$   | 2303,3        | 1111,0 | _                   | 2232,0        |
| $11.6Sb_2S_{3(T)}+18CaCl_{2(T)}+39O_{2(g)}=18CaSO_{4(T)}+$  | 2540,8        | 1060,5 | _                   | 2224,8        |
| $6SbCl_{5(T)} + 2SbCl_{3(\Gamma)} + 2Sb_2O_{3(T)}$  | 23 10,0       | 1000,5 |                     | 2221,0        |
| 12. $6Sb_2S_{3(T)}+18CaCl_{2(T)}+39O_{2(g)}=18CaSO_{4(T)}+$   | 2517,3        | 1010,8 | _                   | 2262,1        |
| $6SbCl_{5(r)} + 2SbCl_{3(r)} + 2Sb_2O_{3(r)}$   | 2317,3        | 1010,0 |                     | 2202,1        |
| 13. $6Sb_2S_{3(T)}+18CaCl_{2(T)}+39O_{2(g)}=18CaSO_{4(T)}+$   | 2494,5        | 926,2  | _                   | 2211,5        |
| $6SbCl_{5(r)} + 2SbCl_{3(r)} + 2Sb_2O_{3(r)}$   | 2777,3        | 720,2  |                     | 2211,3        |
| 14. $CaCl_{2(T)} + SO_{2(g)} + O_{2(g)} = CaSO_{4(T)} + Cl_{2(g)}$  | 342,3         | 232,2  | 8,6                 | 273,1         |

Анализ полученных сведений по термодинамическим характеристикам реакций, протекающих при хлорирующем обжиге сурьмяного концентрата, показывает: высокую термодинамическую вероятность и экзотермичность рассмотренных процессов, за исключением процесса 7, который является эндотермичным; наблюдается доминирование энтальпийного фактора, как движущей силы процесса, практически во всём изученном температурном интервале; малые значения энергии Гиббса процессов 6 и 7 сопоставимы влиянием энтальпийного и энтропийного факторов в протекании процессов при стандартных условиях; сравнительный анализ термодинамических характеристик реакций хлорирующих агентов указывает на сравнительно большую эффективности применения хлорида кальция по сравнению с хлоридом натрия.

#### Определение продуктов взаимодействия механически активированного сульфидносурьмяного концентрата с хлоридом натрия

Шихтаподготовка. Предварительно измельчённое исходное сырьё - хлорид натрия (марки ХЧ, ГОСТ 4233-77) пропускается через сито размером 0,0025 мкм. В специальной емкости с перемешивающим устройством перемешиваем смесь определённой массы механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата и хлорида натрия в течение 2,5 минут. Полученная шихта направляется на обжиг. Хлорирующий обжиг шихты проведён в двух режимах: - в муфельной печи без подачи воздуха; - в режиме окислительно-хлорирующего обжига в трубчатой печи с подачей воздуха.

Хлорирующий обжиг шихты без подачи воздуха произведен следующим образом. Смесь механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата с хлоридом натрия, равномерно размещённая в керамическую лодочку, помещена в муфельную печь марки (СНОЛ) ПЛ 5/12,5, позволяющей достичь температуры до 1400°С.

Для определения оптимального состава шихты и условий процесса хлорирующего обжига проведены серии экспериментов. Опыты проведены при следующих условиях:

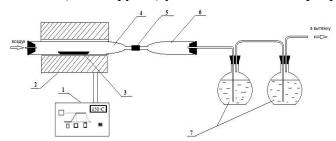
- при разных температурах обжига образца в интервале  $T=300\div700^{\circ}\mathrm{C}$  (с шагом варьирования  $\Delta T=50^{\circ}\mathrm{C}$ ) и постоянстве соотношения массы концентрата  $(m_1, \, \Gamma)$  и хлорида натрия  $(m_2, \, \Gamma)$ , равное  $m_1/m_2=4/1$  и одинаковом времени  $(\tau=120 \, \mathrm{мин})$  выдержки;
- при одинаковой температуре ( $T=450^{\circ}$ C) и постоянстве соотношения компонентов смеси ( $m_1/m_2=4/1$ ), но с разным временем выдержки обжига образца ( $\tau$ , в минутах) от 30 до 210 мин, с шагом  $\Delta \tau = 30$  мин;
- при разных соотношениях компонентов смеси  $(m_1/m_2)$  и постоянстве температуры  $(T=450^{\circ}\mathrm{C})$  и времени выдержки  $(\tau=120$  мин).

Фазовый состав конденсированного продукта хлорирующего обжига концентрата установлен методом рентгенофазового анализа (Дрон-3.0 Сu-анод; Ni-фильтр) и состоит в основном из SbCl<sub>3</sub> - 49,55% и Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - 25%., которые легко перерабатываются и технологически выгодные. Определён следующий оптимальный режим обжига концентрата:  $T=450^{\circ}$ C,  $\tau=120$  мин постоянстве соотношения компонентов смеси ( $m_1/m_2=4/1$ ), позволяющий достичь максимальный переход из сульфидно-сурьмяной в хлоридно-сурьмянную форму.

Для определения химической основы процессов, протекающих в газовой фазе системы, окислительно-хлорирующий обжиг сульфидно-сурьмяного концентрата проведён на установке, изображённой на рисунке 4. Процесс обжига проведён в трубчатой печи марки Nabertherm RT

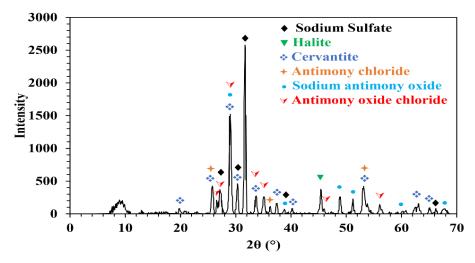
50-250/11/B410, со штативом для горизонтального и вертикального режима, работающей при температурах до 1100°C.

Обжиг концентрата проведён при оптимальных условиях, установленных в режиме без подачи воздуха. По достижению определённых условий в систему подаётся воздух с определенной скоростью, равной 1 л/час. Наблюдается выделение соединений сурьмы в виде возгона, которые осаждаются на холодную часть трубки конденсатора. Конденсат, образующийся в виде золотистых кристаллов, при остывании приобретает темно-зеленый цвет. Газообразные продукты обжига (SO<sub>2</sub> и другие) улавливаются в абсорберах.



**Рисунок 4.** - Схема экспериментальной установки для окислительно-хлорирующего обжига: 1 - блок управления печи; 2 - поворотная трубчатая печь; 3 - лоточек с шихтой; 4 - реактор для обжига; 5 - соединительное устройство; 6 - пылеулавливающая камера (конденсатор); 7 – абсорбер

По результатам  $P\Phi A$ , основными продуктами возгонки, которые осаждаются на холодную поверхность конденсатора, являются соединения сурьмы в виде хлорида (SbCl<sub>3</sub> - 49,55%), оксида (сервантит Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - 25%), оксохлоридов (Sb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>Cl), смеси оксидов сурьмы (Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NaSb<sub>5</sub>O<sub>13</sub>) и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Золотистые кристаллы конденсата при остывании становятся темнозелёными (рисунок 5).



**Рисунок 5.** - Пиктограмма обожжённого концентрата сульфида сурьмы с хлоридом натрия

Изучено влияние основных факторов: температуры, времени выдержки обжига и соотношения массы хлорирующего реагента - хлорида натрия к массе концентрата на скорость процесса окислительно-хлорирующего обжига предварительно механически активированного

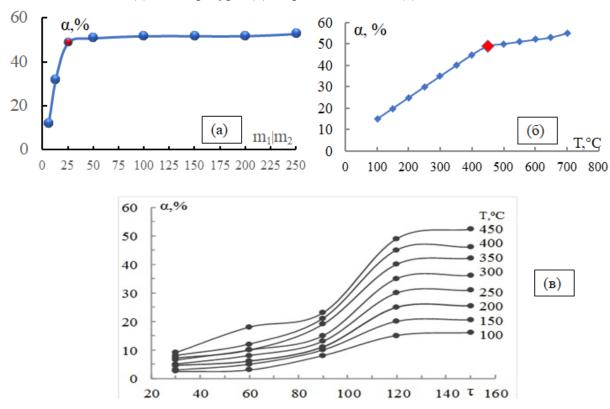
сульфидно-сурьмяного концентрата хлоридом натрия. Исследование влияния отдельного фактора из вышеуказанных, при постоянстве других, на процесс хлорирующего обжига, на степень извлечения соединений сурьмы проведено с участием кислорода воздуха.

В таблице 2 приведены результаты исследования зависимости степени образования и извлечения соединений сурьмы от состава шихты при хлорирующем обжиге сурьмяного концентрата.

**Таблица 2.** -Зависимость степени образования хлорида сурьмы  $(\alpha, \%)$  от температуры при неизменности состава шихты  $(m_1/m_2=4/1)$  и времени  $(\tau=120$  мин)

| № | T, °C | α, % | No | T, °C | α, % | No | T, °C | α, % | No | T, °C | α, % |
|---|-------|------|----|-------|------|----|-------|------|----|-------|------|
| 1 | 100   | 14,9 | 4  | 250   | 29,4 | 7  | 400   | 44,9 | 7  | 550   | 50,9 |
| 2 | 150   | 20,1 | 5  | 300   | 33,7 | 8  | 450   | 49,5 | 8  | 600   | 51,0 |
| 3 | 200   | 25,4 | 6  | 350   | 35,1 | 9  | 500   | 50,0 | 9  | 650   | 52,1 |

На рисунке 6 приведены графики зависимости степени образования хлорида сурьмы (α, %) от состава шихты (а), температуры (б) и времени обжига (в).



**Рисунок 6.** - График зависимости образования SbCl<sub>3</sub> от состава шихты (а), температуры (б) и времени обжига (в)

Зависимость образования хлорида сурьмы ( $\alpha$ , %) при обжиге концентрата показывает, что оптимальным составом шихты является соотношение  $m_1/m_2$ =4/1 (рисунок ба). До температуры 450°C (рисунок бб) наблюдается рост образования хлорида сурьмы ( $\alpha$ =49%), который замедляется при более высоких температурах. Возможно, что при 450°C начинаются процессы спекания концентрата и окисления сернистых соединений. График зависимости ( $\alpha$ , %) от

времени выдержки обжига шихты (рисунок 6в) состоит из трёх периодов — начального, главного и конечного. Начальный период (до 90 минут времени выдержки обжига шихты) сопровождается слабым ростом извлечения хлорида сурьмы в пределах  $\Delta\alpha$ =10%. Главный период сопровождается значительным выходом продукта ( $\Delta\alpha$ =30%) и достигается в течение 90-120 минут. Наблюдается, что с повышением температуры обжига начальный период процесса сопровождается расширением и значительным ростом главного периода, также увеличением степени выхода основного продукта - хлорида сурьмы.

Эксперименты показывают, что наиболее оптимальными условиями проведения процесса обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия, позволяющими достичь максимальной степени извлечения сурьмы, являются: шихта состава (4/1), которую необходимо нагреть до температуры 450°С в течение 120 минут.

РФА продуктов обжига — огарков и конденсата, химический анализ газообразных веществ, полученных при оптимальных условиях, позволили составить материальный баланс процесса обжига концентратов. Результаты опытов по определению содержания сурьмы и серы в продуктах обжига приведены в таблице 3. Для расчета материального баланса взята проба, наиболее подходящая из всех исследуемых проб.

Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Sb<sub>4</sub>O<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub> Na<sub>2</sub>Sb<sub>4</sub>O<sub>7</sub> Общее содержание сурьмы после обжига 20,54(a) 26,31(a) 4.0(a) 8,3(a)59,16 (a) 40,85 (6) 100 Содержание соединений сурьмы (в) и серы (г) в продуктах окислительно-хлорирующего обжига сера в огарке (г), % от в огарке (в) в конденсате (в) исходного

40,25

0.6

Таблица 3. – Содержание сурьмы по соединениям (мас%) в огарке (а) и газовой фазе(б)

# Процесс хлорирующего обжига механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата хлоридом кальция

20,54

26.31

4,0

8.3

Многочисленными исследованиями показано, что процесс переработки минеральных руд и извлечения ряда металлов - сурьмы, молибдена, меди и никеля можно проводить методом хлорирующего обжига хлоридами натрия и калия. Указано, что процесс хлорирования протекает при относительно низких температурах T=450-500°C с переходом серосодержащих соединений в оксидную и хлоридную формы.

Нами проведён цикл исследований по поиску оптимальных условий переработки сульфидно-сурьмяных концентратов ТА ООО «СП «Анзоб» месторождения Джиджрут методом хлорирующего обжига хлоридом кальция (марки XЧ ГОСТ 4234-77).

Исследование проведено по аналогии с хлоридом натрия. Шихта общей массой 6 г изготовлена смешиванием определённого количества концентрата и хлорида кальция при заданных соотношениях. Исследовано влияние трёх основных факторов: температуры, времени и состава шихты (соотношения массы концентрата и реагента), проведенных следующим образом:

- (а) при разных температурах обжига образца в интервале  $T=250\div600^{\circ}\mathrm{C}$  (с шагом варьирования  $\Delta T=50^{\circ}\mathrm{C}$ ). Соотношение массы концентрата ( $m_1$ , r) к массе хлорида кальция ( $m_2$ , r), равное  $m_1/m_2=4/2$  и времени выдержки шихты, равное  $\tau=120$  мин) оставались неизменными;
- (б) при изменении времени выдержки обжига образца (от 30 до 240 мин, с шагом  $\Delta \tau$ =30 мин) и неизменности температуры (T=450°C), а также постоянстве соотношений компонентов шихты ( $m_1/m_2$ =4/2);
- (в) при разных соотношениях компонентов шихты  $(m_1/m_2)$  и постоянстве температуры  $(T=450^{\circ}C)$  и времени выдержки  $(\tau=120$  мин).

Условия проведения процесса хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяного концентрата хлоридом кальция приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** – Условия проведения хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяного концентрата:  $m_1$  - масса концентрата,  $m_2$  - масса хлорида кальция (масса в граммах)

|      | 1         | (a)    | . 1   | (6) |           |        |       |     | (B)       |        |       |  |  |
|------|-----------|--------|-------|-----|-----------|--------|-------|-----|-----------|--------|-------|--|--|
| No   | $m_1+m_2$ | τ, мин | T, °C | №   | $m_1+m_2$ | τ, мин | T, °C | №   | $m_1+m_2$ | τ, мин | T, °C |  |  |
| 1.1  | 4 +2      | 120    | 200   | 2.1 | 4 +2      | 30     | 450   | 3.1 | 4 +0,25   | 120    | 450   |  |  |
| 1.2  | 4 +2      | 120    | 250   | 2.2 | 4 +2      | 60     | 450   | 3.2 | 4 +0,5    | 120    | 450   |  |  |
| 1.3  | 4 +2      | 120    | 300   | 2.3 | 4 +2      | 90     | 450   | 3.3 | 4 + 1     | 120    | 450   |  |  |
| 1.4  | 4 +2      | 120    | 350   | 2.4 | 4 +2      | 120    | 450   | 3.4 | 4+1,5     | 120    | 450   |  |  |
| 1.5  | 4 +2      | 120    | 400   | 2.5 | 4 +2      | 150    | 450   | 3.5 | 4 +2      | 120    | 450   |  |  |
| 1.6  | 4 +2      | 120    | 450   | 2.6 | 4 +2      | 180    | 450   | 3.6 | 4 +4      | 120    | 450   |  |  |
| 1.7  | 4 +2      | 120    | 500   | 2.7 | 4 +2      | 210    | 450   | 3.7 | 4 + 6     | 120    | 450   |  |  |
| 1.8  | 4 +2      | 120    | 550   | 2.8 | 4 +2      | 240    | 450   | 3.8 | 4 +8      | 120    | 450   |  |  |
| 1.9  | 4 +2      | 120    | 600   |     |           |        |       |     |           |        |       |  |  |
| 1.10 | 4 +2      | 120    | 650   |     |           |        |       |     |           |        |       |  |  |

Состав продуктов хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом кальция после каждой серии опытов определён методом РФА (рисунок 7). Результаты анализа показали, что основными продуктами хлорирующего обжига концентрата хлоридом кальция являются хлориды в виде  $SbCl_3$ ,  $SbCl_5$ , оксид сурьмы  $Sb_2O_4$  и  $CaSO_4$ . Хлорид сурьмы  $SbCl_5$  образуется по уравнениям 9-12 (таблица 1).

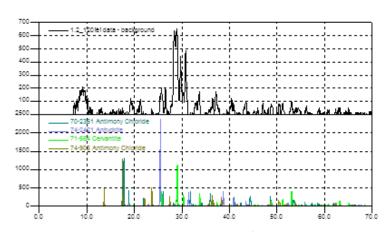
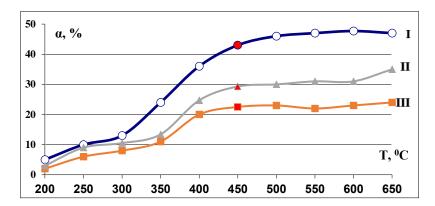


Рисунок 7. - Пиктограмма после хлорирующего обжига концентрата с хлоридом кальция

Результаты исследования процесса в зависимости от температуры (таблица 5) позволили установить график изменения степени извлечения хлоридов  $SbCl_3$ ,  $SbCl_5$  и оксида ( $Sb_2O_4$ ) сурьмы (рисунок 8). При повышении температуры от 200 до 300°C начинаются процессы образования и незначительное выделение соединений сурьмы. В интервале 300-450°C наблюдается резкий рост выделения соединений сурьмы, который замедляется при более высоких температурах.

**Таблица 5** – Зависимость степени ( $\alpha$ , %) образования SbCl<sub>3</sub>, SbCl<sub>5</sub> и Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> от температуры при неизменности состава шихты и времени

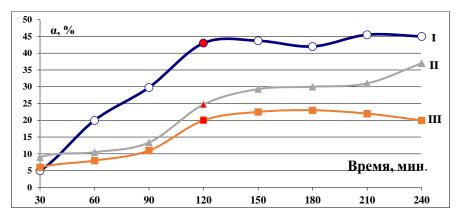
| No | T, °C | α, SbCl <sub>3</sub> | α, Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | α, SbCl <sub>5</sub> | №  | T, °C | α, SbCl <sub>3</sub> | α, Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | α, SbCl <sub>5</sub> |
|----|-------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----|-------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1  | 200   | 5,2                  | 3,0                               | 2,1                  | 6  | 450   | 43,2                 | 28,3                              | 22,5                 |
| 2  | 250   | 10,1                 | 8,9                               | 6,0                  | 7  | 500   | 45,9                 | 30,1                              | 23,1                 |
| 3  | 300   | 13,0                 | 10,5                              | 8,1                  | 8  | 550   | 46,8                 | 31,1                              | 22,0                 |
| 4. | 350   | 24,2                 | 13,4                              | 11,0                 | 9  | 600   | 47,7                 | 31,0                              | 23,0                 |
| 5  | 400   | 37,9                 | 24,7                              | 20,1                 | 10 | 650   | 47,0                 | 34,9                              | 23,9                 |



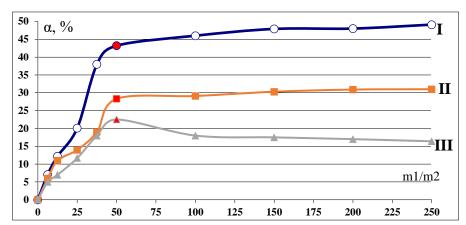
**Рисунок 8.** – Графики зависимости образования: I - SbCl<sub>3</sub>; II - Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; III - SbCl<sub>5</sub> от температуры обжига концентрата, при одинаковом времени выдержки и составе шихты

График зависимости  $\alpha$  (%) от времени выдержки обжига шихты (рисунок 9) показывает, что процесс извлечения сурьмы в виде SbCl<sub>5</sub> и Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> из активированного концентрата во времени состоит из трёх периодов – начального, главного и конечного. Начальный период, который охватывает период 90 минут времени выдержки обжига шихты сопровождается слабым ростом извлечения соединений сурьмы в пределах  $\alpha$ =(10-12)%. Главный период сопровождается значительным выходом продуктов  $\alpha$ =(20-25)% достигается в течение 90-120 минут. Процесс извлечения сурьмы в виде SbCl<sub>3</sub> состоит из двух периодов – главного и конечного. Начальный период, возможно, имеет место в течение первых 30 минут. При дальнейшем увеличении времени выдержки обжига процесс извлечения соединений сурьмы замедляется.

График зависимости образования соединений сурьмы ( $\alpha$ , %) от состава шихты в условиях неизменности температуры (T=450°C) и времени выдержки шихты ( $\tau$ =120 мин) (рисунок 10) показывает, что наиболее оптимальным составом шихты является  $m_1/m_2$ =2/1, где  $m_1$  - масса концентрата,  $m_2$  - масса хлорида кальция.



**Рисунок 9.** - График зависимости образования соединений: I -  $SbCl_3$ ; II -  $Sb_2O_4$ ; III -  $SbCl_5$  от времени обжига концентрата при одинаковой температуре выдержки и составе шихты



**Рисунок 10.** - Графики зависимости образования соединений: I - SbCl<sub>3</sub>; II - Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; III - SbCl<sub>5</sub> от состава шихты  $(m_1/m_2)$  при постоянстве температуры и времени выдержки обжига концентрата

Эксперименты показывают, что наиболее оптимальными условиями проведения процесса обжига механически активированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом кальция, позволяющими достичь максимальной степени извлечения сурьмы, являются: состав шихты  $(m_1/m_2=2/1, \ где \ m_1 - \ масса \ концентрата, \ m_2 - \ масса \ хлорида \ кальция), которую необходимо нагреть до температуры <math>450^{\circ}$ С в течение 120 минут.

При гидрометаллургической переработке продуктов хлорирующего обжига сульфидносурьмяных концентратов хлоридные соединений сурьмы, которые составляют основную часть продукта, хорошо растворяются в воде. Оксидные соединения сурьмы, которые составляют менее 30%, легко растворяются в растворах серной кислоты.

В **четвёртой главе** приведены результаты сернокислотного выщелачивания огарков, содержащих сурьму, процесса электролиза раствора сульфата сурьмы (III).

Гидрометаллургический способ переработки сурьмяного огарка применяется для растворения сурьмы и перехода его соединений в раствор. С этой целью твёрдый продукт хлорирующего обжига концентрата растворяется в различных растворителях, в частности, в минеральных кислотах, до полного извлечения окисленных соединений сурьмы.

В последние годы в Китае и РФ проводятся интенсивные исследования по выщелачиванию сульфидов сурьмы раствором хлорида железа (III). Показано, что при хлорировании сурьмасодержащих минералов образуются оксохлориды сурьмы, которые не

растворимы в холодной воде и выпадают в осадок, но при кипячении переходят в раствор. Установлено, что хлорид сурьмы (III) хорошо растворяется в растворах минеральных кислот - соляной и серной.

#### Гидрометаллургический способ переработки сурьмасодержащих огарков

Для определения оптимальных условий гидрометаллургического способа переработки сурьмасодержащих огарков были проведены серии предварительных опытов. Предварительные опыты проведены при различных температурах в течение 120 минут. В качестве растворителя использованы слабые растворы серной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ГОСТ 2184-2013) и соляной (ГОСТ 2184-2013) кислот. Содержание кислот (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HCl) в растворах выбраны в соответствии с литературными данными и составляли 180 г/л. При смешивании продуктов переработки огарков с кислотой оксид сурьмы и частично оксиды других металлов полностью растворяются, расщепляются на ионы и переходят в раствор. Кремний, присутствующий в составе компаунда, полностью остается в кеке.

При большом количестве раствора кислоты и интенсивном перемешивании смеси хлоридного огарка происходит быстрая реакция с растворением мелких фракций. Растворение крупных фракций происходит при нагреве раствора. Нейтрализация раствора кислоты происходит благодаря большому избытку огарка хлорида сурьмы. При растворении обожжённого концентрата с хлоридом натрия образуется кислая пульпа с содержанием твердой фазы. Для очистки раствора пульпа подвергается разделению на жидкую и твердую фазу. Разделение пульпы производится двумя методами: сгущением (естественным отстаиванием) и фильтрацией

Сгущение пульпы происходит вследствие протекания сложных физико-химических процессов, внешне которые заключаются в осаждении твердых частиц в жидкой фазе. На процессы сгущения и отстаивания оказывают влияние различные факторы, среди которых основными являются: температура раствора, удельный вес раствора, количество кремнезёма и гидроксидов тяжелых металлов в растворе, рН раствора и др.

Полученный спёк выщелачивали в реакторе, который предварительно помещался в ультра-термостат UTU2/82. Смешивание осуществлялось с помощью мешалки Экрос ПЭ8100 с верхним перемешиванием. Смешивание жидкостей осуществляли с помощью лопастных мешалок во флаконах, стаканах, бутылках и других емкостях.

Мешалка оснащена блоком управления с цифровым тахометром, который обеспечивает заданную скорость вращения при колебаниях вязкости жидкости.

Когда в реакторе, заполненном растворителем, будет достигнута необходимая температура 80°С, в него насыпают измельченный спёк. С этого момента время выщелачивания было засчитано. В мешалке поддерживалась постоянная скорость вращения, равная 400-450 об/мин.

В конце процесса выщелачивания спёка через 120 минут проведённые химические и рентгенофазовые анализы показали, что в виде оксидов сурьмы образуется 25% соединений, а остальные соединения в растворе образуются в виде хлоридов.

Полученный кек растворяли в водном растворе соляной кислоты (ГОСТ 3118-77, х.ч.) и в дистиллированной воде при постоянном перемешивании магнитной мешалкой и подогревом.

Из приведенных экспериментальных данных (таблица 6) следует, что практически всю сурьму можно извлечь из огарка выщелачиванием минеральными кислотами. С практической

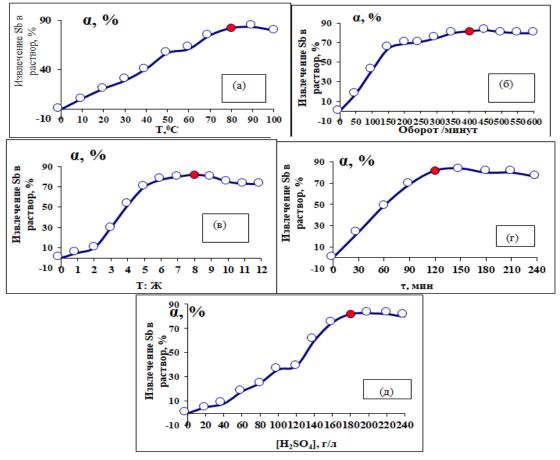
точки зрения (с целью экономии химических реагентов) интересен тот факт, что более 65% сурьмы выщелачивается из огарка водой.

**Таблица 6.** – Результаты выщелачивания огарка различными реагентами (время – 2 ч, температура –  $80^{\circ}$ C, Т:Ж = 1:8, состав электролита 180 г кислоты в 1 л электролита

|                                |                  | _           |               | _              |
|--------------------------------|------------------|-------------|---------------|----------------|
| Drywanawynawya                 | Извлечение Sb из | Выход кека, | Содержание Sb | Извлечение Sb, |
| Выщелачивание                  | огарка, %        | %           | в кеке, %     | %              |
| водой                          | 59,1%            | 5,1         | 51            | 69             |
| HCl                            | 59,1%            | 4,7         | 12,5          | 75             |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 59,1%            | 2,4         | 2,1           | 85             |

При дальнейших исследованиях в качестве растворителя использовали водный раствор серной кислоты. При реализации процесса учитывались пять основных факторов: температура (°С), скорость вращения мешалки (V, оборот/минуту), соотношение массы твёрдого и жидкого (Т:Ж), время (минут) и состав электролита. На рисунке 11 приведены графики зависимости степени извлечения и перехода сурьмы в раствор от отдельных факторов (при неизменности других).

Обобщая полученные результаты, можно утверждать, что наиболее оптимальными условиями извлечения и перехода сурьмы в раствор ( $\alpha$ =82%) являются: температура нагрева раствора 80°C, скорость вращения мешалки 400 об/мин, соотношение твердого вещества к жидкости 1:8, время 120 минут, содержание кислоты 180 г/л.



**Рисунок 11.** - Графики зависимости степени извлечения сурьмы ( $\alpha$ ) из огарка от температуры ( $\alpha$ ), скорости вращения мешалки ( $\alpha$ ) и соотношения твёрдого к жидкому реагенту (Т:Ж) ( $\alpha$ ), времени перемешивания ( $\alpha$ ) и концентрации кислоты ( $\alpha$ )

На основе проведенных опытов нами разработана принципиальная технологическая схема гидрометаллургического способа переработки обожжённых концентратов сурьмы, которая приведена на рисунке 12.



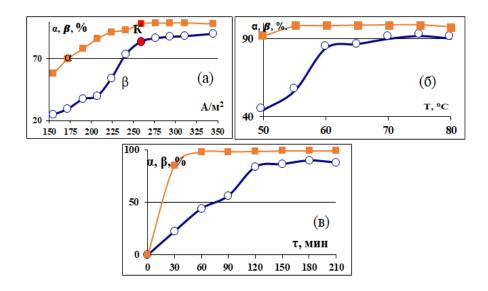
**Рисунок 12.** - Принципиальная технологическая схема гидрометаллургического способа переработки сурьмасодержащих огарков

#### Оптимизация параметров процесса электролиза сурьмы из сульфата сурьмы

В данном подразделе представлены результаты исследования процесса получения сурьмы из раствора сульфата сурьмы при электролизе, где исходная концентрация сурьмы в растворе составила 83,2%. Экспериментальные исследования были проведены на лабораторной электролизной установке ЭЗ-10 (6/600). Определены оптимальные электрические, временные и температурные параметры электролиза, соответствующие наиболее эффективному режиму выхода сурьмы, как по току, так и по другим параметрам. Дана оценка экономического эффекта по расходу электроэнергии.

Исходная концентрация электролита при ходе электролиза поддерживалась постоянной -  $\rho = 180 \text{ г/л}$ , температура при этом колебалась от 55 до 75°C. Графики зависимости выхода извлечения сурьмы по массе ( $\alpha$ ) и чистоте металла ( $\beta$ ) от катодной плотности тока ( $\alpha$ ), температуры ( $\alpha$ ), времени электролиза ( $\alpha$ ) приведены на рисунке 13.

Зависимость выхода сурьмы от плотности катодного тока весьма сильна на участке с плотностью тока от 224 до 259  $A/m^2$ , чему соответствует рост показателя выхода от 54,3% до 83,79%. Точка (К) является критической и определяет оптимальный режим электролиза с соответствующими оптимальными параметрами выхода по массе -  $\alpha_0 = 83,79\%$  и по показателю чистоты -  $\beta = 98,2\%$ , которому соответствует плотность тока  $J_K = 259 \, A/m^2$ , а показатель чистоты практически не меняется. Температура электролита не оказывает особого влияния на выход катодных продуктов, в частности, на выход сурьмы, если электролиз проводится при оптимальной плотности катодного тока. Её влияние на чистоту выхода сурьмы также не существенно при температурах свыше 60°C. Оптимальный выход сурьмы 83,70% получается при продолжительности  $\tau = 120$  мин.



**Рисунок 13.** - Влияние плотности катодного тока (а), температуры (б) и времени электролиза (в) на выход сурьмы: по массе - « $\alpha$ » и по чистоте « $\beta$ »

Результаты спектрального анализа сурьмы, полученного при оптимальных параметрах электролиза, приведены в таблице 7. Из таблицы 7 видно, что содержимое катодного осаждения содержит 98,53% сурьмы, что близко маркировке Cy2 (98,8%) по ГОСТ 1089-73, остальную часть составляют примеси: ванадий (0,81%), манганин (0,29%) и другие компоненты с концентрацией менее 0,1%.

Таблица 7. – Результаты спектрального анализа полученной сурьмы

|                   |                   |         |                       |           |            |           | Test       | Report    |           |          |         |         |           |
|-------------------|-------------------|---------|-----------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|---------|---------|-----------|
| Sampl             | e <b>Han</b> e    |         | Анализ к              | атодной   | сурьмы, п  | олученн   | ой в резу. | тьтате пр | оцесса эл | ектролиз | а       |         |           |
| TestTi            | TestTime(s) 50(s) |         |                       |           |            |           |            |           |           |          |         |         |           |
| Test              | TestDate          |         | 1/20/2023 11:24:00 AM |           |            | Karat:    |            | 0.0       |           |          |         |         |           |
| Element           | Antimony          | Vandium | Manganese             | Silver    | Molybdenum | Uranium   | Gold       | Mercury   | Thorium   | Rhodium  | Radium  | Lead    | Nickel    |
| Content           | 98.53(%)          | 0.81(%) | 0.29(%)               | 0.10(%)   | 0.10(%)    | 0.03(%)   | 0.03(%)    | 0.03(%)   | 0.03(%)   | 0.02(%)  | 0.02(%) | 0.01(%) | 0.00(%)   |
|                   | Copper            | Zinc    | Cadmium               | Chromium  | Tungsten   | Iron      | Germanium  | Arsenic   |           |          |         |         |           |
|                   | 0.00(%)           | 0.00(%) | 0.00(%)               | 0.00(%)   | 0.00(%)    | 0.00(%)   | 0.00(%)    | 0.00(%)   |           |          |         |         |           |
|                   | 139887            |         |                       |           |            |           |            |           |           | 1        |         |         |           |
|                   | 11190-            |         |                       |           |            |           |            |           |           | l        |         |         |           |
|                   | 8393-             |         |                       |           |            |           |            |           |           | 1        |         |         |           |
| Spectrum<br>Photo | 5595-             |         |                       |           |            |           |            |           |           | }        |         |         |           |
|                   | 2798-             |         |                       |           |            |           |            |           |           | 1        |         | Λ       |           |
|                   | 0                 |         | _M                    | e 11 05/h | 1000As     | a Th U 15 | 500 Mo     | 2030      | Ag Of     | 2500 Sb  |         | 3000    | 3500 4000 |

На основе полученных материалов разработана принципиальная технологическая схема, которая приведена на рисунке 14.

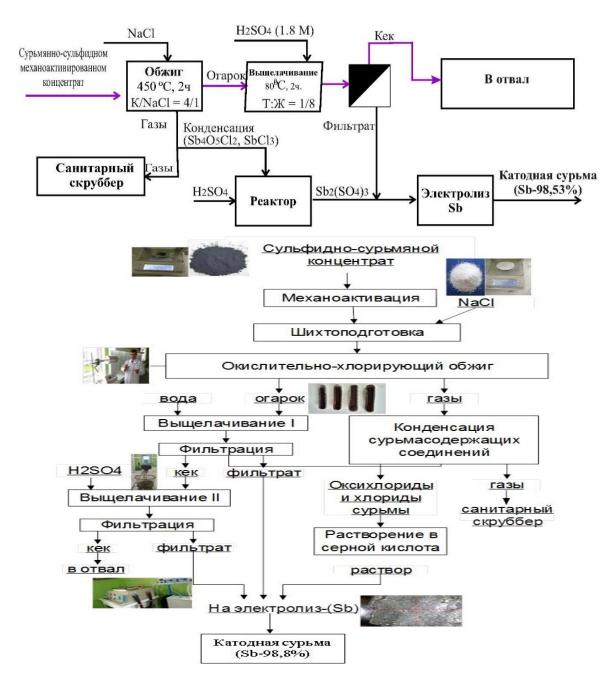


Рисунок 14. - Принципиальная технологическая схема получения сурьмы

#### ВЫВОДЫ

- **1.** Установлено, что при предварительной механической активации улучшается разложение сульфидно-сурьмяного концентрата и при определённых оптимальных условиях степень извлечения сурьмы увеличивается в два раза по сравнению с необработанным концентратом [2-A, 11-A, 14-A, 18-A, 35-A].
- 2. Определены оптимальные условия для процесса окислительно-хлорирующего обжига механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата при использовании реагентов хлоридов натрия и кальция, при которых достигаются более высокие степени разложения концентрата при низких температурах обжига (450°C) по сравнению с традиционным методом окисления концентратов при температурах 1100-1200°C. Совпадающие результаты опытов и

термодинамических расчётов показывают большую эффективность процесса хлорирования концентрата с хлоридом кальция [3-A, 4-A, 5-A, 6-A, 7-A, 10-A, 11-A, 14-A, 15-A, 19-A, 20-A, 26-A, 27-A, 29-A, 31-A, 33-A, 36-A].

- **3.** Определены оптимальные условия процесса сернокислотного выщелачивания продуктов хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяного концентрата. Максимальные извлечения и переход сурьмы в раствор ( $\alpha$ = 82%) были достигнуты при следующих условиях: температура нагрева раствора 80°C, частота вращения мешалки 400 об./мин, соотношение Т:Ж=1:8, время ( $\tau$ ) 120 мин, содержание в растворе  $H_2SO_4$  180 г/л [1-A, 9-A, 10-A, 22-A, 30-A, 37-A].
- **4.** Предложены технологические схемы процесса хлорирующего обжига сульфидных сурьмяных концентратов хлоридами натрия и кальция, и процесса сернокислотного выщелачивания продуктов хлорирующего обжига [10-A, 11-A, 30-A, 36-A].
- **5.** Определено, что оптимальными условиями проведения процесса электролиза 83,2% раствора сульфата сурьмы (Sb<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) являются:
  - плотность катодного тока  $I_K = 259 \text{ A/m}^2$ ;
  - выход сурьмы по массе α=83,79%;
  - выход сурьмы по степени чистоты  $\beta$ =98.2%;
  - температуры раствора в пределах 50-75°C;
  - продолжительность процесса (т=120 мин).

Чистота сурьмы после наших переработок составляет 98,53%. Данное значение по ГОСТ 1089-73 близко к маркировке Cy2 (Sb - 98,8%) [28-A, 34-A, 37-A].

#### Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные методы механической активации минеральных руд, хлорной переработки сурьмяных концентратов, сернокислотного их выщелачивания и электролиза могут быть использованы для комплексной переработки других поликомпонентных руд Таджикистана.

Результаты диссертации применены в ТА ООО СП «Анзоб», ГУП «Таджредмет» (имеются акты внедрения), и могут быть полезны Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, его подразделениям, проектным учреждениям и научным учреждениям НАН Таджикистана.

Полученные результаты работы могут быть использованы в технических вузах, в обучающем процессе технологических факультетов при подготовке специалистов по металлургическим, химическим, химико-технологическим и энергетическим профилям.

Получены три малых патента Республики Таджикистан.

#### Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

#### - статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А]. Кадиров, А. А. Особенности способов получения сурьмы / А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов**, Ш. И. Мирзоев, Б. Бадалов // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» (Земледелец) Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур. - 2020. - №3 (88). – С. 167-172.

[2-А]. Кадиров, А. А. Механическая активация сульфидно-сурьмяных концентратов / А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов,** А. Б. Бадалов // Доклады НАНТ. - 2021. - № 7-8. - С. 460-465.

- [3-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидных концентратов сурьмы хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кодиров, А. Б. Бадалов // Доклады НАНТ. 2021. № 9-10. С. 583-587.
- [4-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Оптимальные условия процесса хлорирующего обжига механоактивированных сульфидносурьмяных концентратов хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2022. № 1 (57). С. 49-55.
- [5-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Термодинамические характеристики процесса обжига механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата с хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, С. Б. Мирзажанова, Б. А. Бадалов // Композиционные материалы. 2023. № 1. С. 61-65.
- [6-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Эффективная технология переработки сульфидно-сурьмяного концентрата хлорирующим обжигом / Х. Ш. Рахимов, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов, З. А. Разыков // Горный вестник Узбекистана. 2023. № 1. С. 49-51.
- [7-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Переработка золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата / Х. Ш. Рахимов, Б. Б. Эшов, А. А. Кадиров А. Б. Бадалов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Екатеринбург. 2023. № 2. С. 43-51.
- [8-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Перспективы производства сурьмы из Таджикистана. / Х. Ш. Рахимов, М. Н. Бахтиёр, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Москва. 2023. № 3. С. 77-80.
- [9-А]. **Рахимов, Х.Ш.** Обоснованность эффективности гидрометаллургической переработки сурьма содержащих огарков / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов, З. А. Разыков // Горный вестник Узбекистана. 2023. № 2. С. 55-57.
- [10-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Разработка технологических процессов производства металлической сурьмы из сульфидного сурьмяного концентрата / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2023. № 2 (62). С. 72-80.
- [11-A]. **Rakhimov, Kh.Sh.** Mechanical Activation of Antimony Sulfide Concentrates Combined with Pyrometallurgical Chlorination / H. Sh. Rakhimov, C.G. Anderson, A. B. Badalov [et al.] // J. Miner. Sci. Materials 2023. № 4. P. 107135.

#### Публикации в материалах международных конференций:

- [12-А]. Кадиров, А. А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов систем лантаниды сурьма / А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов**, А. Б. Бадалов, Тсюан Тсзингжи // ГНУ «Центр исследований инновационных технологий» при НАНТ. Душанбе, 2020. С. 50.
- [13-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Анализ стратегических программ и перспектив производства сурьмы в Республике Таджикистан / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Промышленный форум «Устойчивые шаги для промышленного развития». Бустон, 2021. С. 63-65.
- [14-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Особенности процесса хлорирования механо-активированных сульфидно-сурьмяных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Роль Российско-Таджикского (Славянского) университета в становлении и развитии науки и инновационного образования в Республике Таджикистан. Душанбе, 2021. С. 35-39.
- [15-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой

- общенациональной цели индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия». Душанбе, 2021. С. 122-126.
- [16-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Дистилляционный обжиг сурьмяного рудного сырья и промпродуктов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Состояние и перспективы развития горнометаллургической промышленности Таджикистана». Бустон, 2022. С. 66-69.
- [17-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Традиционные технологические схемы переработки сурьмяного рудного сырья Джижикрутского месторождения / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Там же. С. 69-72.
- [18-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Способ переработки сульфидно-сурьмяных концентратов методом механической активации. Оптимальные режимы механоактивации сульфидно-сурьмяных концентратов обеспечивающие оптимальное вскрытие концентрата / Х. Ш. Рахимов // V Международное книжное издание "Лучший молодой учёный 2022". Астана, 2022. С. 12-17.
- [19-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Кинетика процесса окислительно-хлорирующего обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Использование природных ресурсов, экология и устойчивое развитие» в рамках Международного десятилетия действий "Вода для устойчивого развития 2018-2028 годы". Бустон, 2022. С. 125-128.
- [20-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Рациональный метод переработки сульфидно-сурьмяных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Инновационное развитие науки». Душанбе, НАНТ, Центр инновационных технологий, 2022. С. 46-49.
- [21-А]. Рахимзода, К. Б. Эффективная технология переработки сульфидных золотосодержащих сурьмяных концентратов ОАО "ТАЛКО-ГОЛД" (Таджикистан), с использованием отечественной импортозамещающей технологии / К. Б. Рахимзода, **Х. Ш. Рахимов**, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // "Перспективные научные исследования и их роль в построении инновационной модели". Омск, Международный институт перспективных исследований им. М.В. Ломоносова, 2023. С. 12-18.
- [22-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Разработка гидрометаллургического способа переработки сурьмяных огарков / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов, З. А. Разыков // «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых». Бустон, 2023. С. 38-40.
- [23-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Стратегия сурьмы и ее использование в современной технологии / Х. Ш. Рахимов // «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых». Бустон. 2023. С. 48-50.
- [24-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Технологические тенденции, новые приложения и металлургические стратегии извлечения сурьмы из антимонита / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Новые достижения в области естественных наук и информации» Российско-Таджикского (Славянского) университета. Душанбе, 2023. С. 143-146.
- [25-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Прогноз развития рынки сурьмы Таджикистан до 2025 г. / Х. Ш. Рахимов, М. Н. Бахтиёр, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты». Казань, КГЭУ, 2023. С. 207-212.
- [26-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Рациональный метод переработки сульфидно-сурьмяных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Новые достижения в области естественных наук и информатика». Душанбе, Российско-Таджикский (Славянский) университет, 2023. С. 115-117.

- [27-А]. **Рахимов, Х. III.** Термодинамическое обоснование процесса обжига сульфидносурьмяного концентрата хлоридами натрия и кальция / Х. III. Рахимов, С. Б. Мирзажанова, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты». Душанбе, 2023. С. 68-72.
- [28-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Электрохимический спосб получения сурьмы из сульфата сурьмы / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Развитие новых направлений в химии и химической технологии", посвящ. академику Х. Сафиеву. Душанбе, ТНУ, 2023. С. 163-165.
- [29-А]. Рахимов, Х. Ш. Термодинамический анализ процесса хлорерующого обжига сурьмяного концентрата хлоридом кальция / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // Там же. С. 105-108.
- [30-A]. **Rakhimov, Kh. Sh.** Development of technological processes for the production of metal antimony from antimony sulphide concentrate / Kh. Sh Rakhimov, A. A. Kadirov, A. B. Badalov, Z. A Razykov // «Research and application of low-carbon metallurgy and the search for new production methods using green energy». Central South University, Changsha, China, 2023. P. 176-181.
- [31-A]. **Rakhimov, Kh. Sh.** Thermodynamic characteristics of the ricing process of mechanoactivated antimony sulphide concentrate with sodium chloride / Kh. Sh. Rakhimov, S. B. Mirzazhanova, A. A. Kadirov, B. B. Eshov, A. B. Badalov // The Uzbekistan-Japan International Conference «Energy-Earth-Environment-Engineering». Uzbekistan Japan Innovation Centerof Youth, Tashkent, 2023. P. 47-48.

# Публикации в материалах республиканских научно-практических конференций:

- [32-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Флотационное обогащение сурьмяно-ртутных сульфидных руд «Анзобская фабрика» / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Интеграция геометрографических, точных и технических дисциплин в процессе подготовки инженеров". Бустон, 2023. С. 152-155.
- [33-А]. **Рахимов, Х. Ш.** Изучение кинетики процесса. Графико-эмпирическое выявление оптимальных режимов и условий процесса хлорирующего обжига сульфида сурьмы / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Организация технологических перевозок грузов в открытых горных месторождениях Республики Таджикистан». Бустон, 2022. С. 59-63.
- [34-А]. Кадиров А. К. Установка режима процесса электролиза сурьмы из сульфата сурьмы / А. К. Кадиров, А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов**, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // Эффективная металлургическая переработка, экология и устойчивое развитие». Бустон, 2023. С. 3-5.

#### Патенты и изобретения по теме диссертации:

- [35-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1109. Способ переработки сульфидных концентратов / **Х. Ш. Рахимов,** А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Опубл. 19.05.2021 г. 6 с.
- [36-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1206. Способ переработки механоактивированных сульфидных сурьмяных концентратов хлорирующим обжигом / **Х. III. Рахимов,** А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Опубл. 12.09.2021 г. 8 с.
- [37-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1423. Способ переработки сульфидных золотосодержащих сурьмяных концентратов / **Х. Ш. Рахимов**, Б. Б. Эшов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов, К. Б. Рахимзода // Опубл. 15.09.2023 г. 8 с.

# ВАЗОРАТИ САНОАТ ВА ТЕХНОЛОГИЯХОИ НАВИ ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН ДОНИШКАДАИ КЎХИЮ МЕТАЛЛУРГИИ ТОЧИКИСТОН

## ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН ДОНИШГОХИ ТЕХНИКИИ ТОЧИКИСТОН

ба номи академик М.С. Осими

Бо хуқуқи дастнавис

УДК: 536.8:620.1:621

## РАХИМЗОДА ХАЁТ ШИФОҚУЛ

## КОРКАРДИ ТЕХНОЛОГИЯИ САМАРАНОКИ ИСТЕХСОЛИ СУРМА АЗ КОНСЕНТРАТХОИ СУЛФИДИИ СУРМАДОР

#### **АВТОРЕФЕРАТИ**

диссертатсия барои дарёфти дарачаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.17.00 - Технологияи химиявӣ (05.17.01 - Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ)

Рисола дар заминаи пойгохи тачрибавии кафедрахои "Металлургия"-и Донишкадаи кухию металлургии Точикистон (ДКМТ) ва "Химияи умуми ва ғайриорганики"-и Донишгохи техникии Точикистон ба номи академик М.С.Осими (ДТТ) ичро карда шудааст.

Рохбари илмй: Бадалов Абдулхайр Бадалович - узви вобастаи Академияи

миллии илмхои Точикистон, доктори илмхои химия, профессори кафедраи Химияи умумй ва ғайриорганикии Донишгохи

техникии Точикистон ба номи академик М. Осими

Муқарризони расми: Абдумуъмин Шарифов - доктори илмхои техники, профессор,

мудири шуъбаи «Энергетикиа гидрогенй»-и Институти химтия

ба номи В.И. Никитини АМИТ;

Бобоев Икромчон Рахмонович - номзади илмхои техникй, дотсент, муовини директор оид ба илм ва сиёсати чавонони Филиали донишгохи миллии тахкикотии технологи «МИСиС»

дар шахри Душанбе.

Муассисаи пешбар: Муассисаи давлатии пажухишгохи илмй-тахкикотии

«Металлургия»-и ЧСК «Ширкати алюминийи точик»

Химояи диссертатсия «16» декабри соли 2024, соати 09-00 дар чаласаи Шурои диссертатсионии муштараки 6D.КОА-042 назди Институти химияи ба номи. В.И. Никитини АМИТ баргузор мегардад. Суроға: 734063, ш. Душанбе, куч. Айнӣ 299/2, Е-mail: f.khamidov@cbrn.tj

Бо муҳтавои диссертатсия дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ www.chemistry.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «\_\_\_\_» \_\_\_\_2024 с. аз рўйи фехристи пешниход шуда, фиристода шуд.

Котиби илмии шурои диссертатсионй, номзади илмхои техникй

Хамидов Ф.А.

\_ Ampley

#### МУКАДДИМА

**Мубрамияти** мавзўи таҳқиқшаванда. Мавҷудияти захираҳои бойи табий ва конҳои маъданҳои бисёркомпонента, манбаи нисбатан арзон ва дастраси нерўи барқ заминаи боэътимоди рушди саноати металлургии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва татбиқи бомуваффақияти ҳадафи стратегии кишвар — гузаштан аз давлати аграрй ба саноатйаграрй мебошад.

Дар байни канданихои фоиданоки Точикистон сурма яке аз металлхои стратегй ва фоидаовари саноати куҳй ба ҳисоб рафта, ба гуруҳи металлҳои вазнини ранга шомил мегардад. Тадҳиҳот ва дарёфти усулҳои самарабахши коркарди маъданҳо ва консентратҳои сулфидии сурмадор, ноил шудан ба дарачаи баланди истихрочи сурма ва дигар металлҳои ҳиматбаҳои дар тарҳиби он мавчуд буда, барои тараҳҳиёти саноат ва рушди иҳтисодиёти мамлакат аҳамияти махсус дорад.

Дарачаи омўзиши таҳқиқот. Коркарди минерали маъданҳои гуногун ва консентратҳо бо усулҳои фаъолсозии механикй ва сўзонидани хлорронй самаранок буда, дар соҳаҳои гуногуни химия ва технологияи химиявй васеъ истифода бурда мешавад. Аммо ҳар як кони маъдан хусусияти худро дорад ва муносибати махсусро талаб мекунад. Маълумот дар бораи истифодаи ин усулҳо барои маъданҳои сурмадор, махсусан барои консентратҳои сулфидии сурмадори кони Ҷиҷикрут нокифоя аст.

#### ТАВСИФИ УМУМИИ ТАХКИКОТ

*Мақсади* кори диссертатсионй: коркарди нақша (модел)-й технологияи самараноки консентрати сулфидии сурмадор ва ноил шудан ба дарачаи баланди истихрочи сурма.

Барои ноил шудан ба ҳадафи пешбинишуда, ҳалли вазифаҳои зерин зарур аст:

- тахлили холат ва дурнамои истехсоли сурма дар кишвар ва хоричи он;
- омўзиши таркиботи кимиёвй, гранулометрй ва фазавии консентратхои сулфидии сурмадор аз кони Чичикрут, интихоб ва тахияи усулхои самараноки коркарди онхо;
- муайянсозии шароитҳои оптималии пеш аз гузариши раванди фаъолсозии механикии консентратҳои сулфидии сурмадор;
- таҳлили термодинамикии раванд, таъсири мутақобилаи компонентҳои асосии консентратҳои сулфидии сурма бо NaCl ва CaCl<sub>2</sub>, муайян кардани шароити оптималии раванди сузонидани хлорронй;
- тартиб додани нақшаи технологии махсуси коркарди сузонидани хлорронии консентрати сулфидии сурмадор бо истифода аз кислотаи сулфат ҳал кардани маҳсулоти суҳташуда, таъмин намудани ҳосилнокии баланди сурма;
- тартиб додани нақшаи технологи ва муайян кардани шароити оптималии раванди ба даст овардани сурма бо рохи электролизи махлулхо.

**Объекти тадқиқот** консентратҳои сулфидии сурмадори кони Ҷиҷикрутӣ (ҶДММ ТА «КМ Анзоб» (Тоҷикистон) мебошанд.

Самти тадқиқот. Коркарди нақшаи технологии ҳосилкунии сурма, аз он ҷумла усули фаъолсозии механикии консентратҳои сулфидии сурма, бозкоркарди онҳо, бо роҳи сузонидани хлоррони маҳсулоти суҳташударо бо кислотаи сулфат ҳал кардан ва электролиз кардани маҳлули сурмадори баъди раванди ҳалнамои ҳосилгардида бо маҳсади ба даст овардаи сурмаи тозаи катоди.

Усулхои тадкикот. Кор бо истифода аз як катор усулхои муосири тадкикот ичро карда шуд: таркиби минералогии маъданхои махаллй тавассути микроскопхои оптики (Микроскопи поляризатсиякунандаи LEICA DM4500 P, камераи Leica DFC 490 ва барномаи махсусгардонидашуда барои тахлили аксхои минералхо ва консентратхо) ва микроскопи электрони (Tescan VEGA 3 LMГ); дифрактометри (дифрактометри Bruker D2 PHASER, барномаи махсусгардонидашуда DIFFRACplus TOPAS ва DIFFRAC.EVA); тахлили химиявии консентрат ба воситаи масс-спектрометрияи шарораи массспектрометрияи ба таври индуксивии пайвастшудаи плазма (ИСП-МС) бо истифода аз масс-спектрометри дуфокуси JMS-BM-2 (Япония); таркиби кимиёвии намуна бо усули рентгенофазй (Дрон-3.0 Си-анод; Ni-филтр) ва рентгенофлюоресентй (спектрометрхои RFA-DX- 2800M); адсорбсияи реагентхо дар сатхи минералхо омузиши усули ИК спектроскопия (иггкеr alpha с модулхои нави, иггкеrvertex 70); адсорбсияи реагентхо дар сатхи минералхо ба воситаи спектроскопияи IR (Bruker ALPHA бо модули НПВО, Bruker VERTEX 70); элементхо дар махлулхои обй тавассути спектрометрияи ICP дар тачхизотй ИСП-АЭС OPTIMA 7000PV аз ширкатхои Perkin Elmer бо истифода аз махлулхои стандартии аз ГСО Эко Аналитики гирифташуда тахлил карда шуданд; рН махлулхо бо истифода аз рН метр/иономери ИТАН муайян карда шудааст; коркарди натичахои бадастомада ва мукаррарнамочи вобастагй бо истифода аз барномаи стандартии Microsoft Excel ичро ва тахлил карда шуд.

Таҳлили термодинамикии равандҳои имконпазире, ки дар системаҳои тадқиқшаванда ба амал меоянд, бо усулҳои машҳури полуэмпирикӣ гузаронида шуданд.

Сохаи тадкикот - технологияи металлхои сиёх, ранга ва нодир.

**Мархилахои тадқиқот**. Тадқиқот оид ба мавзўи диссертатсия давраи солхои 2020-2023-ро дар бар гирифта, аз мархилахои зерин иборат аст:

- чамъоварй ва омузиши адабиётхои сохави дар бораи минералхо ва маъданхои дорои сурма, усулхои коркарди консентратхо ва истехсоли сурма, аз чумла аз кони Чичикрут (ЧДММ ТА «КМ Анзоб»);
- омўхтани равандй фаъолсозии механикии консентрати сулфидии сурмадори кони Чичикрут, муайян кардани шароити оптималии коркарди консентрат дар раванди зикргардида;
- гузаронидани раванди сузонидани хлоридии консентрати ба таври механики фаъолшудаи консентратхои сулфидии сурма бо хлориди натрий ва калсий, муқаррар намудани шарти ба даст овардани дарачаи баланди истихрочи сурма;
- коркарди усули ҳалкунии маҳсулоти суҳташудаи ҳлоридии консентрати сулфидии сурмадор бо истифода аз кислотаи сулфат;
- коркард ва муқаррар намудани шароити оптималй бо рохи электролиз аз маҳлули сулфати сурма ба даст овардани сурмаи ниҳой.

#### Маълумоти асосй ва пойгохи тачрибавй.

**Базаи иттилоотй** чустучўи корхоро дар мавзўи рисола тавассути мачаллахои илмй бо истифода аз системахои байналмилалии иттилоотй фаро мегирад (чустучўи маводхои сохавй дар вебсайти ESPACENET ба рох монда шудааст). Кор дар заминаи пойгохи тачрибавии кафедраи металлургияи Донишкадаи кўхию металлургии Точикистон, дар лабораторияхои Чамъияти масъулияташ махдуди точику амрикоии «КМ Анзоб»,

Институти физикаю техникии ба номи С.У. Умарови АМИ Точикистон ва дар лабораторияи марказии КВД «Фулузоти нодири Точикистон» ичро гардидааст.

Навоварии илмии кори диссертатсионй иборат аст аз:

- муайян карда шуданд, ки шартҳои оптималии усули ба таври механикӣ фаъолсозии консентрати сулфидии сурмадори кони Ҷиҷикрути «КМ Анзоб» ба баланд шудани кобилияти реаксионии консентрат ва қариб ду баробар барои тезонидани гузариши реаксия мусоидат мекунанд;
- таҳлили термодинамикии равандҳои асосии химиявие, ки хангоми сузонидании хлорриронии консентрати сулфидии сурмадор ба амал меоянд гузаронида шуд. Эҳтимолияти баланди термодинамикии ба амал омадани равандҳои сузонидани хлоррирони бо NaCl ва CaCl2 муҳаррар карда шудааст. Таҳлили муҳоисави эҳтимолияти бештар ва самаранокии истифодаи хлориди калсийро ҳамчун реагенти хлордор нишон медиҳад;
- раванди сўзониданй хлорриронии консентрати сулфидии сурмадори фаъолсозии механикишуда бо хлориди натрий ва калсий кор карда баромада, чорй карда шудааст. Шароити оптималии гузаронидани раванд дар харорати пасти 450-500°С дар муқоиса бо технологияи анъанавй (1100-1200°С) муайян карда шуд;
- параметрҳои оптималии физикию кимиёвии реаксияи ҳалкунии маҳсулоти баъд аз сӯзиши хлорриронӣ ҳосилшудаи консентрати сурма бо кислотаи сулфат муайян карда шуданд, ки дар ин сурат ба маҳлул гузаштани миҳдори зиёди сурма ба даст оварда мешавад;
- нақшаи асосии технологии равандҳои сӯзонидани хлорронӣ ва ҳалкунии маҳсулоти баъд аз сӯзиш ҳосилшуда бо истифода аз кислотаи сулфат тартиб дода шудаанд;
- режими оптималии ба даст овардани сурмаи металлй аз махлули сулфати сурма (III) муайян карда шуд.

**Ахамияти назариявии тадқиқот.** Чанбаҳои назариявии равандҳои фаъолгардонии механикии консентратҳои сулфидии сурма ва электролизи сулфати сурма, таҳлили термодинамикии равандҳои асосии ҳангоми хлориронии консентратҳо ба амал омада баррасӣ мешаванд.

Ахамияти амалй. Пешниход ва амалигардонии усули муштараки ба даст овардани навъи стандартии сурма (Су2) аз консентрати механикй фаъолшудаи сулфиди сурма бо рохи сузонидани хлорронй, халкунии махсулоти сухташуда бо истифода аз кислотаи сулфатй ва электролизи махлули сулфати сурма (III) ба рох монда шуд. Раванди сузонидани хлорронй бо истифода аз ашёи хоми махаллй дар харорати 450—500°С гузаронда мешавад, ки ин нисбат ба технологияи анъанавии истехсолот харорати коркарди раванд хеле паст буда, кобилияти кушодашавии консентрат ва табдил додани пайвастагихои сурма ба навъхои технологии коркардшуда бехтар мегардад. Имкониятхо барои партофтани партовхо ва истифодаи дубора дар давра, дар сурати мавчуд набудани партовхои газ пешбинй шудаанд ва ба чои партовахо махсулоти саноати истехсол гардидааст.

Дар асоси натичахои тадқиқотҳо се нахустпатент доир ба ихтирооти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шуда, дар ҶДММ ТА КМ «Анзоб» ва КВД «Фулузоти нодири Тоҷикистон» санади татбиқ дар истеҳсолот ба даст оварда шудааст.

#### Муқаррароти асосии барои химоя пешниходшуда:

- хусусиятхои технологии раванди коркард ва ба таври механики фаъолсозии консентрати сулфидии сурмадори кони Чичикрут;
- натичахои омузиши раванди хлориронии консентрати ба таври механики фаъолшудаи сулфиди сурма бо истифода аз хлоридхои натрий ва калсий, бехтар намудани кушода будани консентрат ва шароити оптималии раванд;
- натичахои омузиши раванди халкунии махсулоти баъд аз сузиш хосилшуда бо истифода аз кислотаи сулфат. Шароити оптималии раванд, ки дар он максимум истихроч ва халшавии пайвастагихои сурма ба даст оварда мешавад;
- нақшаҳои фундаменталии технологии коркарди консентрати сурмаи фаъолгардида бо ҳалкунии кислотаи хлорид тартиб дода шудаанд;
- натичахои тартиб додани нақшаи технологии раванди электролиз ва муайян кардани шароити оптималии раванд.

Саҳми шаҳсй аз иштироки бевосита дар тамоми марҳилаҳои кор иборат аст: мураттабсозии мавзуъ, ҷамъоварй, коркард ва таҳлили адабиётҳои соҳавй оид ба мавзуи рисола. Ҳангоми гузарондани таҷриба дар ҳамаи давраҳои марҳилаи коркард навъи сурмаи металй аз консентрати ба таври меҳаникй фаъолшудаи сулфиди сурма бо роҳи сузонидани хлорронй, ҳалкунии маҳсулоти суҳташуда бо истифода аз кислотаи сулфат ва электролизи маҳлули сулфати сурма (III) ба даст оварда шуд. Дар диссертатсия ҳабули ҳисобгирии коркард, таьлили маълумотҳои таҷрибавй ва маълумотҳои ҳисобй, хулоса ва маводҳои нашршударо дар бар мегирад.

#### Тасвиб (апробатсия)-и рисола ва маълумотхо оид ба истифода ва натичахои он

Тартиботи асосй ва натичаи кор дар конфронсхои илмй-амалии зерин пешниход ва мухокима гардидааст:

байналмилалй: Муассисаи давлатии илмии «Маркази тадқиқоти технологияхои инноватсионй» дар АМИТ (Душанбе, 2020, 2022); «Шароит ва мушкилоти асосии саноати кухи ва металлургии Точикистон» (Бустон, 2020); «Накши Донишгохи Русияву Точикистон (Славянй) дар ташаккул, рушди илм ва маорифи инноватсионй дар Чумхурии Точикистон» (Қисми ІІ. - Душанбе: ДДТТ, 2021); Форуми саноатии «Қадамҳои устувор барои рушди саноати милли», бахшида ба 15-солагии таъсисёбии Донишкадаи кухию металлургии Точикистон (Бустон, 2021); «Мушкилоти муосири саноати металлурги», (Душанбе, ДТТ ба номи академик М.С. Осимй, 2021); «Шароит ва мушкилоти асосии саноати куҳй ва металлургии Точикистон (Бустон, 2022); «Нашриёти V байналмилалии китоби «Беҳтарин олими чавон-2022», Чумҳурии Қазоқистон, (Нур-Султон, 2022); «Истифодаи захирахои табий, экология ва рушди устувор» дар доираи Дахсолаи байналмилалии амал «Об барои рушди устувор 2018-2028», (Бустон 2022); «Проблемахои муосири илмхои дақиқ дар тайёр кардани кадрхои баландихтисос барои саноати кухи ва металлургии кишвар», (Бўстон, 2023); Институти байналмилалии тадқиқоти пешқадами ба номи. М.В. Ломоносов, (Омск, 2023); «Технологияхои инноватсионии истихроч ва коркарди маъданхои фоиданок», (Бустон, 2023); «Тадқиқот ва татбиқи металлургияи камкарбон ва чустучуи усулхои нави истехсолот бо истифода аз энергияи сабз» (Донишгохи чанубии марказй, Чанша, Чин, 2023); XVIII Нуъмоновский «Инкишофи химияи муосир ва чанбахои назариявй ва амалии он» (Душанбе, 2023); «Инкишофи самтҳои нави химия ва технологияи химия», бахшида шудааст. Академик Х.Сафиев, (ДМТ, Душанбе, 2023); Конференсияи байналмилалии «Энергетика-Замин-муҳит-муҳандисӣ», Донишгоҳи давлатии техникии Тошканд ба номи Ислом Каримов, UJICY (Маркази инноватсионии Ӯзбекистон-Япония барои чавонон), (Тошкент, Ӯзбекистон, 2023);

**чумхуриявй:** «Хамгироии фанҳои геометрй – графикй, дақиқ ва техникй дар омодасозии муҳандисон» бахшида ба 30 – солагии Истиқлолияти давлатии Чумҳурии Тоҷикистон, (Бўстон 2021); «Ташкили ҳамлу нақли технологии борҳо дар конҳои кушоди маъданҳои кўҳии Чумҳурии Тоҷикистон» (Бўстон, 2022); «Коркарди самарабахши металлургия, экология ва рушди устувор» (Бустон 2023);

Натичахои диссертатсия дар ЧДММ «ТА» «КМ Анзоб», Корхонаи вохиди давлатии «Фулузоти нодири Точикистон» (дорои санади татбики чоришавй) мавриди истифода карор гирифта, барои Вазорати саноат ва технологияхои нави Чумхурии Точикистон, бахшхои он, муассисахои лоихакашй ва муассисахои илмии Академияи миллии илмхои Точикистон муфид мебошад. Натичахои ба даст овардашударо дар донишгоххои техникй ва факултетхои технологи хангоми тайёр кардани мутахассисон оид ба профилхои металлургй, химия, химияю технология ва энергетикй истифода бурдан мумкин аст.

Се нахустпатент доир ба ихтирооти Чумхурии Точикистон гирифта шудаст.

**Интишор:** Дар асоси натичахои тадқиқотҳои гузаронидашуда 37 мақолаҳои илмӣ, аз чумла мачаллаҳои тавсиякардаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Чумҳурии Точикистон – 5, Комиссияи олии аттестатсионии Федератсияи Русия – 2, Комиссияи олии аттестатсионии Чумҳурии Ӯзбекистон-3, ИМА - 1, 3 (се) нахустпатент доир ба ихтирооти Чумҳурии Точикистон ва 23 мавод дар конфронсҳои чумҳуриявӣ ва байналмилалӣ пешниҳод гардидаанд.

**Сохт ва ҳаҷми рисола:** Рисолаи номзадӣ аз муҳаддима, чор боб, хулосаҳо ва замимаҳо иборат мебошад. Рисола дар 167 саҳифа ҷой гирифта, 25 ҷадвал ва 40 адад расмҳо ва руйҳати адабиёти истифодашуда, ки аз 161 номгуй иборат аст, дар бар мегирад.

### МАЗМУНИ АСОСИИ КОР

*Дар муқаддима* далелҳои актуалӣ будани мавзӯъ оварда шуда, мақсад ва вазифаҳои рисола, моҳияти илмӣ ва амалии кор нишон дода шудаанд.

**Дар боби якум** дар бораи вазъияти хозира ва дурнамои истехсоли сурма дар Точикистон ва берун аз он маълумот дода мешавад. Гуфта мешавад, ки Точикистон дар тавлиди сурма дар чахон яке аз макомхои пешкадамро ишғол мекунад. Дар бораи конхо ва навъхои маъданхои сурмадор, дар бораи тамоюли технологии аз маъдани асосйантимонит хосил кардани сурма, дар бораи дурнамои истифодаи сурма ва пайвастагихо маълумот дода мешавад. Ояндабинии истехсоли сурма дар Точикистон ва вазифахо барои оянда мухокима карда шуданд.

**Боби дуюм** ба таснифи ашёи хоми сурма ва нақшаи коркарди онҳо бахшида шудааст. Мувофиқи талаботи коркарди металлургӣ ашёи хоми сурмаро (консентратҳо) аз рӯи таркиби сурма ба таври шартӣ ба каммаҳсул (то 25 фоиз), миёна (25-45 фоиз) ва сермаҳсул (зиёда аз 45 фоиз) тақсим кардан мумкин аст. Аз рӯи дараҷаи оксидшавии сурма ба сулфид, ки дар таркибаш на камтар аз 80 фоизи металли умумиро дар шакли Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> дорад;

сулфид-оксидшуда (оксид-сулфид), ки 20-80% дорад ва оксид мешавад, ки дар таркиби металлхо дар оксидхо аз 80% зиёданд.

Кони Ҷиҷикрут асосан аз стибнит ( $Sb_2S_3$ ) ва кинавар (HgS) иборат буда, дар таркибаш марказит ( $FeS_2$ ), арсенопирит (FeAsS) ва маъданҳои ғайриметалл $\bar{\mu}$  низ мавҷуданд. Тақрибан 15% сурма дар шакли оксид мавҷуд аст. Дар таркиби маъданҳо миҳдори зиёди металлҳои нодир ва асил, махсусан таллий, тилло ва нуҳра мавҷуданд.

Технологияи ғанисозии маъдан дар ҶДММ ТА «КМ Анзоб» тавсиф шудааст. Қайд карда мешавад, ки коркарди консентратҳои сулфиди сурма бо усулҳои анъанавии пиро- ва гидрометаллургия сурат мегирад. Бояд қайд намуд, ки дар раванди сузиши оксидгардоние, ки ҳоло дар истеҳсоли металли сурма аз консентрат истифода бурда мешавад камбудиҳои зерин ба назар мерасад:

- 1. Барои аз шакли сулфидй ба шакли оксидй гузаштани консентрати коркардшаванда ҳарорати 1100-1200°С сарфа мешавад;
- 2. Ба атмосфера микдори зиёди гази SO<sub>2</sub> хорич мегардад;
- 3. Махсулоте, ки баъди раванди сузиши оксидгардони ба даст оварда мешавад ба раванди гудозиши барқароркуни равона мегардид. Ин раванд низ дар ҳарорати 1100-1200°С гузаронида мешавад. Ба сифати барқароркунанда карбон илова карда мешавад ва дар натича миқдори зиёди гази СО ва СО2 хорич мегардад, ки аз лиҳози экологи хеле зараррасон мебошад.

Маълумоти соҳавӣ оид ба раванди хлориронии дистилятсионӣ, хусусиятҳои усулҳои пиро ва гидрометаллургии коркарди маъданҳои сулфиди сурма, усули ҳалкунии хлоридҳо бо иштироки хлориди оҳан (III) оварда шудаанд.

Дар *боби сеюм* маълумоти назариявй ва натичахои тадқиқотии усулхои фаъолсозии механикии минералҳо ва сӯзонидани хлорронии консентрати сулфидии сурмадор оварда шудаанд.

Ба таври механикй фаъолгардонии маъданҳо ва консентратҳо боиси қобилиятнокии ҳосилкунии компонентҳои асосии ашёи хом дар шароитҳои технологияи марҳилаи навбатии истеҳсолот - сӯзонидани хлорронй ва ҳалкунии маҳсулоти сӯхташуда дар шароити муътадил мегардад.

Натичаи фаъолгардонии механикй ин тарғйирёбии сатҳи хоси мавод ва қувваи дохилии зарраҳои маводҳои коркардшаванда ба шумор меравад. Коркарди механикии мавод на танҳо ба "камшавии андозаи зарра, ки ба хурдшавии мавод, балки ба вайроншавии алоҳаи химиявӣ, ки онро ҳамчун воҳиди том нигоҳ медорад ва боз кардани руйпуш, заррачаҳои руйпушашон тоза, аз сохти атомӣ марказҳои бойи гуногуни ба гузариши реаксияи тайёр оварда мерасонад".

Дар айни замон маълумотҳои муайяни эксперементалӣ дар бораи тадҳиҳоти фаъолгардонии механикии минералҳои гуногун гирд оварда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки майдакунии консентратҳои сулфидии сурмадор, алалҳусус дар осиёби марказгурези планетарӣ дар речаи ба ҳўрдашавӣ ва дар совиш ба зиёдшавии энергияи калоидии фаъоли руйпуши хоси зарра оварда мерасонад.

Бо зиёдшавии намудхои нуқсон дар сохтор косташавии алоқа дар панцараи кристали мушохида карда мешавад. Тарғйирёби дар сохтор ва хосияти зарра, ки баъди

фаъолгардонии механикии консентрат ба вучуд меояд дар ТРФ ва ИК-спектометрия муайян карда мешавад.

Таснифоти зерини фаъолшавии механикй пешниход шудааст: механикихимиявй - агар энергияи тавлидшуда ва чамъшуда дар фаъолкунанда ба таъсири мутакобилаи химиявй мусоидат намояд; фаъолсозии механикии каблан агар энергия барои табдил додани берун аз фаъолкунанда истифода шавад. Усули калориметрй бо рохи чен кардани афзоиши ибтидоии харорат дар барабани осиёб аз гармй изолятсияшуда пешниход карда мешавад. Бо баходихии энергияи фаъолкунандаи механикй мукаррар карда шуд, ки 90-95 фоизи энергия ба энергияи гармй табдил ёфта, бокимондааш барои табдил додани материали коркардшуда сарф мешавад.

Мо маълум кардем, ки ба таври механикй фаъолгардонии консентратхои сулфидии ЧДММ ТА «КМ Анзоб» аз бисёр чихат фоиданок аст. Қобили зикр аст, ки консентрати сулфиди сурма бо рохи ғанисозии флотатсия дар комбинати маъдантозакунй ба даст оварда мешавад. Барои истихрочи сурма ва симоб, ксантогенати калий (150-170 г/т), селитра, сурб (160-180 г/т) ва равғани санавбар истифода мешаванд. Самаранокии истихрочи маъданхо ва металлургияи куҳй аз чудошавии чузъҳои алоҳидаи минералй ва таъсири сатҳи онҳо вобаста аст. Истеҳсоли консентратҳои флотасионй, ки андозаи зарраҳои даҳҳо микрон доранд, барои кори оптималии бисёр равандҳои гидрометаллургй номумкин аст.

Фаъолгардонии механикй як усули инноватсиониест, ки дар он бехбудии равандхои гидрометаллургй тавассути омезиши майдони нави сатх ва ташаккули нуксонхои кристалии маъданхо ба даст оварда мешавад. Хусусан чанбахои экологии ин равандхо чолибанд.

Дар адабиёт хисоби математикии назарияи микдори зарурии энергияро коркард кардаанд, ки он бояд дар маводхои коркардшуда хангоми ба таври механикй фаъолгардонй ( $\Delta$ Eoff) барои муваффакона кушодани минералхои сулфидии металлхои нодир дар асоси маълумотхои тахлили системавии сулфидй ва минералхои оксидй барои устувории механикй бо ёрии харорат ва зичии энергия коркард мешаванд. Усули баходихии кобилияти реаксия аз микдори энергия ва холати энергетикии панчараи кристалии минералхои сулфидии металлхои вазнин ва нодир баъди фаъолгардони бо ёрии ТРС муайян карда шуда аст, ки аз конуниятхои тағйирёбии ғунчоиши энергия ( $\Delta$ Ea) вобаста мебошад.

Усулхои интенсивии гуногуни тацзияшавии минералхои оксидй ва сулфидии металлхои нодир коркард карда шудаанд. Муқаррар карда шудааст, ки баъди флотатсия сатхи заррачаи консентрати сулфиди бо реагентхои флотатсионй пўшонда мешавад. Аз цумла, заррахои маъдани сулфиди сурма (антимонит) бо ксантогенат, нефти Т-80, трибутилфосфат, гидратхо ва сулфур пўшонда мешаванд. Дар натица кушодани консентрат душвор шуда, самараи равандхои минбаъда умуман паст мешавад. Гузаронидани фаъолсозии механикии пешакии консентрати сулфидии сурмадор барои баланд бардоштани гузариши реаксия бо рохи ба қабати рўйпўши заррачахои консентрат зарба задан ва хосилшудани таркиш дар марказхои он оварда мерасонад.

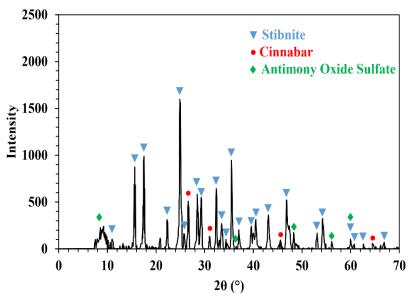
Тадқиқоти мо ба муайян кардани режимҳои оптималии фаъолгардонии пешакии механикии консентрати сурма ( $Sb_2S_3 \sim 49\%$ ) бахшида шудааст, ки онҳо пурратар кушода шудани консентрат ва ба маҳлул гузаштани пайвастагиҳои сурмаро таъмин мекунанд.

### Хусусияти маводхо ва усулхои гузаронидани тачриба

Фаъолгардонии зарраҳо дар осиёби планетарии марказгурези интиқолдиҳанда амалй мешавад. Фаъолгардонии заррачаҳо дар осиёби марказии амалкунандаи даврй, ки дар реҷаи зарбавй-пошдиҳанда бо суръатбахшии сентрифугаи саққоҳои диаметри  $\sim$ 5 мм (хӯлаи ВК-8)  $\sim$ 25 г кор мекард, гузаронида шуд. Фаъолсозии «хушк» (ордшавй дар муҳити ҳавой) дар таносуби саққоҳо ба консентрат бо вазни 1050: 50 г гузаронида шуд; фаъолсозии «тар» (ордкунй дар лойоба) дар таносуби саққоҳо:  $m_{\text{саққо}}$ : $m_{\text{консентрат}}$ : $m_{\text{об}}$  =1000:50:50 г ва давомнокии 0,5 то 7 дақиқа гузаронида шудааст.

## Таркиби консентрати сулфидии сурмадор

Дар ин кор консентрати сурмаи стандартии ТУ 3004 РТ 30530698.04.2004 ЧДММ ТА «КМ Анзоб» истифода шудааст. Намунаи консентрат барои тахлил гирифта шуда, мувофики талаботи аз чониби умум қабулшуда омода карда шуд. Консентрати тахлилшавандаи тамғаи КСуФ-3 намнокии 8,0 фоизро ташкил медихад. Тахлили кимиёвии консентрат тавассути масс-спектрометрияи шарораи плазмаи индуктивй (ИСП-МС) бо истифода аз масс-спектрометри дучонибаи JMS-BM-2 (Чопон) барои таркиби металлҳои асосй (ваз.%) муайян карда шуд: Sb - 48.12; Hg - 0,58. Таркиби элементарй ва фазавии консентрат бо ёрии дифраксияи рентгенй муайян карда шуд: стибит Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> - 49,78; кинабар HgS - 30,74; сулфати оксиди сурма Sb<sub>6</sub>O<sub>7</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> - 19,47. Натичаҳои ТРФ (таҳлилй ренгенофазавй)-и консентрати сулфиди сурма дар расми 1 нишон дода шудаанд.



Расми 1. - Пиктограммаи консентрати сулфидии сурма пеш аз фаъолсозии механикй

## Усули гузаронидани фаъолсозии механикии консентрати сулфидии сурмадор

Консентрати сулфидии сурмадори қаблан майдашуда то андозаи r <74мкм ба фаъолгардонии механикӣ барои зиёдшавии энергияи шиддати рӯйпўш дар натичаи

бавучудоии микротарқишҳо, ки ба зиёдшавии қобилияти реаксионии зарраҳо оварда мерасонад, дучор мешавад.

Фаъолгардонии механикии консентрати сурмадори сулфидӣ дар осиёи ЛАИР-015 ичро шудааст. Таъсири механикӣ ба консентрат аз суръати чархзании осиё, лӯла, инчунин ҳаракати душвори троекторияи худи консентрат мегузарад. Дар зери шитоби марказгурез ҳувваи вазни саҳҳо ва консентрат дар даруни осиёб 35-45 маротиба энергияи механикиаш зиёд мешавад.

Бо мақсади ба даст овардани самараи фаъолгардонии механикй ва муайян кардани шарту шароити оптималии истихрочи сурма аз консентрат силсилаи тачрибаҳо дар сурати мунтазами чархзании осиёб гузаронида шуданд.

Таъсири омилхои дигар дарачаи пуршавии фазои дохилй (Z-ҳаҷм), осиёбҳофаъолкунанда, муносибати вазни саққоҳо ва консентрат ( $M_C$ : MK), давомнокии коркарди механикии консентрат омуҳта шуданд. Интихоби оптималии шароити равандҳои бо дарачаи ҳосилкунии ( $\alpha$ ) сурма аз консентрати механики фаъолкардашуда ба амал оварда шуд.

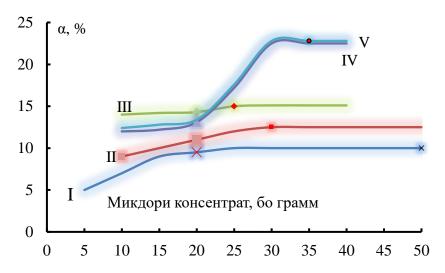
Шарти мусоиди фаъолкунии механикй аз инхо иборатанд: нисбияти вазни саққо ба консентрат (5:1), дарачаи пур кардани ҳачми лӯла бо саққо (Zк) 0,023 ё 0,023. Вақти гузариши раванд аз 0,5 то 7 дақиқа. Тачрибаҳо нишон доданд, ки дар баробари якхела будани дигар шароитҳо дарачаи пур кардани фазои осиёб (Z-ҳачм)- осиёби фаъолкунанда бо консентрат ва саққо ҳачми Z-80% ба шумор меравад.

Барои ба даст овардани дарачаи максималии ( $\alpha$ )-истихрочи сурма силсилаи тачрибахо гузаронида шуданд. Вобаста аз омилхои зерин фаъолсозй намудем: нисбияти массаи консентрат ( $M_{\mbox{\tiny K}}$ ) ба массаи саққо ( $M_{\mbox{\tiny Ш}}$ ), ифода гашта бо  $M_{\mbox{\tiny K}}$ : $M_{\mbox{\tiny C}}$ , вақти коркард ( $\tau_{\mbox{\tiny B}}$ , мин.).

Бо хотимаи раванди фаъолгардонии механикии консентрати сулфидии сурмадор ба элаки сурохиаш r < 74мкм бор карда мешавад, аз элак гузаштаг $\bar{u}$  консентрат дар маҳлули NaOH дар мудати 3 соат дар ҳарорати T=90°C ва нисбияти массаи консентрат ( $M_{\kappa}$ ) ба массаи маҳлул баробар ба  $M_{\kappa}:M_{\rm M}=1:6$  мебошад ҳал карда шуд. Миҳдори сурма дар маҳлул бо усули атомц- абсорбсион $\bar{u}$  муайян карда шудааст.

Дарачаи истихрочи сурма вобастагии ( $\alpha$ ) аз консентрат дар асоси натичахои тахлили химиявии таркиби сурма дар махлул хисоб карда шуд. Вобастагй ( $\alpha$ ) аз микдори консентрат (Мк) ва вакти фаъолшавии механикй (та, мин) мураккаб аст (расми 2). Дар расм нишон дода шудааст, ки дар муддати кутох (хатхои I ва II) фаъолшавии механикии консентрат дар Мк = 20 г микдори максималии хосилгардида  $\alpha$  = (10-12)% ба даст меояд ва эхтимол раванди истихрочи сурма дар минтакаи диффузияи берунии заррахо ба амал меояд. Хангоми бештар аз се дакика (хатхои IV ва V) ба таври механикй ба кор андохтани як микдори консентрат якбора баланд шудани дарачаи истихрочи сурма мушохида мешавад ( $\alpha$  = 22% ва аз ин хам зиёд), ки на танхо дар минтакаи диффузияи беруна, балки инчунин дар минтакаи диффузияи дохилии заррачахо низ таъсири худро расонид ва хосилнокй зиёд мегардад.

Баъди ба охир расидани раванди фаъолгардонии механикй консентрати фаъолшудаи сулфиди сурма бо реагентхои гуногуни хлордор раванди сузонидани хлорронй мегузарад.



**Расми 2.** - Вобастагии дарачаи истихрочи ( $\alpha$ ) сурма аз микдори консентрат (Мк) дар вақти ( $\tau_a$ , дақ.) фаъолшавии механик $\bar{u}$ : I - 0,5; II - 1,5; III - 2,5; IV - 3,5; V - 4.5

# Раванди сўзонидани хлорриронии консентрати сулфидии сурмаи қаблан фаъолгардидаи механикӣ бо хлориди натрий

Усули пирометаллургие, ки барои коркарди маъданхои сулфидй дар қаламрави Чумҳурии Точикистон истифода мешавад, ки аз нигоҳи самаранокй, экология ва сарфаи энергия тағйироти чиддиро талаб мекунад. Яке аз гаронтарин марҳилаҳои коркарди маъдан ҳангоми истихрочи металлҳо ба ҳолати ҳалшаванда табдил додани онҳо мебошад. Маъдани сурма асосан дар шакли сулфидй мавчуд мебошад. Аз ин рӯ, барои ба шакли ҳалшаванда табдил додани онҳо як қатор реаксияҳои химиявй гузаронидан лозим аст. Дар ин самт раванди сузонидани хлорриронй барои коркарди маъданҳои сулфидии сурмаи кони Ҷиҷикрут бо назардошти мавчудияти захираи бузурги хлориди натрий ва манбаи нисбатан арзони неруи барқ дар дохили кишвар самаранок аст.

Дар усули пирометаллургии коркарди маъданҳо раванди сӯзонидани хлориронӣ ба кор бурда мешавад, ки имкон медиҳад раванд дар шароитҳои нисбатан оптималӣ гузаронда шавад ва ба баланд шудани ҳосили маҳсулоти ниҳоӣ оварда расонад. Олимон ҳусусиятҳои кинетикии равандро бо хлори калий сӯзонидани халкопирит омӯхтанд. Самаранокии сӯзонидани хлорронӣ бо ҳаблан фаъолгардида ба кор андохтани маъданҳои полиметаллӣ, ки ба маъданҳои табиии Ҷумҳурии Точикистон хос аст, якбора меафзояд.

# Тахлили термодинамикии раванди сузондани хлорриронии консентрати сулфидии сурмаи фаъолгардидаи механики бо хлориди натрий ва калсий

Чиҳати илман асоснок кардан ҳар як раванди технологии химиявй, таҳлили термодинамикии асосҳои химиявии реаксияҳои имконпазири системаи тадқиқотшавандаро гузарондан лозим аст. Чунин таҳлил ба мо имкон медиҳад, ки барои коркарди комплексии маъданҳои минералй равандҳои эҳтимолитаринро баҳо диҳем, шароити оптималии ба вучуд омадани онҳоро муайян кунем. Объектҳои тадқиқоти мо - консентрати сулфидии сурмадори кони Ҷиҷикрут мебошад, ки баҳодиҳии термодинамикй аҳамияти калон дорад.

Дар адабиётхои соҳавии илмӣ натичаҳои баҳодиҳии термодинамикии як қатор маъданҳои сулфиди металлҳои ранга оварда шудаанд. Имкониятҳои коркарди маъданҳои сулфиди металлҳои ранга бо роҳи сӯзонидани хлорронӣ бо хлориди натрий, додани ҳаво нишон дода шудаанд. Сулфидҳои металӣ ба хлоридҳо мубаддал мешаванд, ки онҳоро аз қисми дигари чинс чудо кардан мумкин аст. Дар ҳарорати 1100 К хлоридҳо дар шакли газӣ ҳастанд, ки ба осонӣ хорич мешаванд ва дар сатҳи сард конденсатсия мешаванд. Хлоридҳои конденсатшударо ҳал карда гирифтан мумкин аст, то аз дигар ғашҳо барҳарор карда шаванд. Сулфур ба шакли Na2SO4 мегузарад ва аз ин рӯ партовҳои SO2 ба ҳадди аҳал кам карда мешавад.

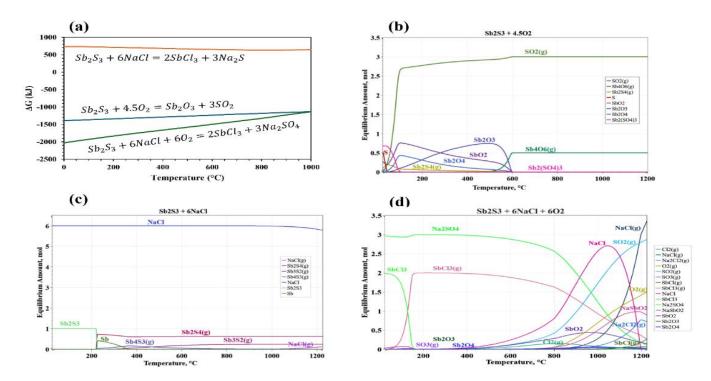
Реаксияи асосии сузиши антимонитаро метавон ҳамчун муодилаи 3 (аз чадвали 1) навишт, ки дар он сулфиди сурма дар ҳузури оксиген то Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оксид мешавад ва гази оксиди сулфурро ба вучуд меорад, ки барои пешгири кардани партовҳои SO<sub>2</sub> ба атмосфера коркарди махсуси газро талаб мекунад. Роҳи имконпазири пешгирии партовҳои SO<sub>2</sub> ин табдил додани сулфур ба пайвастагиҳои сахт мебошад. Раванди хлорриронц дар металлургия барои ьосил намудани намаки хлориди металл маълум аст. Хлориди натрий ҳамчун пайвастагии арзон ва фаровон метавонад барои ин манбаи хлор хизмат кунад. Реаксияи хлоризатсияро дар ҳузури ҳаво гузаронидан мумкин аст, ки дар натича ба сулфиди натрий ба вучуд меояд (муодилаи 1).

Дар расми За тағйирёбии энергияи озоди Гиббс вобаста ба ҳарорат барои реаксияҳои дар боло зикршуда нишон дода шудааст. Тавре ки дида мешавад, реаксияи хлоризатсия дар сурати набудани оксиген дар тамоми диапазони ҳарорат аз сабаби арзишҳои мусбати энергияи озоди Гиббс ғайриимкон аст. Аз тарафи дигар, реаксияи сузиши дуюми хлоризатсия (муодилаи 1) як реаксияи имконпазир аст, ки ҳатто интизор меравад, ки беҳтар аз реаксияи сузиши (муодилаи 3), махсусан дар ҳарорати пасттар ичро шавад (расми 3а).

Таркиби мувозинати реаксияи Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дар хузури 4,5 мол оксиген (муодилаи 3) дар хароратҳои гуногун дар асоси кам кардани энергияи озоди Гиббс барои шароити изотермикй, изобарй ва массаи собит ҳисоб карда шуд (расми 3б). Тавре ки интизор мерафт, ҳисми зиёди сулфур то SO<sub>2</sub> оксид мешавад. Мувофики график кариб 90%-и сулфур якбора поёнтар аз 100°C оксид мешавад ва 10%-и боыимонда то 600°C оьиста-оьиста оксид мешавад. Пешгуйи термодинамикй пайдоиши се оксиди сурмаҳои имконпазири Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, SbO<sub>2</sub> ва Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ро бо тамоюлҳои гуногун дар ин диапазони ҳарорат нишон медиҳад. Дар расми 3(б) нишон дода шудааст, ки ташаккули ин се оксид ҳангоми ба 600 °C боло рафтани ҳарорат коьиш мегардад ва баъд аз он ташаккули Sb<sub>4</sub>O<sub>6</sub>-и идоранашаванда, ки тақрибан аз 510 °C оғоз меёбад, ба амал меояд.

Дар расми 3в таркиби мувозинати реаксияи имконпазир байни  $Sb_2S_3$  ва 6 мол NaCl нишон дода шудааст. Чунон ки дида мешавад, антимонит дар тамоми диапазони харорат бо хлориди натрий ба реаксия намеравад. Мувофики график, бухоршавии назарраси NaCl такрибан дар  $1040^{\circ}C$  оғоз меёбад, аммо реаксия бо антимонит хатто дар холати газй мушохида намешавад, ки ба расми 3а мувофик аст, ьисобхои мувозинати термодинамикй устувории гармии антимонитро то  $220^{\circ}C$  ва имконияти назариявии диссосиатсияи  $Sb_2S_3$  ба металл $\bar{u}$   $Sb_2S_4$  ва  $Sb_4S_3$  дар холати набудани оксиген дар худуди харорати  $220-360^{\circ}C$ 

(расми 3с) нишон медиҳанд. Бояд гуфт, ки ҳамаи сулфидҳои сурма, ки баъд аз диссосиасия ҳосил мешаванд, дар ҳолати газнок мавҷуданд.



Расми 3. - Тағйирёбии энергияи озоди Гиббс ҳамчун функсияи ҳарорат барои реаксияи сӯзиш, реаксияи хлоркунй ва реаксияи сӯзонидани хлорирони дар ҳузури оксиген (а), таркиби мувозинати реаксияи сӯзонидани антимонит ҳамчун функсияи ҳарорат(b), таркиби мувозинати хлорбандии антимонит дар ҳузури NaCl вобаста ба ҳарорат (c), таркиби мувозинати ҳангоми сӯзонидани хлориронии антимонит дар ҳузури оксиген вобаста ба ҳароратро зохир менамоянд (d)

Дар расми 3г таркиби мувозинати махсулоти реаксияи имконпазир байни Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, 6 мол NaCl ва 6 мол O<sub>2</sub> мувофики муодилаи 1 (аз чадвали 1) нишон дода шудааст. Тавре ки дида мешавад, реаксияи имконпазири байни ин моддахо ба пешгуйи муодилаи 1 бо ҳамон махсулот, такрибан то 400°C мувофикат мекунад. Аз расми 3г нишон медиҳад, ки бухоршавии хлориди сурма такрибан дар 50°C оғоз мешавад ва SbCl<sub>3</sub> дар фазаи газ дар ҳарорати аз 160°C боло пурра кам карда мешавад. Ҳангоми аз 400°C боло рафтани ҳарорат реаксия бо роҳи алтернативи ҳаракат мекунад, ки ин боиси кам шудани ҳосилшавии SbCl<sub>3</sub> ва Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ва зиёдшавии ҳосилшавии дигар маҳсулот ба монанди SO<sub>2</sub>, SbO<sub>2</sub> ва Cl<sub>2</sub> мегардад. Ҳамин тавр, аз чиҳати назарияви ба мақсад мувофиқ аст, ки ҳарорати реаксия ҳарчи бештар ба 400°C наздик шавад, то суръати баланди табдилёби ба даст ояд, ки ин ҳам аз чиҳати термодинамики ва ҳам аз нуқтаи назари кинетики манфиат меорад (расми 3г).

**Маводхо ва усулхои хисобкунй**. Оид ба объектхои рисолаи мазкур мо тахлили термодинамикии раванди хлоркунонии сулфидхои сурма бо хлоридхои натрий ва калсий, инчунин дигар реаксияхои хамрохро, ки мувофики муодилахои дар чадвал оварда шудаанд, анчом додем. Барои хисоб кардани хусусиятхои термодинамикии равандхо, арзишхои стандартии чузъхои дар реаксияхо иштироккунанда истифода шуданд.

Маълумотномахои термодинамикии ба даст омадаи равандхои асосй хангоми хлоркунонии консентрати сулфиди сурма бо хлориди натрий ва калсий дар чадвали 1 оварда шудаанд. Барои он ки тахлили мукоисавии маълумотдихии термодинамикии равандхо дода шавад, маълумотхо ба як мол реактив аз нав хисоб карда шуданд.

Таҳлили қаблан баҳодиҳии термодинамикии реаксияҳое, ки ҳангоми хлоркунонии консентрати сурма ба амал меоянд, нишон медиҳад: эҳтимолияти баланди термодинамикӣ ва экзотермикии равандҳои баррасишаванда ба истиснои раванди № 7, ки эндотермик аст; бартарияти омили энталпия ҳамчун қувваи пешбарандаи раванд ҳариб дар тамоми диапазони ҳарорати тадҳиҳшуда мушоҳида мешавад; ҳиматҳои пасти энергияи Гиббс равандҳои 6 ва 7 аз сабаби таъсири муҳоисашавандаи омилҳои энталпия ва энтропия дар рафти равандҳо дар шароити стандартӣ; таҳлили муҳоисавии маълумотҳои термодинамикии реаксияҳои агентҳои хлоркунанда нишон медиҳад, ки нисбат ба хлориди натрий самаранокии хлориди калсий хубтар мебошад.

**Чадвали 1.** - Маълумоти термодинамикии равандҳои сӯзонидани хлорронии консентрати сулфидии сурмадор ( $\Delta H^0$  и  $\Delta G^0$  дар кҶ/мол;  $\Delta S^o$  ва  $\Delta c_{p^o}$  дар кҶ/мол·К)

| энсентрати сунфидии сурмадор (ДП и ДС дар к ц   | тол, до т     | a dep dar | 11 4/1/1001       | 14)           |
|---|---------------|-----------|-------------------|---------------|
| Муодилаи раванд   | $-\Delta H^0$ | -ΔS°      | $-\Delta c_p^{o}$ | $-\Delta G^0$ |
| $1.Sb_2S_{3(\mathtt{T})} + 6NaCl_{(\mathtt{T})} + 6O_{2(\mathtt{g})} = 3Na_2SO_{4(\mathtt{T})} + 2SbCl_{3(\mathtt{T})}$ | 2300,7        | 1028,5    | 2,3               | 1994,7        |
| $2.Sb_2S_{3(r)} + 6NaCl_{(r)} + 6O_{2(g)} = 3Na_2SO_{4(r)} + 2SbCl_{3(g)}$  | 2164,1        | 720,7     | -                 | 1949,6        |
| 3. $2Sb_2S_{3(T)} + 9O_{2(g)} = 2Sb_2O_{3(T)} + 6SO_{2(g)}$   | 1441,8        | 219,4     | 24,1              | 1376,4        |
| $4.Sb_2S_{3(T)} + 5O_{2(g)} = Sb_2O_{4(T)} + 3SO_{2(g)}$  | 1640,7        | 335,8     | 35.9              | 1540,5        |
| $5. \ 2NaCl_{(r)} + SO_{2(g)} + O_{2(g)} = Na_2SO_{4(r)} + Cl_{2(g)}$   | 133,9         | 112,4     | 4,1               | 100,4         |
| 6. $2Sb_2O_{3(T)} + 6Cl_{2(g)} = 4SbCl_{3(T)} + 3O_{2(g)}$  | 55,2          | 134,4     | 43,4              | 15,15         |
| $7.2Sb_2O_{3(t)} + 6Cl_{2(g)} = 4SbCl_{3(r)} + 3O_{2(g)}$   | -81,2         | -173,4    | -                 | -29,5         |
| $8.Sb_2S_{3(T)} + 3CaCl_{2(T)} + 6O_{2(g)} = 3CaSO_{4(T)} + 2SbCl_{3(T)}$   | 2523,9        | 1050,7    | 3,5               | 2211,0        |
| 9. $Sb_2S_{3(r)}+3CaCl_{2(r)}+6O_{2(g)}=3CaSO_{4(r)}+2SbCl_{3(r)}$  | 2387,5        | 742,6     | -                 | 2166,2        |
| $10.6Sb_2S_{3(\mathtt{T})} + 18CaCl_{2(\mathtt{T})} + 39O_{2(\mathtt{g})} = 18CaSO_{4(\mathtt{T})} +$                   | 2563,3        | 1111,8    |                   | 2232,0        |
| $6SbCl_{5(T)} + 2SbCl_{3(T)} + 2Sb_2O_{3(T)}$   | 2303,3        | 1111,0    |                   | 2232,0        |
| $11.6Sb_2S_{3(T)}+18CaCl_{2(T)}+39O_{2(g)}=18CaSO_{4(T)}+$  | 2540,8        | 1060,5    | _                 | 2224,8        |
| $6SbCl_{5(r)} + 2SbCl_{3(r)} + 2Sb_2O_{3(r)}$   | 23 10,0       | 1000,5    |                   | 2221,0        |
| 12. $6Sb_2S_{3(T)}+18CaCl_{2(T)}+39O_{2(g)}=18CaSO_{4(T)}+$   | 2517,3        | 1010,8    | _                 | 2262,1        |
| $6SbCl_{5(r)}+2SbCl_{3(r)}+2Sb_2O_{3(r)}$   | 2317,3        | 1010,0    |                   | 2202,1        |
| 13. $6Sb_2S_{3(T)}+18CaCl_{2(T)}+39O_{2(g)}=18CaSO_{4(T)}+$   | 2494,5        | 926,2     | _                 | 2211,5        |
| $6SbCl_{5(r)} + 2SbCl_{3(r)} + 2Sb_2O_{3(r)}$   | 2171,3        | ,20,2     |                   |               |
| 14. $CaCl_{2(T)} + SO_{2(g)} + O_{2(g)} = CaSO_{4(T)} + Cl_{2(g)}$  | 342,3         | 232,2     | 8,6               | 273,1         |

# Муайян кардани махсулоти мутақобилаи консентрати фаъолгардидаи механикии сулфиди сурма бо хлориди натрий

**Омодасозии шихта.** Ашёи хоми қаблан майдашуда хлориди натрийро (дарачаи химиявй, ГОСТ 4233-77) аз элаки 0,0025 микрон мегузаронем. Дар зарфи махсус бо асбоби омехтакунак ьажми муайяни консентрати механиконидашудаи сулфиди сурма ва хлориди натрийро 2,5 дақиқа омехта мекунем. Омехтаи хосилшуда барои сузонидан фиристода мешавад. Хлоркунонии шихта дар ду режим гузаронда мешавад: — дар қураи муфели бе

додани ҳаво таъмин карда шуд; — режими сӯзонидани оксидгардонии хлориронӣ дар қураи трубавӣ бо додани ҳаво таъмин карда мешавад.

Хлориронии шихта бе додани ҳаво ба таври зерин ба амал бароварда мешавад. Омехтаи консентрати сулфиди сурма бо хлориди натрий, ки дар косачаи сафолй баробар чойгир карда шудааст, дар қураи муфелй (СНОЛ) ПЛ 5/12,5, гузошта мешавад. Имконияти кории қура то ҳарорати 1400°С мебошад.

Барои муайян кардани таркиби оптималии шихта ва шартхои раванди хлоркунонй як қатор тачрибаҳо гузаронда шуданд. Тачрибаҳо дар шароити зерин гузаронида шуданд:

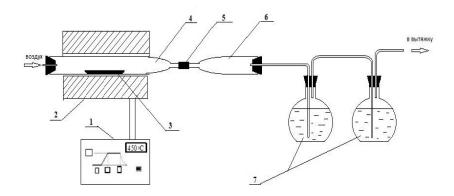
- дар ҳарорати гуногуни сӯзонидани намуна дар ҳудуди  $T=300\div700$ °C (бо афзоиши  $\Delta T=50$ °C) ва таносуби доимии массаи консентрат (м<sub>1</sub>, г) ва хлориди натрий (м<sub>2</sub>, г), баробар ба  $m_1/m_2=4/1$  ва вақти доим $\bar{u}$  ( $\tau=120$  дақ);
- дар ҳарорати якхела (T = 450 ° C) ва таносуби доимии ҷузъҳои омехта ( $m_1/m_2 = 4/1$ ), аммо бо вақтҳои гуногуни нигоҳдорӣ барои сӯзонидани хлориронии намуна ( $\tau$ , дар дақиқаҳо) аз 30 то 210 дақиқа, бо афзоиши  $\Delta \tau = 30$  дақиқа;
- дар таносуби гуногуни чузъҳои омехта ( $m_1/m_2$ ) ва ҳарорати доимӣ (T=450°C) ва ваҳти нигоҳдории доимӣ ( $\tau=120$  даҳ).

Таркиби фазавии маҳсулоти конденсатшудаи сӯзонидани хлорронии консентрат тавассути таҳлили фазавии рентгенй (Дрон-3,0 Сu-анод; Ni-филтр) муҳаррар карда шудааст ва асосан аз SbCl3 - 49,55% ва Sb2O4 - 25% вазни масса иборат аст ва маҳсулоти ҳлосилшуда ба осонй коркард карда мешавад ва аз ҷиҳати технологй фоиданок мебошад. Нуҳтаи оптималии сӯзонидани хлориронии консентрати сулфидии сурмадор муайян карда шуд: T=450°C,  $\tau=120$  даҳиҳа ва таркиби доимии пайвастагиҳо ( $m_1/m_2=4/1$ ). Дар ин шароит консентрати сулфидии сурма аз шаҳли сулфидӣ ба шаҳли хлориди ва ҳисман ба шаҳли оксидӣ мубаддал гардид.

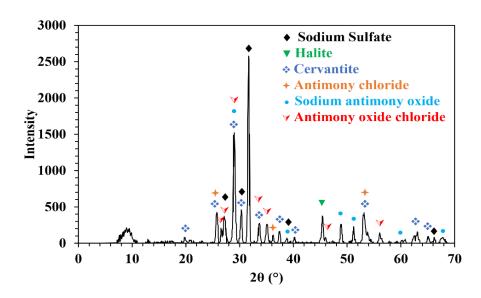
Барои муайян кардани асосҳои химиявии равандҳое, ки дар фазаи гази системаи оксиди-хлоронӣ ба амал меоянд, таҷҳизотҳои зерине, ки дар расми 3 нишон дода шудааст васл карда шудааст. Раванди сӯзонидан дар қураи Nabertherm RT 50-250/11/В410 гузаронида шуд бо додани ҳаво. Раванди кории қура то ҳарорати 1100°С-ро ташкил медиҳад, қураро ҳам ба шакли уфуқӣ ва ҳам ба шакли амудӣ ҷойгир карда мешавад (расми 4).

Консентрат дар шароити оптималй, дар режими бе таъминоти ҳаво сӯзонида шуд. Ҳангоми расидан ба шароити муайян, ҳаво ба система бо суръати муайян ба 1 л/соат дода мешавад. Пайвастагиҳои сурма дар шакли сублиматсия мушоҳида мешавад, ки дар қисми сарди найчаи конденсатор чойгир мешаванд. Конденсат, ки дар шакли кристаллҳои тиллой ба вучуд меояд, ҳангоми ҳунук шудан ранги сабзи тира мешавад. Маҳсулоти сӯзиши газ ба миқдори кам (SO₂ ва ғайра) дар абсорберҳо гирифта мешаванд.

Мувофики натичахои  $TP\Phi$ , махсулоти асосие, ки хам ба шакли сахт ва сублиматсия дар сатхи сарди конденсатор чойгир карда мешаванд, пайвастагихои сурма дар шакли хлорид (SbCl<sub>3</sub> - 49,55% вазн), оксид (сервантит Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - 25%), окохлоридхо (Sb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>Cl), омехтаи оксидхои сурма (Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NaSb<sub>5</sub>O<sub>13</sub>) ва Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> мебошанд. Кристаллхои конденсати ранги зард хосилшуда хангоми хунук шудан сабзи тира мешаванд (расми 5).



**Расми 4.** - Нақшаи васлкунии таҳҳизот барои гузаронидани тадҳикоти сӯзонидани оксидкунандаи хлордор: 1 - ҳисми идоракунии ҳура; 2 - ҳураи ҳубурии гардишкунанда; 3 - лоточак бо шихта; 4 - реактор барои сӯзонидан, 5 - дастгоҳи пайвастшавӣ; 6 - камераи ҳамъоварии барои чанг (конденсатор); 7 – абсорбер



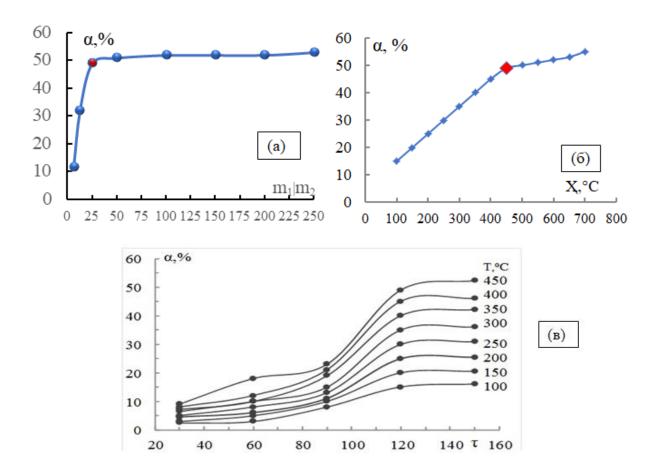
Расми 5. - Пиктограммаи консентрати сулфиди сурмаи сухташуда бо хлориди натрий

Таъсири омилҳои асосӣ омуҳта шуд: ҳарорат, вақти раванди суҳиш ва таносуби массаи реагенти хлориди натрий ба массаи консентрат ба суръати раванди суҳонидани хлоридии оксидгардонии қаблан механикӣ фаъолгардонидаи консентрати сулфидии сурма бо хлориди натрий. Тадқиқи таъсири омилҳои ҷудогонаи болозикр ҳангоми доимӣ будан дар раванди хлоронии суҳиш дар дараҷаи ҳосилкунии пайвастагиҳои сурма бо шарикии ҳаво ба роҳ монда шуд. Дар ҷадвали 2 натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии дараҷаи пайдоиш ва истихроҷи пайвастагиҳои сурма ба таркиби шихта ҳангоми хлоркунонии консентрати сурма оварда шудааст.

Вобастагии ҳосилнокии хлориди сурма ( $\alpha$ , %) аз таркиби шихта ( $\alpha$ ), ҳарорат ( $\delta$ ) ва вақти сӯзиш ( $\alpha$ ) дар расми  $\delta$  нишон дода шудааст.

**Чадвали 2.** - Вобастагии дарачаи истихрочи хлориди сурма ( $\alpha$ , %) аз харорат бо таркиби шихтаи доим $\bar{u}$  ( $m_1$ = $m_2$ =4/1) ва вақти доим $\bar{u}$  ( $\tau$ =120 мин)

| N₂ | X, °C | α, % | N₂ | X, ⁰C | α, % | № | X, °C | α, % | № | X, °C | α, % |
|----|-------|------|----|-------|------|---|-------|------|---|-------|------|
| 1  | 100   | 14,9 | 4  | 250   | 29,4 | 7 | 400   | 44,9 | 7 | 550   | 50,9 |
| 2  | 150   | 20,1 | 5  | 300   | 33,7 | 8 | 450   | 49,5 | 8 | 600   | 51,0 |
| 3  | 200   | 25,4 | 6  | 350   | 35,1 | 9 | 500   | 50,0 | 9 | 650   | 52,1 |



Расми 6. - Графики вобастагии хосилнокии SbCl<sub>3</sub> аз таркиби шихта (а), харорат (б) ва вақти сузиш (в)

Вобастагии хосилшавии хлориди сурма ( $\alpha$ , %) дар вақти сўзишй консентрат (расми 6) нишон медихад, ки таркиби оптималии шихта таносуби  $m_1/m_2$ = 4/1 (расми 6а); вобастагй аз харорати раванд нишон медихад, ки то харорати  $450^{\circ}$ С хосилшавии хлориди сурма ( $\alpha$  = 49%) тез мешавад ва дар харорати баландтар суст мешавад (расми 6б). Мумкин аст, ки дар  $450^{\circ}$ С раванди сўзонидани консентрат ва оксидшавии пайвастагихои сулфур оғоз гардад; вобаста ба вақти сўзиши шихта (расми 6в) дида мешавад, ки вобастагй аз се давра — ибтидой, асосй ва нихой иборат аст. Давраи аввал (то 90 дақиқаи вақти нигох доштан ҳангоми сўзиши шихта) бо андаке зиёд шудани истихрочи хлориди сурма дар худуди  $\Delta\alpha$ = 10% мушохида мешавад. Давраи асосй бо хосили назарраси маҳсулот ( $\Delta\alpha$  = 30%) дар давоми 90-120 дақиқа ба даст оварда мешавад. Қайд кардан мумкин аст, ки дар баробари

баланд шудани ҳарорати сӯзиш давраи ибтидоии раванд васеъ шуда, давраи асосй хеле зиёд мешавад, инчунин афзоиши ҳосилнокии маҳсулоти асосй - хлориди сурма меафзояд.

Тачрибаҳо нишон медиҳанд, ки шартҳои оптималии раванди сузиши консентратӣ ба таври меҳаникӣ фаъолшудаи сулфиди сурма бо хлориди натрий, ки барои ба даст овардани дарачаи максималии истихрочи сурма имконият медиҳанд инҳо мебошанд: таркиби омеҳта (4/1), ҳарорати максималӣ 450°С ва дар муддати 120 даҳиҳа.

Таҳлили ренгенофазавии маҳсулоти сӯҳташуда - сӯҳта (маҳсулоти саҳт) ва конденсат, таҳлили химиявии моддаҳои газие, ки дар шароити оптималӣ ба даст оварда шудаанд, имкон дод, ки баланси моддии раванди сӯзонидани консентрат тартиб дода шавад. Натичаи тачрибаҳо оид ба муайян кардани таркиби сурма ва сулфур дар маҳсулоти сӯҳташуда дар чадвали 3 оварда шудаанд. Барои ҳисоб кардани баланси моддӣ намунаи беҳтарини ҳамаи намунаҳои омӯҳташуда гирифта шудааст.

**Чадвали 3.** - Миқдори сурма аз рўи пайвастагихо (ваз. %) дар сўхта (махсулоти сахт) (а) ва фазаи газ (б)

| Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | SbCl <sub>3</sub>   | Sb <sub>4</sub> O <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> S | Sb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> |                     | ри умумии<br>рма | Баъд аз сўзиш                                |  |  |
|--------------------------------|---|--|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------------|--|--|--|
| 20,54(a)                       | 26,31(a)  | 4,0(a)   | 8,3(a)            |                                | 59,16 (a) 40,85 (б) |                  | 100  |  |  |
| Миқдор                         | Микдори пайвастагии сурма (в) ва сулфур (г) дар махсулоти сузиши оксидгардонй-<br>хлориронй |  |                   |                                |                     |                  |  |  |  |
| Дар сўхта(махсулоти сахт) (в)  |   |  |                   | Дар                            | конденсат(н         | в) (махсу.       | ур дар сӯхта<br>лоти сахт) (г),<br>∕⁄ аз асл |  |  |
| 20,54                          | 26,31   | 4,0  | 8,3               |                                | 40,25               |                  | 0,6  |  |  |

# Раванди сўзонидани хлорриронии ба таври механикй фаъолгардонидашудаи консентрати сулфидии сурма бо хлориди калсий

Тадқиқотҳои сершумор нишон доданд, ки раванди коркарди минерал ва маъданҳо инчунин ҳосил кардани як қатор металлҳо - сурма, молибден, мис ва никелро бо усули хлориронӣ бо хлориди натрий ва калий гузарондан мумкин аст. Нишон дода шудааст, ки раванди хлорронӣ дар ҳарорати нисбатан пасти T=450-500°C бо гузаштани пайвастагиҳои сулфур ба шаклҳои оксид ва хлорид ба амал меояд.

Мо барои дарёфти шароитҳои оптималии коркарди консентратҳои сулфиди сурма дар конҳои Ҷиҷикрут-и ҶДММ ТА «КМ «Анзоб» бо усули сузонидани хлорирони бо хлориди калсий (дараҷаи кимиёвии ГОСТ 4234-77) як қатор тадқиқотҳо анҷом додем.

Таҳқиқот бо аналогия бо хлориди натрий гузаронида шуд. Массаи умумии шихта бо роҳи омехта кардани микдори муайяни консентрат ва хлориди калсий дар таносуби додашуда ҳосил мешавад. Таъсири се омили асосй: ҳарорат, вақт ва таркиби шихта (таносуби массаи консентрат ва реагент) чунин омуҳта шуд:

а) - дар ҳарорати гуногуни сӯзонидани намуна дар ҳудуди  $T=250\div600$ °C (бо афзоишӣ  $\Delta T=50$ °C). Таносуби массаи консентрат ( $m_1$ , r) ба массаи хлориди калсий ( $m_2$ , r), баробар ба  $m_1/m_2=4/2$  ва ваҳти нигохдории шихта, баробар ба  $\tau=120$  даҳиҳа) бетағйир мемонад;

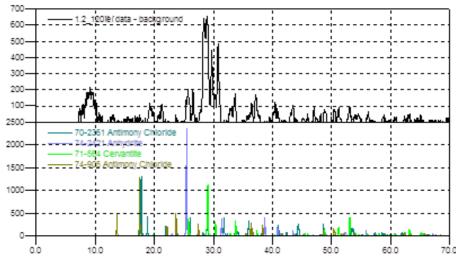
- б) бо тағйир додани мӯҳлати нигоҳдории сӯзиши намуна (аз 30 то 240 даҳиҳа, бо афзоиши  $\Delta \tau$ =30 даҳиҳа) ва ҳарорати доимӣ (T=450°C) ва таносуби доимии тарҳиби шиҳта (m<sub>1</sub>/m<sub>2</sub>=4/2);
- в) дар таносуби гуногуни таркиби шихта ( $m_1/m_2$ ) ва ҳарорати доимӣ (T=450°С) ва ваҳти нигоҳдорӣ ( $\tau=120$  даҳ).

Шароити раванди хлориронии консентрати сулфидии сурмаи қаблан фаъолгардонии механик бо хлориди калсий дар чадвали 4 оварда шудааст.

**Чадвали 4.** - Шароитҳо барои сузонидани хлоридии консентрати сулфидии:  $m_1$  - массаи консентрат,  $m_2$  - массаи хлориди калсий (вазнаш бо грамм)

|      | (a)                            |     |       |     | (б)                            |        |       |     | (B)                            |        |       |  |
|------|--------------------------------|-----|-------|-----|--------------------------------|--------|-------|-----|--------------------------------|--------|-------|--|
| №    | m <sub>1</sub> +m <sub>2</sub> | τ,  | T, 0C | №   | m <sub>1</sub> +m <sub>2</sub> | τ, мин | T, 0C | №   | m <sub>1</sub> +m <sub>2</sub> | τ, мин | T, 0C |  |
|      |                                | мин |       |     |                                |        |       |     |                                |        |       |  |
| 1.1  | 4 +2                           | 120 | 200   | 2.1 | 4 +2                           | 30     | 450   | 3.1 | 4+0,25                         | 120    | 450   |  |
| 1.2  | 4 +2                           | 120 | 250   | 2.2 | 4 +2                           | 60     | 450   | 3.2 | 4 +0,5                         | 120    | 450   |  |
| 1.3  | 4 +2                           | 120 | 300   | 2.3 | 4 +2                           | 90     | 450   | 3.3 | 4 + 1                          | 120    | 450   |  |
| 1.4  | 4 +2                           | 120 | 350   | 2.4 | 4 +2                           | 120    | 450   | 3.4 | 4 +1,5                         | 120    | 450   |  |
| 1.5  | 4 +2                           | 120 | 400   | 2.5 | 4 +2                           | 150    | 450   | 3.5 | 4 +2                           | 120    | 450   |  |
| 1.6  | 4+2                            | 120 | 450   | 2.6 | 4 +2                           | 180    | 450   | 3.6 | 4 +4                           | 120    | 450   |  |
| 1.7  | 4 +2                           | 120 | 500   | 2.7 | 4 +2                           | 210    | 450   | 3.7 | 4 + 6                          | 120    | 450   |  |
| 1.8  | 4 +2                           | 120 | 550   | 2.8 | 4 +2                           | 240    | 450   | 3.8 | 4 +8                           | 120    | 450   |  |
| 1.9  | 4 +2                           | 120 | 600   |     |                                |        |       |     |                                |        |       |  |
| 1.10 | 4 +2                           | 120 | 650   |     |                                |        |       |     |                                |        |       |  |

Таркиби маҳсулоти сӯзонидани хлоридии консентрати сулфиди сурма бо хлориди калсий баъди ҳар як силсилаи таҷрибаҳо ба воситаи ТРФ муайян карда шуд (расми 7). Натиҷаҳои таҳлил нишон дод, ки маҳсулоти асосии сӯзонидани хлорронӣ бо хлориди калсий ин хлоридҳо дар шакли SbCl₃, SbCl₅, оксиди сурма Sb2O₄ ва CaSO₄ мебошанд. Хлориди сурма SbCl₅ аз рӯи муодилаҳои 9-12 ташкил карда мешавад (ҷадвали 1).

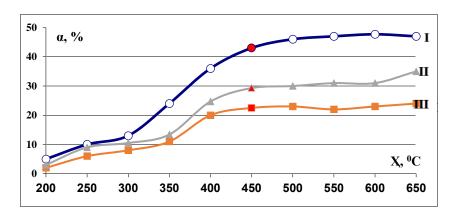


**Расми 7.** - Пиктограмма пас аз сузонидани хлорронии консентрат бо хлориди калсий Натичаи тадқиқотҳои раванд вобаста ба ҳарорат (ҷадвали 5) имкон дод, ки графики тағйироти дараҷаи истихрочи хлоридҳои  $SbCl_3$ ,  $SbCl_5$  ва оксиди сурма ( $Sb_2O_4$ ) муҳаррар

карда шавад (расми 8). Вақте ки ҳарорат аз 200 то 300°С баланд мешавад, равандҳои ҳосилшавӣ ва андаке ҷудо шудани пайвастагиҳои сурма оғоз меёбанд. Дар ҳарорати 300-450°С якбора зиёд шудани ҳосилшавии пайвастагиҳои сурма мушоҳида мешавад, ки он дар ҳарорати баландтар суст мешавад.

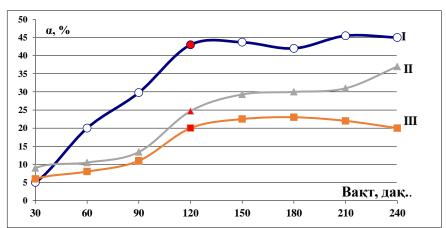
**Чадвали 5**. - Вобастагии дарачаи ( $\alpha$ , %) ҳосилшавии SbCl<sub>3</sub>, SbCl<sub>5</sub> ва Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> аз ҳарорат бо таркиби доимии шихта ва вақт

| №  | T, °C | α, SbCl <sub>3</sub> | α, Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | α, SbCl <sub>5</sub> | №  | T, °C | α, SbCl <sub>3</sub> | α, Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | α, SbCl <sub>5</sub> |
|----|-------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----|-------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1  | 200   | 5,2                  | 3,0                               | 2,1                  | 6  | 450   | 43,2                 | 28,3                              | 22,5                 |
| 2  | 250   | 10,1                 | 8,9                               | 6,0                  | 7  | 500   | 45,9                 | 30,1                              | 23,1                 |
| 3  | 300   | 13,0                 | 10,5                              | 8,1                  | 8  | 550   | 46,8                 | 31,1                              | 22,0                 |
| 4. | 350   | 24,2                 | 13,4                              | 11,0                 | 9  | 600   | 47,7                 | 31,0                              | 23,0                 |
| 5  | 400   | 37,9                 | 24,7                              | 20,1                 | 10 | 650   | 47,0                 | 34,9                              | 23,9                 |



**Расми 8.** - Графики вобастагии ҳосилшавии: I - SbCl<sub>3</sub>; II - Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; III - SbCl<sub>5</sub> аз ҳарорат бо таркиби доимии шихта ва вақт

Графики вобастагии хосилшавии пайвастагихои сурма  $\alpha$  (%) нисбат ба вақти сухтани шихта (расми 9) нишон медихад, ки раванди аз консентрати фаъолгардида истихроч кардани сурма ба намуди SbCl<sub>5</sub> ва Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> аз се давра – ибтидой, асосй ва нихой иборат аст.

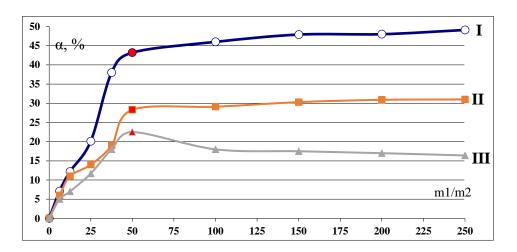


**Расми 9.** - Графики ҳосилшавии пайвастагиҳо: I - SbCl $_3$ ; II - Sb $_2$ O $_4$ ; III - SbCl $_5$  аз вақти с $\bar{y}$ зонидани консентрат дар як ҳарорати нигоҳдор $\bar{u}$  ва таркиби доимии шихта

Давраи аввала, ки 90 дақиқаи вақти нигоҳ доштан ва сузиши шихтаро дар бар мегирад, дар доираи  $\alpha = (10\text{-}12)\%$  каме зиёд шудани истихроҷи пайвастагиҳои сурма

ҳамроҳ мешавад. Давраи асосй бо ҳосили назарраси маҳсулот ҳамроҳ карда мешавад α = (20-25)% дар давоми 90-120 дақиқа ба даст оварда мешавад. Раванди истихроҷи сурма дар шакли SbCl<sub>3</sub> аз ду давра - асосй ва ниҳой иборат аст. Давраи ибтидой метавонад дар давоми 30 дақиқаи аввал сурат гирад. Баробари зиёд шудани муҳлати нигоҳ доштани сӱзиши раванд ҳосил кардани пайвастагиҳои сурма суст мешавад.

Графики вобастагии ҳосилшавии пайвастагиҳои сурма ( $\alpha$ , %) аз таркиби шихта дар шароити ҳарорати доимӣ (T=450°C) ва мӯҳлати нигоҳдории шихта ( $\tau$ =120 даҳиҳа) (расми 10) нишон медиҳад, ки оптималтарин таркиби шихта  $m_1/m_2$ =2/1 аст, ки дар он  $m_1$  - массаи консентрат,  $m_2$  - массаи хлориди калсий мебошад.



**Расми 10.** - Графики ҳосилшавии пайвастагиьои: I - SbCl<sub>3</sub>; II - Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; III - SbCl<sub>5</sub>; оид ба таркиби шихта  $(m_1/m_2)$  дар ҳарорати доим $\bar{u}$  ва вақти доимии нигоҳдор $\bar{u}$  барои с $\bar{y}$ 3онидан $\bar{u}$  консентрат

Тачрибаҳо нишон медиҳанд, ки шароити оптималии сӯзонидани консентрати сулфидии сурмаи қаблан механикӣ фаъолкардашуда бо хлориди калсий, ки барои ба даст овардани дараҷаи максималии истихроҷи сурма имкон медиҳад, ин: таркиби шихта (m<sub>1</sub>/m<sub>2</sub>=2/1, дар ин чо m<sub>1</sub>-массаи консентрата, m<sub>2</sub>-массаи хлориди калсия аст) бояд то 450°C дар давоми 120 дақиқа нигоҳ дошта шавад.

Хангоми коркарди гидрометаллургии маҳсулоти сузонидани хлоридии консентрати сулфидии сурма пайвастагиҳои хлориди сурма, ки қисми асосии маҳсулотро ташкил медиҳанд, дар об хеле хуб ҳал мешаванд. Пайвастҳои оксиди сурма, ки камтар аз 30%-ро ташкил медиҳанд дар маҳлулҳои кислотаи сулфат ба осонӣ ҳал мешаванд.

Дар **боби чорум** натичахои ҳалкунии маҳсулоти баъди раванди сӯзиш ҳосилшуда бо кислотаи сулфат ва раванди электролизӣ маҳлули сулфати сурма (III) оварда шудааст.

Усули гидрометаллургии бозкоркарди сўхтаи сурма барои ҳал кардани сурма ва ба маҳлул гузаштани пайвастагиҳои он ҳабул карда мешавад. Бо ин максад маҳсулоти сахти баъди раванди сўзиши хлорронй ҳосилшударо дар ҳалкунандаҳои гуногун чудогона дар кислотаҳо то охир ҳосилкунии оксидшавии пайвастагии сурма ҳал карда мешавад.

Солҳои охир дар Ҷумҳурии мардумии Чин ва Федератсияи Россия оид ба ҳалнамоии сулфидҳои сурма бо маҳлули хлориди оҳан (III) тадҳиҳоти гуногун гузаронда шудааст. Исбот шудааст, ки ҳангоми хлоронӣ кардани маъданҳои сурмадор оксохлоридҳои сурма ба вуҷуд меоянд, ки дар оби хунук ҳал намешаванд ва ҳангоми ҳалнамой дар кек боҳӣ

мемонанд, вале ҳангоми бо як ҳарорати муайян гарм кардан ба маҳлул дохил мешаванд. Муҳаррар карда шудааст, ки хлориди сурма (III) дар маҳлулхои кислотаҳои сулфат ва хлорид нағз ҳал мешавад.

# Усули гидрометаллургии коркарди махсулоти сухташудаи сурмадор

Барои муайян кардани шароити оптималии усули гидрометаллургии коркарди махсулоти сухташудаи сурмадор як қатор тачрибаҳо қаблан гузаронда шуданд. Тачрибаҳои пешакӣ дар ҳарорати гуногун дар давоми 120 даҳиҳа гузаронда шуданд. Ба сифати ҳалкунанда маҳлулҳои кислотаи сулфати H2SO4 (ГОСТ 2184-2013) ва кислотаи хлорид (ГОСТ 2184-2013) истифода шуданд. Миҳдори кислотаҳо (H2SO4 ва HCl) дар маҳлулҳо мувофиҳи маълумоти адабиёт интихоб шуда, 180 г/л-ро ташкил дод.

Хангоми омехта кардани маҳсулоти сӯхташуда бо кислота оксиди сурма ва қисман оксидҳои дигар металлҳо пурра ҳал мешаванд ба ионҳо тақсим мешаванд ва ба маҳлул дохил мешаванд. Силитсий, ки дар таркиби пайвастагӣ мавҷуд аст, пурра дар кек боқӣ мемонад.

Бо миқдори зиёди маҳлули кислота ва омехта намудани маҳсулоти суҳташуда бо маҳлул, реаксияи зуд бо ҳалшавии фраксияҳои майда ба амал меояд. Ҳалшавии фраксияҳои калон ҳангоми гарм кардани маҳлул ба амал меояд. Безараргардонии маҳлули кислота аз сабаби зиёд будани суҳташудаи хлориди сурма ба амал меояд. Ваҳте ки консентрати суҳташуда бо хлориди натрий гудохта мешавад, лойобаи кислотаи дорои фазаи саҳт ба вуҳуд меояд. Барои тоза кардани маҳлул лойоба ба фазаҳои моеъ ва саҳт ҳудо карда мешавад. Ҷудокунии лойоба бо ду усул сурат мегирад: ғафскунй ва филтратсия

Вақте ки лойоба ғафс мешавад, равандҳои мураккаби физикй ва химиявй ба амал меоянд, аз берун онҳо дар таҳшиншавии зарраҳои сахт дар муҳити моеъ зоҳир мешаванд. Ба суръати раванди ғафсшавй ва таҳшиншавй омилҳои зиёд таъсир мерасонанд, ки муҳимтарини онҳо рН, миҳдори гидроксидҳои металлҳои вазнин ва силитсий дар маҳлул, вазни хоси маҳлул ва ҳарорат мебошанд.

Раванди ҳалкунии маҳсулоти сӯҳташуда дар реакторе, ки дар термостати ултратермостати UTU2/82 гудохта шудааст, гузаронида шуд. Омехта бо истифода аз миксери болоии диски Экрос ПЭ8100 гузаронида шуд.

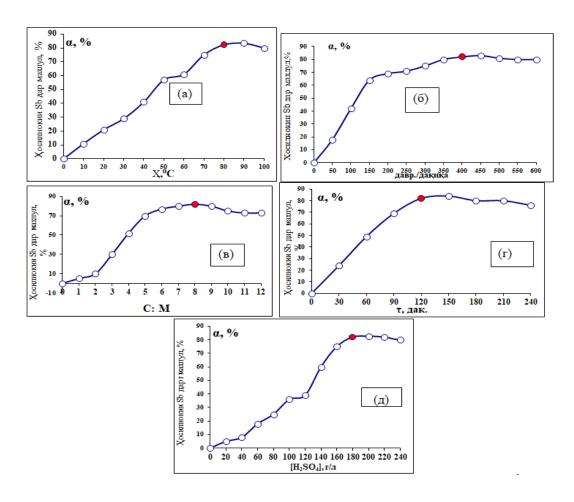
Миксер бо блоки идоракунй бо тахометри рақамй мучахҳаз аст, ки суръати гардиши додашударо ҳангоми тағйирёбии часпакии муҳити омеҳта таъмин менамояд. Пас аз расидан ба ҳарорати 80 °С, маҳсулоти суҳташудаи майдашуда ба реактори пур аз ҳалкунанда реҳта мешавад. Аз ҳамин лаҳза ваҳти ҳалшавй ба ҳисоб гирифта шуд. Суръати гардиши миксер муътадил нигоҳ дошта шуда, 400-450 чарҳзаниро ташкил дод. Баъди ба оҳир расидани ҳалкунии маҳсулоти суҳташуда дар давоми 120 даҳиҳа таҳлили ҳимиявй ва ТРФ нишон дод, ки ҳамагй 25 фоизи сурма дар шакли оксидҳо, боҳимондааш пурра дар маҳлул дар шакли хлоридҳо мебошад. Кеки ҳосилшуда дар маҳлули обии кислотаи ҳлорид (ГОСТ 3118-77, дарачаи ҳимиявй) ва дар оби софшуда бо омеҳтаи доимй бо омеҳтакунакй магнитй ва гармкунй гудоҳта шуд.

Аз маълумотҳои таҷрибавии пешниҳодшуда (ҷадвали 6) чунин бармеояд, ки қариб ҳамаи сурмаро бо роҳи ҳалкунӣ бо кислотаҳо гирифтан мумкин аст. Аз нуқтаи назари амалӣ (бо мақсади сарфа намудани реактивҳои химиявӣ) ҷолиби диққат аст, ки зиёда аз 65 фоизи сурма бо об ҳал мегардад.

**Чадвали 6.** - Натичахои раванди ҳалкунӣ бо реактивҳои гуногун (вақт - 2 соат, ҳарорат  $-80^{\circ}$ C, C: M = 1:8, таркиби электролит 180 г кислота дар 1 литр электролит

| Ҳалнамой                       | Хосилшавии Sb аз<br>махсулоти сухташуда, % | Баромади<br>кек, % | Миқдори Sb<br>дар кек, % | Хосилшавии<br>Sb, % |
|--------------------------------|--|--------------------|--------------------------|---------------------|
| Об                             | 59,1%                                      | 5,1                | 51                       | 69                  |
| HCl                            | 59,1%                                      | 4,7                | 12,5                     | 75                  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 59,1%                                      | 2,4                | 2,1                      | 85                  |

Дар таҳқиқоти минбаъда маҳлули обии кислотаи сулфат ҳамчун ҳалкунанда истифода шудааст. Ҳангоми татбиқи раванд панч омили асосӣ ба назар гирифта шуданд: ҳарорат (°С), суръати гардиши омехтакунак (V, гардиш/даҳиҳа), таносуби массаи сахт ва моеъ (С: М), ваҳт (даҳиҳа) ва таркиби электролит. Дар расми 11 графикҳои вобастагии дараҷаи истихроч ва ба маҳлул гузаштани сурма аз омили алоҳида (бо дигарҳо бетағйир мемонанд) оварда шудаанд.



**Расми 11.** - Графикҳои дараҷаи истихроҷи сурма (α) аз маҳсулоти сӯхташуда аз рӯи ҳарорат (а), суръати гардиши омехтакунак (б) ва таносуби реагенти сахт ба моеъ (С: М) (с), ваҳти омехтакунӣ ( $\Gamma$ ) ва консентратсияи кислота ( $\Gamma$ )

Натичаҳои бадастомадаро чамъбаст намуда, метавон гуфт, ки шартҳои оптималии истихроч ва ба маҳлул гузаштани сурма ( $\alpha$ = 82%) инҳоянд: ҳарорати гармкунии маҳлул

 $80^{\circ}$ С, суръати гардиши омехтакунак 400 чархзанй, таносуби сахт ба моеъ 1:8, вакт  $\tau$ = 120 дакика, кислота 180 г/л.

Дар тачрибаҳои гузарондашуда наҳшаи асосии технологии усули гидрометаллургии коркарди консентрати сӯхташудаи сурмаро тартиб додем, ки он дар расми 12 нишон дода шудааст.



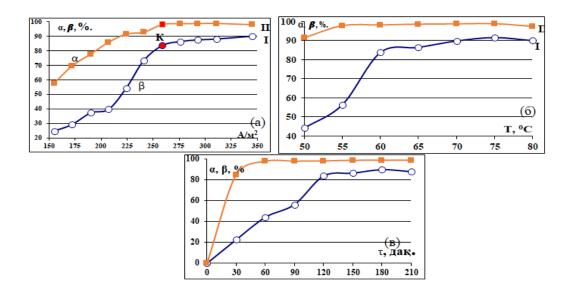
**Расми 12.** - Нақшаи технологии усули гидрометаллургии коркарди маҳсулоти сӯхташудаи сурмадор

## Хусусиятхои технологияи электролизи сурма аз сулфати сурма

Дар ин зерфасл натичахои тадкикоти раванд аз махлули сулфати сурма ба даст овардани сурма хангоми электролиз оварда шудаанд, ки дар он консентратсияи ибтидоии сурма дар махлул 83,2 фоизро ташкил дод. Тачхизоти лаборатории электролизй EZ-10 (6/600), ки дар он тахкикоти тачрибавй гузаронида шуданд. Параметрхои оптималии электрикй, вакт ва харорати электролиз муайян карда шуданд, ки ба режими самарабахши хосил кардани сурма чй аз рўи параметрхои чараён ва чй аз чихати дигар параметрхо мувофиканд. Баходихии самараи иктисодй дар асоси истеъмоли нерўи барк дода мешавад.

Консентратсияи ибтидоии электролитхо хангоми электролиз доимй нигох дошта мешуд -  $\rho$  = 180 г/л, дар холе ки харорат аз 55 то 75°C буд. Графикхои вобастагии хосили истихрочи сурма аз руч масса ( $\alpha$ ) ва тозагии металл ( $\beta$ ) ба зичии чараёни катод ( $\alpha$ ), харорат ( $\alpha$ ), вакти электролиз ( $\alpha$ ) дар (расми 13) нишон дода шудаанд.

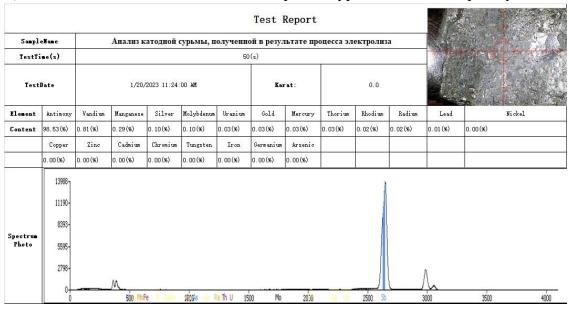
Вобастагии хосили сурма аз зичии цараёни катод $\bar{u}$  дар минтакае, ки зичии цараёнаш аз 224 то 259 А/м² мебошад хеле қав $\bar{u}$  аст, ки ин ба афзоиши хосилнок $\bar{u}$  аз 54,3% то 83,79% рост меояд. Нуқтаи (К) мухим буда, режими оптималии электролизро бо параметрхои мувофики оптималии баромад аз р $\bar{y}$ и масса -  $\alpha_0$  = 83,79% ва аз цихати тозаг $\bar{u}$  -  $\beta$  = 98,2% муайян мекунад, ки ба зичии цор $\bar{u}$   $J_{\rm K}$  = 259 А/м² мувофик аст ва тозагии нишондиханда амалан бета $\bar{u}$  бок $\bar{u}$  мемонад. Харорати электролит ба хосили махсулоти катод $\bar{u}$ , аз цумла ба хосили сурма, агар электролиз дар зичии оптималии цараёни катод гузаронида шавад, таъсири махсус намерасонад. Таъсири он ба тозагии хосили сурма дар харорати аз 60°С боло низ чандон назаррас нест. Хосилнокии оптималии сурма 83,70% дар давоми  $\bar{u}$  дакика ба даст меояд.



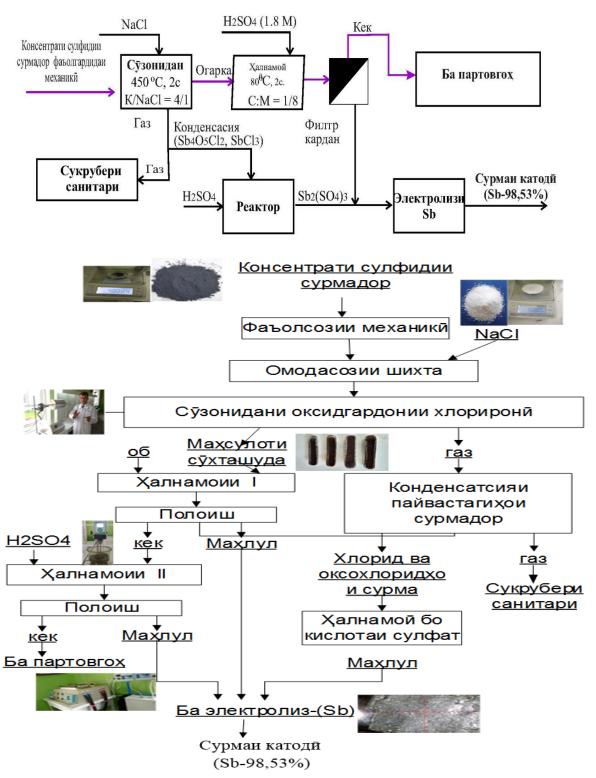
**Расми 13.** - Таъсири зичии чараёни катод (а), ҳарорат (б) ва вақти электролиз (в) ба хосилнокии сурма: аз рӯи масса - «α» ва аз рӯи тозагии «β»

Натичаҳои таҳлили спектралии сурма, ки дар параметрҳои оптималии электролиз ба даст омад, дар чадвали 7 оварда шудаанд. Аз чадвали 7 маълум мешавад, ки таркиби қабати катод $\bar{u}$  98,53% сурма дорад, ки ба тамғаи Су2 (98,8%) мувофиқи ГОСТ 1089 - 73 наздик аст, боқимонда аз ғашҳо иборат аст: ванадий (0,81%), манганин (0,29 %) ва дигар чузъҳои консентратсияи камтар аз 0,1%.

**Чадвали 7.** – Натичахои тахлили спектралии сурмаи ба даст овардашуда



Дар асоси тадқиқотҳои ба даст овардашуда нақшаи асосии технологии коркарди консентрати сулфидии сурма тартиб дода шудааст, ки он дар расми 14 оварда шудааст.



Расми 14. - Нақшаи технологии истехсоли сурма

#### ХУЛОСАХО

- 1. Муқаррар карда шудааст, ки ҳангоми ҳаблан фаъолсозии механикй ҳобилияти кушодашавии консентратҳои сулфидии сурма беҳтар мегардад ва дар шароити муайяни оптималй нисбат ба консентрати коркарднашуда дарачаи истихрочи сурма ду баробар зиёд мешавад [2-M, 11-M, 14-M, 18-M, 35-M].
- 2. Шароитҳои оптималии сӯзонидани оксидгардонии хлориронии консентрати ба таври механикӣ фаъолшудаи сулфиди сурма бо хлоридҳои натрий ва калсий муайян карда шудаанд, ки дар муҳоиса бо усули анъанавӣ ба дараҷаи баланди коркарди ашёи хом дар ҳарорати пасти сӯзонидан (T=450°C) ва усули анъанавии оксидшавии консентратҳо (T=1100-1200°C) имкон медиҳанд Натиҷаҳои ба ҳам мувофиҳ омадани таҷрибаҳо ва ҳисобҳои термодинамикӣ нишон медиҳанд, ки самараи бештари раванди хлориронии консентрат бо хлориди калсий нисбат ба хлориди натрий зиёдтар мебошад [3-М, 4-М, 5-М, 6-М, 7-М, 10-М, 11-М, 14-М, 15-М, 19-М, 20-М, 26-М, 27-М, 29-М, 31-М, 33-М, 36-М].
- 3. Шароити оптималии раванди ҳалнамоии маҳсулоти сӯхташудаи консентрати сулфидии сурма бо кислотаи сулфат муайян карда шудаанд. Шароити муфидтарини истихроч ва ба маҳлул интиқол додани сурма (α = 82%) дар шароити зерин ба даст оварда мешавад: ҳарорати гармкунии маҳлул 80°С, суръати гардиши омехтакунак 400 чарҳзанӣ. /дақ, таносуби саҳт ба моеъ 1:8, вақт τ=120 даҳиҳа, кислота 180 г/л [1-М, 9-М, 10-М, 22-М, 30-М, 37-М].
- 4. Нақшаи технологии раванди фаъолсозии механикй, хлорронии консентрати сулфидии сурмадори қаблан фаъолгардида бо хлориди натрий ва калсий, раванди ҳалнамоии маҳсулоти суҳташуда бо кислотаи сулфат ва раванди электролизи сурма аз маҳлули сулфати сурма пешниҳод карда шудаанд [10-М, 11-М, 30-М, 36-М].
- 5. Муайян карда шуд, ки шароити оптималии раванди электролиз аз маҳлули сулфати сурма (Sb<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) ки 83,2 фоиз сурма дорад инҳо мебошанд:
  - зичии чараёни катод  $J_{K0} = 259 \text{ A/m}^2$ ;
  - хосили сурма аз руи вазн α= 83,7%;
  - хосили сурма аз руи дарачаи тозаги β= 98,2%;
  - харорати махлул аз 50 то 75°C давомнокии раванд (t=120 дақ).

Пас аз коркарди мо тозагии сурма 98,53 фоизро ташкил медихад. Ин аз руи ГОСТ 1089-73 ба тамғаи **Су2** наздик аст (Sb-98,8%) [28-M, 34-M, 37-M].

### Тавсияхо барои истифодаи амалии натичахо

Усулҳои коркарди фаъолсозии механикй, сузонидани хлориронии консентрати пешакй фаъолгардида, ҳалнамоии маҳсулоти суҳташуда бо кислотаи сулфат ва электролизй онҳо барои коркарди комплексии дигар маъданҳои бисёркомпоненти Тоҷикистон истифода бурда мешаванд.

Натичахои диссертатсия дар ЧДММ «ТА» «КМ Анзоб», корхонаи вохиди давлатии «Фулузоти нодири Точикистон» (дорои санади татбик) мавриди истифода қарор гирифта, барои Вазорати саноат ва технологияхои нави Чумхурии Точикистон бахшхои он, муассисахои лоихакашй ва муассисахои илмии Академияи миллии илмхои Точикистон муфид мебошад.

Натичахои ба даст овардашударо дар донишгоххои техники ва факултетхои технологи хангоми тайёр кардани мутахассисон оид ба профилхои металлурги, химия, химияю технологи ва энергетикц истифода бурдан мумкин аст.

Се нахустпатент доир ба ихтирооти Чумхурии Точикистон гирифта шудаст.

## РЎЙХАТИ НАШРХО ДАР МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ:

# Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои илмии тавсиянамудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:

- [1-М]. Кадиров, А. А. Особенности способов получения сурьмы / А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов,** Ш. И. Мирзоев, Б. Бадалов // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» (Земледелец) Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур. 2020. N2 (88). С. 167-172.
- [2-М]. Кадиров, А. А. Механическая активация сульфидно-сурьмяных концентратов / А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов**, А. Б. Бадалов // Доклады НАНТ. 2021. № 7-8. С. 460-465.
- [3-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидных концентратов сурьмы хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кодиров, А. Б. Бадалов // Доклады НАНТ. 2021. № 9-10. С. 583-587.
- [4-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Оптимальные условия процесса хлорирующего обжига механоактивированных сульфидносурьмяных концентратов хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2022. № 1 (57). С. 49-55.
- [5-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Термодинамические характеристики процесса обжига механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата с хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, С. Б. Мирзажанова, Б. А. Бадалов // Композиционные материалы. 2023. № 1. С. 61-65.
- [6-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Эффективная технология переработки сульфидно-сурьмяного концентрата хлорирующим обжигом / Х. Ш. Рахимов, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов, З. А. Разыков // Горный вестник Узбекистана. 2023. № 1. С. 49-51.
- [7-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Переработка золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата / Х. Ш. Рахимов, Б. Б. Эшов, А. А. Кадиров А. Б. Бадалов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Екатеринбург. 2023. № 2. С. 43-51.
- [8-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Перспективы производства сурьмы из Таджикистана. / Х. Ш. Рахимов, М. Н. Бахтиёр, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Москва. 2023. № 3. С. 77-80.
- [9-М]. **Рахимов, Х.Ш.** Обоснованность эффективности гидрометаллургической переработки сурьма содержащих огарков / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов, З. А. Разыков // Горный вестник Узбекистана. 2023. № 2. С. 55-57.
- [10-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Разработка технологических процессов производства металлической сурьмы из сульфидного сурьмяного концентрата / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2023.  $\mathbb{N}$  2 (62). С. 72-80.
- [11-M]. **Rakhimov, Kh.Sh.** Mechanical Activation of Antimony Sulfide Concentrates Combined with Pyrometallurgical Chlorination / H. Sh. Rakhimov, C.G. Anderson, A. B. Badalov [et al.] // J. Miner. Sci. Materials − 2023. № 4. P. 107135.

# Мақолаҳое, ки дар конфронсҳои илмии чумҳуриявū ва байналмилалū нашр гардидаанд:

- [12-М]. Кадиров, А. А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов систем лантаниды сурьма / А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов,** А. Б. Бадалов, Тсюан Тсзингжи // ГНУ «Центр исследований инновационных технологий» при НАНТ. Душанбе, 2020. С. 50.
- [13-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Анализ стратегических программ и перспектив производства сурьмы в Республике Таджикистан / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Промышленный форум «Устойчивые шаги для промышленного развития». Бустон, 2021. С. 63-65.
- [14-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Особенности процесса хлорирования механо-активированных сульфидно-сурьмяных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Роль Российско-Таджикского (Славянского) университета в становлении и развитии науки и инновационного образования в Республике Таджикистан. Душанбе, 2021. С. 35-39.
- [15-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой общенациональной цели индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия». Душанбе, 2021. С. 122-126.
- [16-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Дистилляционный обжиг сурьмяного рудного сырья и промпродуктов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Состояние и перспективы развития горно-металлургической промышленности Таджикистана». Бустон, 2022. С. 66-69.
- [17-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Традиционные технологические схемы переработки сурьмяного рудного сырья Джижикрутского месторождения / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Там же. С. 69-72.
- [18-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Способ переработки сульфидно-сурьмяных концентратов методом механической активации. Оптимальные режимы механоактивации сульфидно-сурьмяных концентратов обеспечивающие оптимальное вскрытие концентрата / Х. Ш. Рахимов // V Международное книжное издание "Лучший молодой учёный 2022". Астана, 2022. С. 12-17.
- [19-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Кинетика процесса окислительно-хлорирующего обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Использование природных ресурсов, экология и устойчивое развитие» в рамках Международного десятилетия действий "Вода для устойчивого развития 2018-2028 годы". Бустон, 2022. С. 125-128.
- [20-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Рациональный метод переработки сульфидно-сурьмяных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Инновационное развитие науки». Душанбе, НАНТ, Центр инновационных технологий, 2022. С. 46-49.
- [21-М]. Рахимзода, К. Б. Эффективная технология переработки сульфидных золотосодержащих сурьмяных концентратов ОАО "ТАЛКО-ГОЛД" (Таджикистан), с использованием отечественной импортозамещающей технологии / К. Б. Рахимзода, **Х. Ш. Рахимов,** А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // "Перспективные научные исследования и их роль в построении инновационной модели". Омск, Международный институт перспективных исследований им. М.В. Ломоносова, 2023. С. 12-18.

- [22-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Разработка гидрометаллургического способа переработки сурьмяных огарков / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов, З. А. Разыков // «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых». Бустон, 2023. С. 38-40.
- [23-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Стратегия сурьмы и ее использование в современной технологии / Х. Ш. Рахимов // «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых». Бустон. 2023. С. 48-50.
- [24-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Технологические тенденции, новые приложения и металлургические стратегии извлечения сурьмы из антимонита / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Новые достижения в области естественных наук и информации» Российско-Таджикского (Славянского) университета. Душанбе, 2023. С. 143-146.
- [25-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Прогноз развития рынки сурьмы Таджикистан до 2025 г. / Х. Ш. Рахимов, М. Н. Бахтиёр, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты». Казань, КГЭУ, 2023. С. 207-212.
- [26-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Рациональный метод переработки сульфидно-сурьмяных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Новые достижения в области естественных наук и информатика». Душанбе, Российско-Таджикский (Славянский) университет, 2023. С. 115-117.
- [27-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Термодинамическое обоснование процесса обжига сульфидносурьмяного концентрата хлоридами натрия и кальция / Х. Ш. Рахимов, С. Б. Мирзажанова, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты». Душанбе, 2023. С. 68-72.
- [28-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Электрохимический спосб получения сурьмы из сульфата сурьмы / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // «Развитие новых направлений в химии и химической технологии", посвящ. академику Х. Сафиеву. Душанбе, ТНУ, 2023. С. 163-165.
- [29-М]. Рахимов, Х. Ш. Термодинамический анализ процесса хлорерующого обжига сурьмяного концентрата хлоридом кальция / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // Там же. С. 105-108.
- [30-M]. **Rakhimov, Kh. Sh.** Development of technological processes for the production of metal antimony from antimony sulphide concentrate / Kh. Sh Rakhimov, A. A. Kadirov, A. B. Badalov, Z. A Razykov // «Research and application of low-carbon metallurgy and the search for new production methods using green energy». Central South University, Changsha, China, 2023. P. 176-181.
- [31-M]. **Rakhimov, Kh. Sh.** Thermodynamic characteristics of the ricing process of mechanoactivated antimony sulphide concentrate with sodium chloride / Kh. Sh. Rakhimov, S. B. Mirzazhanova, A. A. Kadirov, B. B. Eshov, A. B. Badalov // The Uzbekistan-Japan International Conference «Energy-Earth-Environment-Engineering». Uzbekistan Japan Innovation Centerof Youth, Tashkent, 2023. P. 47-48.

### Нашрхо дар маводхои илмй-амалй конфронсхо:

[32-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Флотационное обогащение сурьмяно-ртутных сульфидных руд «Анзобская фабрика» / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Интеграция геометрографических, точных и технических дисциплин в процессе подготовки инженеров". – Бустон, 2023. - С. 152-155.

- [33-М]. **Рахимов, Х. Ш.** Изучение кинетики процесса. Графико-эмпирическое выявление оптимальных режимов и условий процесса хлорирующего обжига сульфида сурьмы / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // «Организация технологических перевозок грузов в открытых горных месторождениях Республики Таджикистан». Бустон, 2022. С. 59-63.
- [34-М]. Кадиров А. К. Установка режима процесса электролиза сурьмы из сульфата сурьмы / А. К. Кадиров, А. А. Кадиров, **Х. Ш. Рахимов**, Б. Б. Эшов, А. Б. Бадалов // Эффективная металлургическая переработка, экология и устойчивое развитие». Бустон, 2023. С. 3-5.

## Ихтироот оид ба мавзуи диссертатсии:

- [35-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1109. Способ переработки сульфидных концентратов / **Х. Ш. Рахимов,** А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Опубл. 19.05.2021 г. 6 с.
- [36-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1206. Способ переработки механоактивированных сульфидных сурьмяных концентратов хлорирующим обжигом / **Х. Ш. Рахимов,** А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов // Опубл. 12.09.2021 г. 8 с.
- [37-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1423. Способ переработки сульфидных золотосодержащих сурьмяных концентратов / **Х. Ш. Рахимов**, Б. Б. Эшов, А. А. Кадиров, А. Б. Бадалов, К. Б. Рахимзода // Опубл. 15.09.2023 г. 8 с.

#### **АННОТАТСИЯ**

ба рисолаи Рахимзода Хаёт Шифокул « Коркарди технологияи самараноки истехсоли сурма аз консентратхои сулфидии сурмадор", барои дарёфти дарачаи илмии номзади илмхои техникй аз руйи ихтисоси 05.17.00 — Технологияи химиявй (05.17.01-Технологияи моддахои ғайриорганикй)

*Калимаҳои калидū*: консентрати сулфидии сурмадор, фаъолгардонии механикū, сузонидани хлориронū, хлориди натрий ва калсий, ҳалкунū бо кислотаи сулфат, электролизи маҳлули сулфати сурма, сурма.

Объекти тадқиқот: консентратҳои сулфидии сурмадори кони Ҷиҷикрут.

**Мақсади кори диссертатсионй:** таҳияи технологияи самараноки коркарди консентратҳои сулфидии сурмадор ва ноил шудан ба дараҷаи баланди истихрочи сурма.

Навоварии илмии кори диссертатсионй иборат аст аз шартхои оптималии усули ба таври фаъолсозии механикй консентрати сулфидии сурмадори кони Чичикрути ЧДММ ТА «КМ Анзоб» муайян карда шуданд, ки ба баланд шудани қобилияти реаксионии консентрат ва қариб ду баробар барои тезонидани гузариши реаксия мусоидат мекунад; раванди хлорронии консентратхои сулфидии сурмадори механикй фаъолсозишуда бо хлориди натрий ва калсий кор карда баромада, чорй карда шудааст. Эҳтимолияти термодинамикй ва шароити оптималии гузаронидани раванд дар ҳарорати пасти 450-500°С дар муқоиса бо технологияи анъанавй (1100-1200°С) муайян карда шуд; параметрҳои оптималии физикию кимиёвии реаксияи ҳалкунии маҳсулоти баъд аз сузиши хлорирони ҳосилшудаи консентрати сурма бо кислотаи сулфат муайян карда шуданд, ки дар ин сурат ба маҳлул гузаштани миҳдори зиёди сурма ба даст оварда мешавад; наҳшаи асосии технологии равандҳои сузонидани хлориронй ва ҳалкунии маҳсулоти баъд аз сузиш ҳосилшуда бо истифода аз кислотаи сулфат тартиб дода шудаанд; режими оптималии аз маҳлули сулфати сурма (III) ба даст овардани сурмаи металй муайян карда шуд.

# Тавсияхо барои истифодаи амалии натичахо

Натичахои диссертатсия дар ЧДММ «ТА» «КМ Анзоб», Корхонаи вохиди давлатии «Фулузоти нодири Точикистон» (санади татбики амалигардонй) мавриди истифода карор гирифта, барои Вазорати саноат ва технологияхои нави Чумхурии Точикистон, бахшхои он, муассисахои лоихакашй ва муассисахои илмии Академияи миллии илмхои Точикистон муфид мебошад.

Натичахои ба даст овардашударо дар донишгоххои техники ва факултетхои технологи хангоми тайёр кардани мутахассисон оид ба профилхои металлурги, химия, химияю технологи ва энергетики истифода бурдан мумкин аст.

Се нахустпатент доир ба ихтирооти Чумхурии Точикистон гирифта шудаст.

### **АННОТАЦИЯ**

на автореферат диссертации Рахимзода Хаёт Шифокула на тему: «Разработка эффективной технологии производства сурьмы из сурьмяно-сульфидных концентратов» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.00 — Химическая технология (05.17.01 — Технология неорганических веществ)

**Ключевые слова:** сурьмяно-сульфидный концентрат, механическая активация, хлорирующий обжиг, хлориды натрия и кальция, сернокислотное выщелачивание, электролиз раствора сульфата сурьмы, сурьма.

**Объект исследования**: сульфидно-сурьмяные концентраты месторождения Джижикрут. **Цель диссертационной работы:** разработка эффективной технологии переработки сульфидно-сурьмяных концентратов и достижения высокой степени извлечения сурьмы.

Научная новизна: - определены оптимальные условия метода механической сульфидно-сурьмяных концентратов СП «Анзоб» Джиджикрутского способствующие повышению месторождения, вскрываемости концентратов извлечению сурьмы почти в два раза; - разработан и осуществлён процесс хлорирующего обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридами натрия и кальция. - определены термодинамическая вероятность и оптимальные условия проведения процесса при пониженных температурах 450-500°C по сравнению с практическим прототипом (1100-1200°C); - определены оптимальные физико-химические параметры реакции сернокислотного выщелачивания продуктов хлорирующего обжига сурьмяного концентрата, при которых достигается максимальный переход сурьмы раствор; разработаны принципиальные технологические схемы процессов хлорирующего обжига сурьмяного концентрата и выщелачивания продуктов; - определён оптимальный сернокислотного получения кондиционного металла сурьмы из раствора сульфата сурьмы (III).

# Основные положения, выносимые на защиту:

- технологические особенности процесса переработки и механической активации сульфидно-сурьмяного месторождения Джиджикруд; - результаты исследования процесса хлорирующего обжига механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата с использованием хлоридов натрия и кальция, улучшения вскрываемости концентрата и оптимальных условий процесса; - результаты исследования процесса сернокислотного выщелачивания продуктов обжига концентрата; - оптимальные условия проведения процесса, при которых достигается максимальное извлечение и растворение соединений сурьмы; - разработанные принципиальные технологические схемы переработки сурьмыю концентрата и кислотного выщелачивания огарка и растворение соединений сурьмы в технологическом растворе; - результаты разработки технологической схемы процесса электролиза и выявление оптимальных условий протекания процесса.

### Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертации применены в ТА ООО СП «Анзоб», ГУП «Таджредмет» (имеются акты внедрения) и могут быть полезны Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, его подразделениям, проектным и научным учреждениям НАН Таджикистана, и в вузах при подготовке специалистов по металлургическим, химическим, химико-технологическим и энергетическим профилям.

Получено три малых патента Республики Таджикистан.

### **ANNOTATION**

on the abstract of the dissertation of Rahimzoda Hayat Shifaqul on the topic "Development of an effective technology for the production of antimony from antimony-sulfide concentrates" for the academic degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.17.00 – Chemical technology (05.17.01 – Technology of inorganic substances)

**Key words:** antimony sulfide concentrate, mechanical activation, chlorinating roasting, sodium and calcium chlorides, sulfuric acid leaching, electrolysis of antimony sulfate solution, antimony.

**Object of study:** sulfide-antimony concentrates of the Dzhizhikrud deposit.

The purpose of the dissertation work: to develop an effective technology for processing sulfide-antimony concentrates and achieving a high degree of antimony extraction.

**Scientific novelty:** - the optimal conditions for the method of mechanical activation of sulfide-antimony concentrates of the Anzob joint venture of the Dzhidzhikrudskoye deposit were determined, which contribute to increasing the openability of the concentrates and the extraction of antimony by almost two times;

- a process of chlorinating roasting of mechanically activated sulfide-antimony concentrates with sodium and calcium chlorides has been developed and implemented. The thermodynamic probability and optimal conditions for carrying out the process at low temperatures of 450-500°C were determined in comparison with the practical prototype (1100-1200°C);
- the optimal physicochemical parameters of the reaction of sulfuric acid leaching of the products of chlorinating roasting of antimony concentrate were determined, at which the maximum transfer of antimony into solution is achieved;
- fundamental technological schemes for the processes of chlorinating roasting of antimony concentrate and sulfuric acid leaching of products have been developed; the optimal mode for obtaining conditioned antimony metal from a solution of antimony (III) sulfate has been determined.

Main provisions submitted for defense: - technological features of the process of processing and mechanical activation of the sulfide-antimony deposit of Dzhidzhikrud; - results of a study of the process of chlorinating roasting of mechanically activated sulfide-antimony concentrate using sodium and calcium chlorides, improving the openability of the concentrate and optimal process conditions; -results of a study of the process of sulfuric acid leaching of concentrate roasting products. Optimal process conditions under which maximum extraction and dissolution of antimony compounds is achieved; - developed basic technological schemes for processing antimony concentrate and acid leaching of cinder and dissolving antimony compounds into a technological solution; - results of developing a technological scheme for the electrolysis process and identifying optimal conditions for the process.

## Recommendations for practical use of the results

The results of the dissertation were applied in TA LLC JV Anzob, State Unitary Enterprise Tajredmet (there are implementation certificates) and can be useful to the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan, its divisions, design institutions and scientific institutions of the National Academy of Sciences of Tajikistan.

Three small patents of the Republic of Tajikistan were received.

Ба матбаа супорида шуд 10.11. 2024. Ба чопаш 13.11. 2024 имзо шуд. Қоғази офсетй. Хуруфи адабй. Гарнитура Times New Roman Tj. Теъдод 100

ЧДММ "Сармад-Компания" ш.Душанбе, кучаи Лохути, 6 гузаргохи 1