

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

Юсупова Жанар Адилькановна

Исследование процесса окисления сульфидных минералов с использованием
технологии Альбион

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7M07204 - «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 669.21.213

На правах рукописи

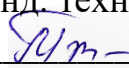
Юсупова Жанар Адилькановна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

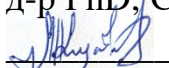
На соискание академической степени магистра

Название диссертации Исследование процесса окисления сульфидных
минералов с использованием технологии
Альбион

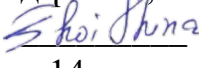
Направление 7М07204 - «Металлургия и обогащение
подготовки полезных ископаемых»

Научный руководитель,
канд. техн. наук, сениор-лектор
 Г.Ж. Молдабаева
« 10 » июня 2021 г.



Рецензент,
д-р PhD, СНС РГП «НЦ КИМС РК»
 Г.К. Малдыбаев
« 14 » июня 2021 г.



Нормконтроль,
д-р PhD, лектор
 Г.М. Койшина
« 14 » июня 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
МиОПИ, канд. техн. наук
 М.Б. Барменшинова
« 14 » июня 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

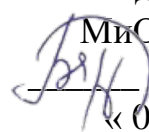
Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

7М07204 - «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиОПИ, канд. техн. наук

 М.Б. Барменшинова

« 03 » декабря 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Юсуповой Жанар Адылькановне

Тема: Исследование процесса окисления сульфидных минералов с использованием технологии Альбион

Утверждена приказом Ректора Университета №435-м от "03" декабря 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации: 01 июня 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: научная, учебная и методическая литература по теме диссертации, методики анализа сырья, данные о месторождениях.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) современное состояние рассматриваемой проблемы;

б) анализ состава исходного минерального сырья, отработка технологических параметров извлечения благородных металлов;

в) вопросы переработки упорных руд и концентратов

г) приложения

Перечень графического материала: презентационный материал в количестве 17 слайдов

Рекомендуемая основная литература:

1. Электронный ресурс: <https://www.glencoretechnology.com/ru>

2. Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: инновации в химии и металлургии. - г Алматы, 2015.

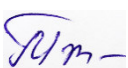
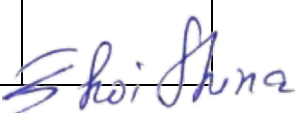
ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	03.02.2020 г.	
Литературный обзор	04.05.2020 г.	
Методика исследований	30.06.2020 г.	
Изучение вещественного состава исходных материалов	30.11.2020 г.	
Изучение результатов исследования ультратонкого измельчения и окисления	30.04.2021 г.	
Заключение	31.05.2021 г.	

Подписи

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

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	канд. техн. наук Г.Ж. Молдабаева	10.06.2021 г.	
Экспериментальная часть	канд. техн. наук Г.Ж. Молдабаева	10.06.2021 г.	
Нормоконтролер	д-р PhD Г.М. Койшина	10.06.2021 г.	

Научный руководитель  Молдабаева Г.Ж.

Задание принял к исполнению магистрант  Юсупова Ж.А.

Дата "03" декабря 2019 г.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертация тапсырмадан, кіріспеден, 5 бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс баспа мәтінінің 58 бетінде ұсынылған, 22 суреттен, 17 кестеден тұрады. Пайдаланылған әдебиеттерде 32 атау бар.

Тау-кен өндіру өнеркәсібіндегі тенденция бойынша металдарға сұраныс үздіксіз өсу кезінде кендердегі пайдалы компоненттің мөлшері төмендейді. Өңдеудің экономикалық тұрғыдан тиімді нұсқаларын қолдану алтын өндіруші компанияларға алтын қорларын қолдауға және ұлғайтуға мүмкіндік береді. Ең маңызды экономикалық аспект – бұл кеннің флотацияға жарамдылығы, мұнда алтынды массасы бойынша аз өнімде шоғырландыруға және кейіннен өңдеуге арналған жабдықтың өлшемдері мен құнын азайтуға болады. Бірақ алынған флотоконцентрат шаймалау процесіне тұрақты болып келеді.

Мұндай концентраттардан алтынды бөліп алу үшін алдымен химиялық өңдеу операциясы қажет, өйткені бұл кезде сульфидті минералдағы алтынның цианидке сезімталдылығы артады. Экономикалық тұрғыдан тиімді өңдеу нұсқаларын қолдану алтынның көп мөлшерін алуға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыста Қазақстанда құрамында алтыны бар кен орнының флотациялық концентратының заттық құрамы және оған сульфидті минералдарды тотықтыру үшін Альбион технологиясын қолдану зерделенді.

Түйінді сөздер: заттық құрамы, сульфидтер, тотығу, Альбион, тұрақты кендер, концентрат.

АННОТАЦИЯ

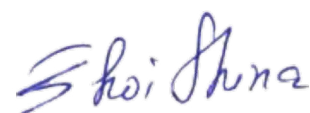
Настоящая магистерская диссертационная работа состоит из задания, введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 58 страницах машинописного текста, включает 22 рисунка, 17 таблиц. Список литературы содержит 32 наименования.

Тенденции в горнодобывающей промышленности таковы, что при непрерывном росте спроса на металлы, содержание полезного компонента в рудах снижается. Применение экономически целесообразных вариантов переработки позволяет золотодобывающим компаниям поддерживать и увеличивать свои запасы золота. Наиболее существенным экономическим аспектом является пригодность руды для флотации, где золото можно концентрировать в небольшом выходе по массе и сократить габариты и стоимость оборудования для последующей переработки. Однако полученный флотоконцентрат является упорным к процессу выщелачивания.

Извлечение золота из таких концентратов требует предварительную химическую обработку, чтобы золото, заключенное в сульфидном минерале, стало восприимчивым к цианированию. Применение экономически целесообразных вариантов переработки позволяет извлекать большее количество золота.

В данной работе изучен вещественный состав флотационного концентрата золотосодержащего месторождения в Казахстане и применение к нему технологии Альбион для окисления сульфидных минералов.

Ключевые слова: вещественный состав, сульфиды, окисление, Альбион, упорные руды, концентрат.



ANNOTATION

This master's thesis consists of assignment, introduction, 5 chapters, conclusion, list of references. The work is presented on 58 pages of typewritten text, includes 22 figures, 17 tables. The bibliography contains 32 titles.

Trends in the mining industry are such that with a continuous increase in demand for metals, the content of the useful component in ores is decreasing. Applying economically viable processing options allows gold mining companies to maintain and increase their gold reserves. The most significant economic aspect is the suitability of the ore for flotation, where gold can be concentrated in a small yield by weight and reduce the size and cost of equipment for subsequent processing. However, the resulting flotation concentrate is resistant to the leaching process.

The recovery of gold from such concentrates requires chemical pretreatment to make the gold trapped in the sulfide mineral susceptible to cyanidation. The use of economically viable processing options allows for the recovery of more gold.

The object of the study was the refractory flotation concentrate of the gold deposit in Kazakhstan.

The paper presents material composition of the flotation concentrate of the Kazakhstan gold mine deposit and application of the Albion technology to it for the oxidation of sulfide minerals.

Key words: material composition, sulfides, oxidation, Albion, refractory ores, concentrate.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Современное состояние проблемы переработки упорных руд и концентратов	14
1.1 Анализ вариантов переработки упорных руд и концентратов	15
2 Вещественный состав сульфидного флотационного концентрата	17
2.1 Гранулометрический состав пробы сульфидного концентрата	17
2.2 Химический состав пробы сульфидного концентрата	18
2.3 Минеральный состав пробы сульфидного концентрата	19
2.4 Исследование форм нахождения золота	20
2.5 Фазовый анализ золота	26
3 Общее описание технологии Albion™	27
3.1 Описание технологии ультратонкого измельчения в IsaMill™	29
3.2 Описание технологии окислительного выщелачивания Albion	32
4 Исследования по окислению сульфидных минералов по технологии Альбион	37
4.1 Оценка влияния крупности измельчения концентрата флотации	37
4.2 Окисление флотационного концентрата по технологии Albion	38
4.2.1 Исследования в режиме нейтральный Albion	39
4.2.2 Исследования в режиме кислотный Albion	42
5 Сорбционное выщелачивание окисленных концентратов флотационного обогащения по технологии Albion	46
Заключение	48
Заключение по вещественному составу	48
Заключение по ультратонкому измельчению концентрата флотации	49
Заключение по окислению флотационного концентрата по технологии Albion	50
Перечень принятых сокращений, терминов	53
Список использованной литературы	54
Приложения	57

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние научно-технической проблемы. Перед золотодобывающими компаниями сегодня встает серьезная задача по определению экономичных технологий переработки более сложных рудных тел по мере истощения запасов менее упорных руд. Применение экономически целесообразных вариантов переработки позволяет золотодобывающим компаниям поддерживать и увеличивать свои запасы золота.

Упорными считаются золотые руды, по которым не достигается высокое извлечение золота в традиционных циклах цианирования-выщелачивания даже при предварительном тонком измельчении. Причина низкого извлечения золота может заключаться в присутствии углеродистых материалов с природной сорбционной активностью или физического «заключения» золота в сульфидных минералах. Большая часть золотых руд относится к упорным, так как минералы золота содержатся в сульфидах. Данный тип золота обычно представляет собой очень мелкие частицы или золото, заключенное в твердом растворе в сульфидных минералах пирита и арсенопирита (FeAsS). Пирит с содержанием мышьяка называется мышьяковистый пирит и может содержать золото в своей структуре. Часто наблюдается обрамление пирита мышьяковистыми комплексами, а также комплексами в соединении арсенопирит-марказит-пирит. Соединение золота с пиритом зависит от содержания в руде и текстурных особенностей руды. При соседстве с пиритом в арсенопирите обычно наблюдается существенно более высокое содержание золота, чем в пиритовых соединениях. Энаргит (и люзанит) является распространенным медно-мышьяковистым минералом, который может рассматриваться как значимый носитель золота. К менее распространенным минералам относятся халькопирит и прочие сульфиды, и соли сульфокислоты, такие как пирротин, ковеллин, арсениды и антимонит.

Необходимо выполнить предварительную химическую обработку, чтобы золото, заключенное в сульфидном минерале, стало восприимчивым к цианированию. Вне зависимости от используемой технологии процесс обычно предполагает окисление сульфидных минералов с образованием кислоты. Продукты реакции и общая стехиометрия реакции определяются условиями реакции, которые могут варьироваться от мягких при щелочном и биологическом выщелачивании до агрессивных при автоклавном окислении. Содержание золота и серы (сульфиды и элементарная сера) напрямую соотносится с экономическими показателями процесса.

Выбор технологии переработки конкретной руды зависит от таких факторов, как минералогия, содержание драгоценных металлов и форма нахождения золота в руде, соотношение золота к сере и наличие вредных примесей.

Преимуществами тонкого и ультратонкого измельчения можно считать компактную конструкцию установок, простоту монтажа и обслуживания. Адаптивность к изменению технологических параметров. Недостатком

является то, что не всем концентратам достаточно механическое вскрытие для высокого извлечения золота.

Поэтому есть комплексные методы окисления сульфидных минералов, например, процесс Альбион. Albion Process представляет собой комбинацию ультратонкого измельчения и окисления кислородом без давления и внешнего нагрева. Процесс обладает рядом преимуществ: сера, переходящая в раствор при окислении сульфидов, осаждается в виде гипса, а осаждение железа и мышьяка протекает с образованием гётита и скородита, в результате чего последующее цианирование золота из концентрата сопровождается меньшим расходом цианида натрия. Отмечается и высокая «экологичность» процесса.

Актуальность работы. Вовлечение в переработку упорных сульфидных золотосодержащих руд является актуальной проблемой для мировой золотодобывающей промышленности. Известны различные методы переработки упорных сульфидных концентратов, такие как тонкое или ультратонкое измельчение, обжиг, автоклавное выщелачивание, бактериальное окисление, кислотно-кислородное выщелачивание, окисление под давлением, атмосферное окисление. Выбор технологии переработки конкретной руды зависит от таких факторов, как минералогия, содержание драгоценных металлов и форма нахождения золота в руде, соотношение золота к сере и наличие вредных примесей.

Для извлечения благородных металлов из золотосодержащих руд и концентратов в настоящее время широко используют цианиды, образующие хорошо растворимые комплексы золота и серебра. В то же время ведутся многочисленные исследования по поиску наиболее эффективных методов гидрометаллургического извлечения благородных металлов из упорных руд и концентратов. Одним из важных вопросов при переработке золотосодержащих руд и концентратов является предварительное окисление сульфидной части для более полного извлечения золота.

Изыскание новых и совершенствование известных способов, позволяющих осуществлять извлечение золота из упорных руд и концентратов с предварительным окислением, является вполне актуальным и целесообразным.

Цель работы – Разработка способа выщелачивания золота из упорного флотационного концентрата золотосодержащего месторождения Казахстана.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- выполнен комплекс исследований на коллективном сульфидном концентрате флотационного обогащения руды месторождения Казахстана
- детально исследован процесс ультратонкого измельчения коллективного концентрата флотации руды месторождения Казахстана и рассчитан удельный расход электроэнергии;
- выполнены исследования по окислению концентрата флотации месторождения Казахстана по технологии Albion в нейтральных и кислотных условиях.

Объект исследования – упорный флотационный концентрат золотосодержащего месторождения Казахстана.

Научная новизна:

- на основании детального анализа коллективного концентрата месторождения Казахстана выяснены формы нахождения золота и определен характер его взаимосвязи с рудными и породообразующими минералами;
- установлен механизм ультратонкого измельчения флотационного концентрата на первой стадии процесса Albion, заключающийся в создании существенного напряжения в кристаллической решетке сульфида, в результате чего наблюдается увеличение количества межзеренных трещин в минерале и становится возможным выщелачивание в атмосферных условиях.
- изучен процесс окисления сульфидных минералов по технологии Альбион и его влияние на дальнейшее растворение золота в процессе цианирования.

Методы проведения работы. Проведение комплекса научно-исследовательских работ осуществлялось с использованием поверенных приборов и средств измерений, сертифицированных методик. Методы исследования – в процессе работы проводились аналитические исследования (атомно-эмиссионный спектральный полуколичественный, ИК-спектрофотометрический, рентгенофазовый, рентгенофлуоресцентный и химико-аналитический).

Практическая значимость работы. Разработанная технология обеспечит доизвлечение золота из упорных золотосодержащих концентратов. Данная технология позволит решить вопрос переработки токсичного, содержащего большие количества арсенопирита техногенного сырья, исключая обжиг и дорогостоящие операции по улавливанию и утилизации мышьяка. На основании полученных результатов будут созданы новые технологии переработки упорного, труднообогатимого сырья и методы доизвлечения благородных металлов.

Применение комбинированных обогатительно-гидрометаллургических технологий позволит значительно повысить комплексность использования сырья и обеспечить эффективную защиту окружающей среды.

1 Современное состояние проблемы переработки упорных руд и концентратов

Основой технологии извлечения благородных металлов из руд является цианистый процесс, посредством которого добывается до 90 % золота и значительное количество серебра. Существует, однако, категория так называемых упорных руд, цианирование которых либо вообще невозможно, либо характеризуется низкими показателями извлечения металлов. Такие примеры достаточно типичны для золотодобывающей промышленности практически всех стран, являющихся основными производителями золота и серебра из рудного сырья. Таким образом, проблема рационального использования упорных руд золота и серебра не знает территориальных границ, и значимость ее с каждым годом постоянно возрастает.

Решением данной проблемы в настоящее время занимаются многочисленные научные центры и предприятия золотодобывающей промышленности в различных странах. Первые исследования по упорным рудам золота и серебра относятся к 30-40 годам прошлого столетия и связаны, главным образом, с выявлением причин низкого извлечения золота из руд на золотоизвлекательных фабриках.

В результате исследований, которыми охвачены практически все известные в настоящее время технологические типы и разновидности золото- и серебросодержащих руд, сформировано общее представление об упорных рудах как об особой категории минерального сырья, предложены система технологической классификации и методика экспрессной технологической оценки руд; сформулированы основные принципы обогащения и металлургической переработки упорного золоторудного сырья.

Известно, что главную проблему для золотодобывающей промышленности представляют руды и концентраты, содержащие тонковкрапленное золото и серебро в сульфидах (в основном, пиритные и мышьяково-пиритные руды). По оценке экспертов доля указанных руд составляет более 40 % мировых запасов золота в недрах.

В настоящее время основным процессом извлечения благородных металлов из руд и концентратов является цианирование, посредством которого извлекается до 90% золота и значительное количество серебра. Вследствие этого под технологически упорными необходимо, прежде всего, подразумевать такие золотые руды (или концентраты), которые по тем или иным причинам трудно поддаются обработке методом цианирования. В общем случае степень упорности золотосодержащего сырья характеризуется:

- тонкой вкрапленностью золота и серебра в минералы носители (физическая депрессия золота);
- наличием в руде примесей, проявляющих восстановительные или «цианисидные» свойства (химическая депрессия, проявляющаяся в «вялом» растворении металлов вследствие поглощения цианида или присутствующего в пульпе кислорода, а также образования на поверхности золотин всякого рода

химических пленок);

- повышенной сорбционной активностью рудных компонентов по отношению к растворенным в цианиде благородным металлам [1-5].

Среди вышеперечисленных показателей технологической упорности золотосодержащих руд особое место занимают руды, в которых золото находится в состоянии тонкой вкрапленности в сульфидных минералах, обладающих плотной структурой, что делает золото недоступным для цианистых растворов. К таким минералам-носителям относятся золотосодержащие сульфиды и, прежде всего арсенопирит (FeAsS) и пирит (FeS). Эти сульфидные минералы обладают повышенной золотоносностью. Значительная часть золота в них представлена дисперсными частицами, неразличимыми под микроскопом. Еще в 40-50-х годах прошлого столетия было показано что присутствие в сульфидах тонко дисперсных золотин размером 1-10 мкм и менее, причем исключительно в виде механической примеси. В коренных рудах золото образует ассоциации со многими минералами, характерными для гидротермальных месторождений, например, кварцем, сульфидами, карбонатами, арсенидами и т.п. Оно может находиться как внутри зерен этих минералов, так и на их поверхности. Наиболее емкими носителями золота являются пирит и арсенопирит, а также другие сульфидные минералы - халькопирит, халькозин, галенит, сфалерит. Очень важным для технологии является тот факт, что пирротины, как правило, не содержат тонко вкрапленного золота, для них характерна относительно крупная вкрапленность золота [6-9].

Наиболее существенным экономическим аспектом является пригодность руды для флотации, где золото можно концентрировать в небольшом выходе по массе и сократить габариты и стоимость оборудования для последующей переработки. Однако полученный флотоконцентрат является упорным к процессу выщелачивания.

Извлечение золота из таких концентратов требует предварительной химической обработки, чтобы золото, заключенное в сульфидном минерале, стало восприимчивым к цианированию. Применение экономически целесообразных вариантов переработки позволяет извлекать большее количество золота [9].

1.1 Анализ вариантов переработки упорных руд и концентратов

Множество трудов посвящено приемлемости определенных процессов предварительной обработки, таких как автоклавное окисление, биоокисление и обжиг, для конкретных типов руды. Стоимость новых технологий, таких как Альбион, может оказаться сопоставимой с традиционными технологиями, или даже ниже. Наиболее существенным экономическим аспектом является пригодность руды для флотации, где золото можно концентрировать в небольшом выходе по массе и сократить габариты и стоимость установки.

Кроме того, важным фактором является содержание/управление кислотой, образующейся в процессе окисления. В процессах биологического и автоклавного окисления предполагается полная нейтрализация всего объема кислоты, что требует повышенных эксплуатационных затрат (известняк и известь), также происходит осаждение существенного объема ангидрита, который подлежит утилизации, в то время как при обжиге кислота производится в виде коммерческого продукта [10-12].

Вне зависимости от используемой технологии процесс обычно предполагает окисление сульфидных минералов с образованием кислоты. Продукты реакции и общая стехиометрия реакции определяются условиями реакции, которые могут варьироваться от мягких при щелочном и биологическом выщелачивании до агрессивных при автоклавном окислении. Содержание золота и серы напрямую соотносится с экономическими показателями процесса.

Известны различные методы переработки упорных сульфидных концентратов, такие как тонкое или ультратонкое измельчение, обжиг, автоклавное выщелачивание, бактериальное окисление, кислотно-кислородное выщелачивание, окисление под давлением, атмосферное окисление [12-13].

Преимуществами тонкого и ультратонкого измельчения можно считать компактную конструкцию установок, простоту монтажа и обслуживания. Адаптивность к изменению технологических параметров. Недостатком является то, что не всем концентратам достаточно механическое вскрытие для высокого извлечения золота.

При обжиге концентрата преимуществом является полный распад сульфидов и углеродов, что обеспечивает высокие показатели извлечения золота из двойных упорных руд. Недостатком этой технологии считается устойчивость мышьяка к воздействию обжига. Накопление серы в нижнем слое печи приводит к негативной экологической ситуации. Для обеспечения устойчивости продукта и максимальных показателей извлечения золота может понадобиться 2-стадиальный обжиг. Необходимо поддерживать определенный уровень концентрации сульфидов для обеспечения автотермальности процесса. Использование газоуловителей диоксидов серы значительно увеличивает затраты. Затраты на утилизацию отходов существенно зависят от содержания мышьяка

При окислении под давлением главным преимуществом технологии является высокая скорость выщелачивания. Традиционные способы выщелачивания занимают гораздо больше времени и, в результате, имеют более низкие показатели извлечения, высокие капитальные и операционные затраты [14].

Технико-экономическими преимуществами применения бактериального выщелачивания являются небольшой расход реагентов, более высокая реакционная способность и скорость осаждения твердой фазы в бактериальных растворах по сравнению с растворами без бактерий, ускорение

окисления бактериями образующейся элементарной серы, простота обслуживания и, соответственно, низкие эксплуатационные и капитальные затраты и др. Основной недостаток применения технологий биоокисления — большая продолжительность. Требуется поддержание в живом состоянии огромного количества бактерий, чувствительных к химическим или температурным изменениям в руде [15].

Ультратонкое измельчение — ключевая стадия технологии Альбион (рисунок 1.1), поскольку именно этот этап позволяет увеличить площадь поверхности частиц сульфида, что улучшает протекание химических реакций [16]. Ультратонкое измельчение приводит к высокой степени деформации кристаллической решетки сульфидов. В результате количество поверхностных разрывов зерен и дефектов кристаллической решетки возрастает по величине на несколько порядков по отношению к неизмельченным минералам. Увеличение количества дефектов кристаллической решетки «активирует» минерал, способствуя выщелачиванию. Благодаря резкому увеличению площади поверхности минерала возрастает и глубина выщелачивания. За счет сверхтонкого измельчения также сводится к минимуму пассивация минеральной поверхности продуктами выщелачивания на основе серы.

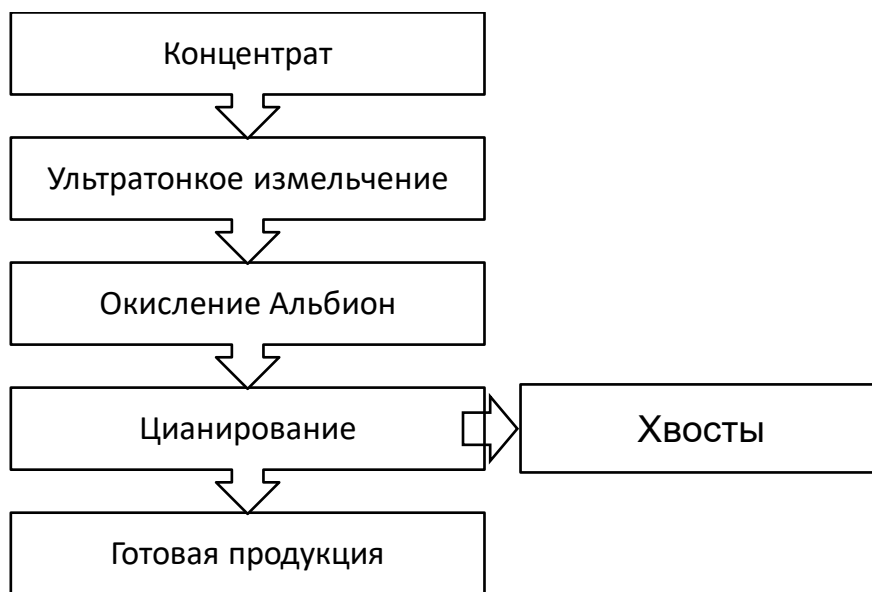


Рисунок 1.1 – Стандартная схема переработки упорных сульфидных золотосодержащих концентратов по технологии «Альбион»

Ультратонкое измельчение достигается с помощью применения IsaMill — запатентованной горизонтальной мельницы, в которой внутри стационарного корпуса установлены вращающиеся диски, приводящие в движение маленькие керамические шары (истирающая среда). Эти керамические шары (бисер) передают энергию частицам сульфида, что и

приводит к ультратонкому измельчению [17-18].

За стадией ультратонкого измельчения следует этап окислительного выщелачивания. Оно проводится в агитационных чанах, эксплуатируемых при атмосферном давлении. Для содействия окислению в реакционную пульпу вводится кислород. Выщелачивание происходит автотермически, таким образом, что температура реакционной пульпы задается количеством тепла, высвобождаемым в процессе реакции выщелачивания. Тепло из внешних источников в реакционную емкость не поступает. Температура регулируется за счет расхода добавляемого кислорода и плотности реакционной пульпы.

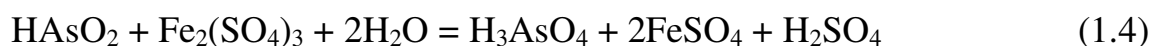
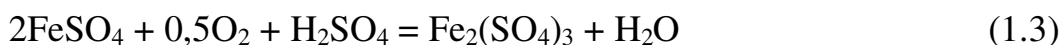
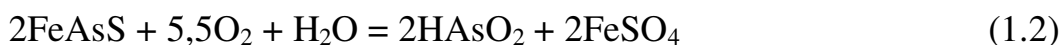
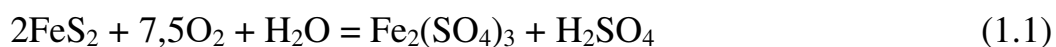
Применительно к извлечению драгоценных металлов технология Альбион может использоваться в широком диапазоне pH, в зависимости от минералогии исходного питания. Там, где основным упорным золотосодержащим минералом в концентрате является пирит, окислительное выщелачивание обычно осуществляют в щелочной среде.

Условия выщелачивания задают таким образом, чтобы обеспечить образование гетита в качестве основного продукта реакции железа. Условия щелочной среды повышают скорость выщелачивания пирита за счет постоянной нейтрализации кислоты, образующейся при окислении пирита. Наиболее предпочтительными для использования при окислительном выщелачивании являются дешевые щелочи, такие как известняк и известь.

Там, где перерабатываемый концентрат содержит значительные количества мышьяка или извлекаемых цветных металлов, окислительное выщелачивание осуществляют в условиях кислой среды с последующей нейтрализацией пульпы перед цианидным выщелачиванием.

Таким образом, с помощью технологии Альбион возможно перерабатывать руды, содержащие большое количество токсичных элементов, например мышьяка или сурьмы. При этом все элементы, содержащиеся в них, сохраняются в стабильной форме.

По данным разработчиков процесса окисление сульфидных минералов может быть описано следующими уравнениями реакций:



Как отмечалось ранее, процесс «Альбион» проводится в относительно нейтральной среде: при pH пульпы более 4,0. Для нейтрализации, образующейся при окислении по реакциям (1.1) и (1.4) серной кислоты, используют наиболее дешёвый реагент – известняк. Таким образом, в общем виде окисление сульфидов в процессе «Альбион» может быть описано

следующими уравнениями реакций:



Преимуществом процесса «Альбион» перед рядом других традиционных процессов разложения сульфидных минералов является относительная инертность продуктов окисления по отношению к цианиду и их экологическая безопасность [19-23].

Процесс Альбион, при условии использования подходящей технологии ультратонкого измельчения, представляет собой довольно простую технологию. Благодаря простоте технологической схемы капитальные затраты на строительство фабрики по технологии Альбион могут быть значительно ниже, чем для фабрик бактериального или автоклавного выщелачивания. Кроме того, процесс Альбион не так сложен с точки зрения химии. Так как Albion Process представляет собой комбинацию ультратонкого измельчения и окисления кислородом без давления и внешнего нагрева, он обладает рядом преимуществ: сера, переходящая в раствор при окислении сульфидов, осаждается в виде гипса, а осаждение железа и мышьяка протекает с образованием гётита и скородита, в результате чего последующее цианирование золота из концентрата сопровождается меньшим расходом цианида натрия. Отмечается и высокая «экологичность» процесса [24].

2 Вещественный состав сульфидного флотационного концентрата

Для флотационного концентрата, полученного при обогащении исходной руды месторождения Казахстана, выполнено изучение вещественного состава. В ходе исследований выполнен ситовой анализ с распределением золота, железа и серы, определены химический и минеральный состав продукта.

2.1 Гранулометрический состав пробы сульфидного концентрата

На пробе флотоконцентрата выполнен ситовой анализ с распределением золота, железа и серы по классам крупности Гранулометрический состав пробы сульфидного концентрата, полученного в результате укрупненной наработки, приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Гранулометрический состав пробы сульфидного концентрата

Класс крупности, мм	Выход, %	$\Sigma \gamma$ "-", %	Содержание, %			Распределение, %		
			Au, г/т	Fe	S	Au	Fe	S
-0,1+0,071	7,40	100,00	65,90	21,00	13,40	6,89	6,44	7,62
-0,071+0,045	16,71	92,60	76,70	25,00	13,50	18,11	17,32	17,35
-0,045+0,038	13,27	75,89	78,50	29,90	15,40	14,72	16,45	15,71
-0,038+0,020	21,05	62,63	78,00	27,80	15,90	23,20	24,26	25,74
-0,020+0	41,58	41,58	63,10	20,60	10,50	37,08	35,52	33,58
Итого	100,00	-	70,76	24,11	13,00	100,00	100,00	100,00

По данным ситового анализа, в пробе сульфидного концентрата прослеживается равномерное распределение материала с повышением выхода материала от верхних классов к нижним. Выход шламового класса -0,020+0 мм составил 41,58 %.

Содержание золота в концентрате по данным гранулометрической характеристики, составляет 70,76 г/т и в разных классах колеблется от 63,1 г/т до 78,5 г/т. Распределение золота в пробе сульфидного концентрата пропорционально выходам классов, концентрирование металла не наблюдается.

Содержание железа и серы в пробе сульфидного концентрата составляет 24,11 % и 13 % соответственно. Железо колеблется по классам от 21 % до 29,9 %, сера – от 10,5 % до 15,9 %.

2.2 Химический состав пробы сульфидного концентрата

Для пробы флотоконцентрата определен химический состав. Исследования выполняли с использованием оптико-эмиссионного, атомно-абсорбционного, ИК-спектроскопического, гравиметрического, титриметрического и фотометрического методов анализа. Содержание золота и серебра определено методом прямого пробирного анализа. Результаты химического анализа приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химический состав пробы сульфидного концентрата

Элемент	Массовая доля, %
SiO ₂	12,29
Al ₂ O ₃	1,93
CaO	5,69
K ₂ O	0,31
Na ₂ O	<1,0
MgO	0,43
MnO	0,11
P ₂ O ₅	0,07
TiO ₂	0,07
Fe	21,1
S	12,9
Pb	0,0063
Zn	0,043
Cu	0,84
As	34,0
Mo	0,19
Ba	0,018
Bi	0,092
Cd	<0,0002
Co	1,26
Cr	<0,0050
Sb	0,012
Ni	0,20
Sr	0,015
B	0,057
Sn	<0,0050
W	<0,010
Au, г/т	70,8
Ag, г/т	4,35

По данным, представленным в таблице 2.2, установлено, что химический состав пробы сульфидного концентрата на 20,9% представлен литофильными компонентами. Основным из них является кремнезем, на долю которого приходится 12,29 %. Доля глинозема находится на уровне 1,93 %.

Суммарное количество щелочных и щелочноземельных металлов в концентрате составляет 6,54 %. Среди них существенно преобладает оксид кальция.

Рудообразующие элементы в пробе сульфидного концентрата представлены железом, мышьяком и серой. Количество железа находится на уровне 21,1 %, мышьяка – 34 %. Массовая доля серы составляет 12,9 %.

Среди цветных металлов в концентрате отмечается повышенное содержание кобальта – 1,26 %, меди – 0,84 %, никеля – 0,2 % и молибдена – 0,19 %. Другие цветные металлы, а также вредные примеси, такие как сурьма и ртуть, в пробе концентрата отмечаются в количестве, не превышающем сотых и тысячных долей процента.

По данным пробирного анализа, содержание золота в пробе сульфидного концентрата составляет 70,8 г/т, серебра – 4,35 г/т.

2.3 Минеральный состав пробы сульфидного концентрата

Для определения минерального состава пробы концентрата выполнены дифрактометрический, количественный минералогический анализы. В таблице 2.3 приведен минеральный состав пробы сульфидного концентрата, определенный по результатам комплекса исследований.

Таблица 2.3 – Минеральный состав пробы сульфидного концентрата

Минерал, группа минералов	Массовая доля, %
Породообразующие минералы	
Кварц	10,0
Диопсид	5,0
Карбонаты	2,0
Полевые шпаты	2,0
Гранаты	8,0
Рудообразующие минералы	
Арсенопирит, леллингит, саффлорит	65,0
Кобальтин	3,0
Халькопирит	2,0
Пирит, пирротин	2,0
Молибденит	0,3
Другие сульфиды	Единичные знаки
Аксессуарные	0,7
Итого:	100,0

По данным, представленным в таблице 2.3, видно, что проба сульфидного концентрата на 27 % представлена породообразующими минералами. Среди них преобладает кварц, доля которого находится на уровне

10 %. Массовая доля гранатов составляет 8 % от общей массы пробы концентрата. Надолго диопсида приходится 5 %. Полевые шпаты и карбонаты отмечаются в количестве 2 %.

Рудная минерализация в пробе концентрата представлена сульфидами различных металлов. Суммарное количество арсенопирита, леллингита и сафлорита составляет 65 %. На долю кобальтина приходится порядка 3 %. Пирит и пирротин, суммарно отмечаются в количестве 2 %. Столько же приходится на халькопирит. Доля молибденита в пробе сульфидного концентрата составляет 0,3 %. Прочие сульфиды различных металлов (галенит, сфалерит и т.д.) отмечаются в количестве единичных знаков. Массовая доля акцессорных минералов составляет 0,7 %.

2.4 Исследование форм нахождения золота

Золото в пробе руды месторождения Казахстана является ценным компонентом. Его содержание во флотоконцентрате составило 70,8 г/т. Золото в концентрате находится как в самородной форме, так и в виде соединения с висмутом – мальдонита. Помимо золота в пробе концентрата обнаружены самородный висмут и теоллуrowисмутит. В таблице 2.4 представлен химический состав минералов золота и висмута, обнаруженных в пробе сульфидного концентрата.

Таблица 2.4 – Химический состав минералов золота и висмута

№ замера	Наименование минерала	Массовая доля, %			
		<i>Ag</i>	<i>Te</i>	<i>Au</i>	<i>Bi</i>
1	Свободное золото с примесью серебра	–	–	100,00	–
2		–	–	100,00	–
3		–	–	100,00	–
4		–	–	100,00	–
5		–	–	100,00	–
6		–	–	100,00	–
7		–	–	100,00	–
8		–	–	100,00	–
9		–	–	100,00	–
10		0,29	–	99,71	–
11		1,47	–	98,53	–
12		1,68	–	98,32	–
13		1,72	–	98,28	–
14		1,75	–	98,25	–
15		2,51	–	97,49	–
16		2,96	–	97,04	–
17		3,34	–	96,66	–
18		3,65	–	96,35	–
19		3,71	–	96,29	–

Продолжение таблицы 2.4

№ замера	Наименование минерала	Массовая доля, %			
		<i>Ag</i>	<i>Te</i>	<i>Au</i>	<i>Bi</i>
20		4,56	–	95,44	–
21	Мальдонит	–	–	66,80	33,20
22		–	–	66,54	33,46
23		–	–	66,07	33,93
24		–	–	66,03	33,97
25		–	–	65,8	34,20
26		–	–	65,8	34,20
27		–	–	65,69	34,31
28		–	–	65,52	34,48
29		–	–	65,03	34,97
30		–	–	64,64	35,36
31		–	–	63,27	36,73
32		–	–	63,17	36,83
33		–	–	63,03	36,97
34		–	–	58,97	41,03
35		–	–	58,74	41,26
36		–	–	58,64	41,36
37		–	–	51,77	48,23
38		–	–	50,27	49,73
39		–	–	47,07	52,93
40	Самородный висмут с примесью теллура	–	–	–	100,00
41		–	–	–	100,00
42		–	–	–	100,00
43		–	–	–	100,00
44		–	3,14	–	96,86
45		–	8,44	–	91,56
46		–	9,84	–	90,16
47	Теллуровисмутит	–	12,33	–	87,67
48		–	13,91	–	86,09
49		–	16,05	–	83,95
50		–	16,97	–	83,03
51		–	17,89	–	82,11

Самородное золото в пробе сульфидного концентрата характеризуется как весьма высокопробное, чистое, с небольшой примесью серебра. Помимо самородного золота, в сульфидном концентрате отмечается мальдонит, в котором доля золота варьирует от 47 до 67 %. Самородный висмут преимущественно чистый, иногда с примесью теллура. В теллуровисмутите доля висмута варьирует от 82 до 88 %.

Для изучения технологического-минералогического характеристик самородное золото и мальдонит объединены в одну группу далее «золото».

На рисунке 2.1 представлена гранулометрическая характеристика

золота.

Крупность золота в концентрате не превышает 8 мкм. Основная масса зерен ценного компонента представлена частицами, размером 6-8 мкм. Их количество составляет 50,57 % от общей массы золота. Тонкие частицы размером 0-2 мкм наблюдаются в количестве 34,46 %. На долю зерен крупностью 2-4 мкм приходится 10,67 % золота. Частицы крупностью 4-6 мкм отмечаются в количестве 4,3 %.

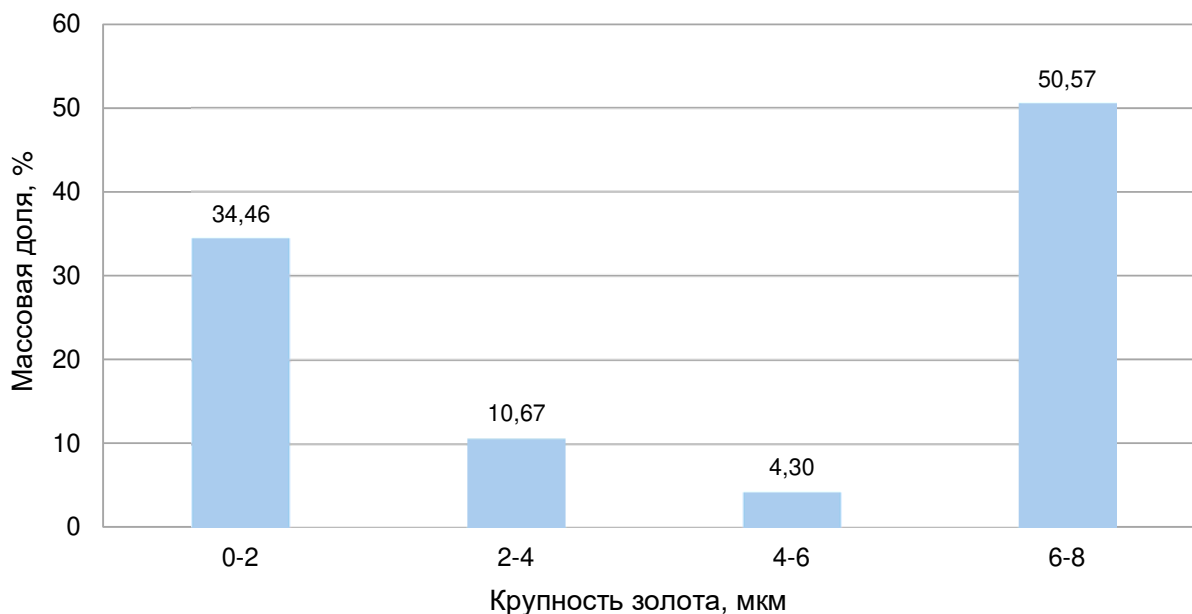


Рисунок 2.1 – Гранулометрическая характеристика золота

В таблице 2.5 и на рисунке 2.2 представлена информация о степени раскрытия золота в пробе сульфидного концентрата

Таблица 2.5 – Распределение зерен золота по категориям раскрытия

Категория раскрытия зерен	% открытой минеральной поверхности частицы	Распределение золота, %
Полностью раскрытые (свободные)	100	0,00
Раскрытые	$90 < X < 100$	0,00
Богатые частично раскрытые	$60 < X \leq 90$	0,00
Частично раскрытые среднего качества	$30 < X \leq 60$	0,00
Бедные частично раскрытые	$10 < X \leq 30$	50,03
Очень бедные, практически закрытые	$0 < X \leq 10$	20,82
Закрытые	0	29,15
Итого:		100,00

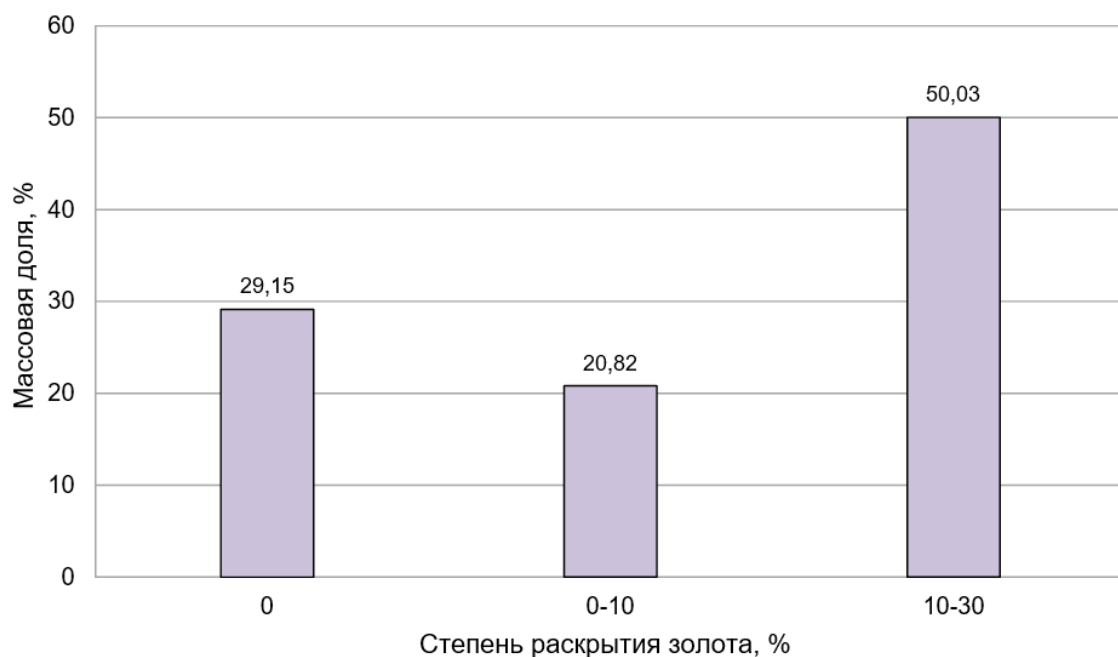


Рисунок 2.2 – Распределение золота по степени раскрытия

На рисунке 2.2 видно, что в пробе сульфидного концентрата свободные, раскрытые, богатые, частично раскрытые, а также частично раскрытые среднего качества частицы золота отсутствуют. Основная масса золота сосредоточена в сростках со степенью раскрытия 10-30%, составляя 50,03%. Остальные частицы золота, в количестве 49,97%, приходятся на полностью закрытые и очень бедные, практически закрытые зерна. Свободное золото в пробе сульфидного концентрата отсутствует.

В таблице 2.6 представлены минеральные ассоциации золота в сростках.

Таблица 2.6 – Минеральные ассоциации золота

Минерал, группа минералов	Массовая доля золота, %
Фон	3,96
Порода	0,29
Лёллингит-саффлорит	8,85
Арсенопирит	69,50
Кобальтин-герсдорфит	1,22
Минералы висмута	16,13
Халькопирит	0,04
Итого	100,0

Фон включает в себя золото, к поверхности которого имеется доступ к растворам и реагентам. Доля такого золота во флотоконцентрате составляет всего 3,96%.

Основным минералом, в ассоциации с которыми находится золото, в сульфидном концентрате является арсенопирит. На долю арсенопирита приходится 69,5 % золота. В ассоциации с минералами висмута отмечается 16,13 % золота. Срастания золота с группой минералов лёллингит-саффорит составляют 8,85 %. С группой минералов кобальтин-герсдорфит связано 1,22 % золота. В ассоциации с другими минералами отмечается незначительная доля золота – менее 1 %.

На рисунке 2.3 представлены наиболее интересные зерна золота в ассоциации с различными минералами, обнаруженные при картировании. В Приложении В представлены наиболее интересные снимки частиц золота в ассоциации с различными минералами.

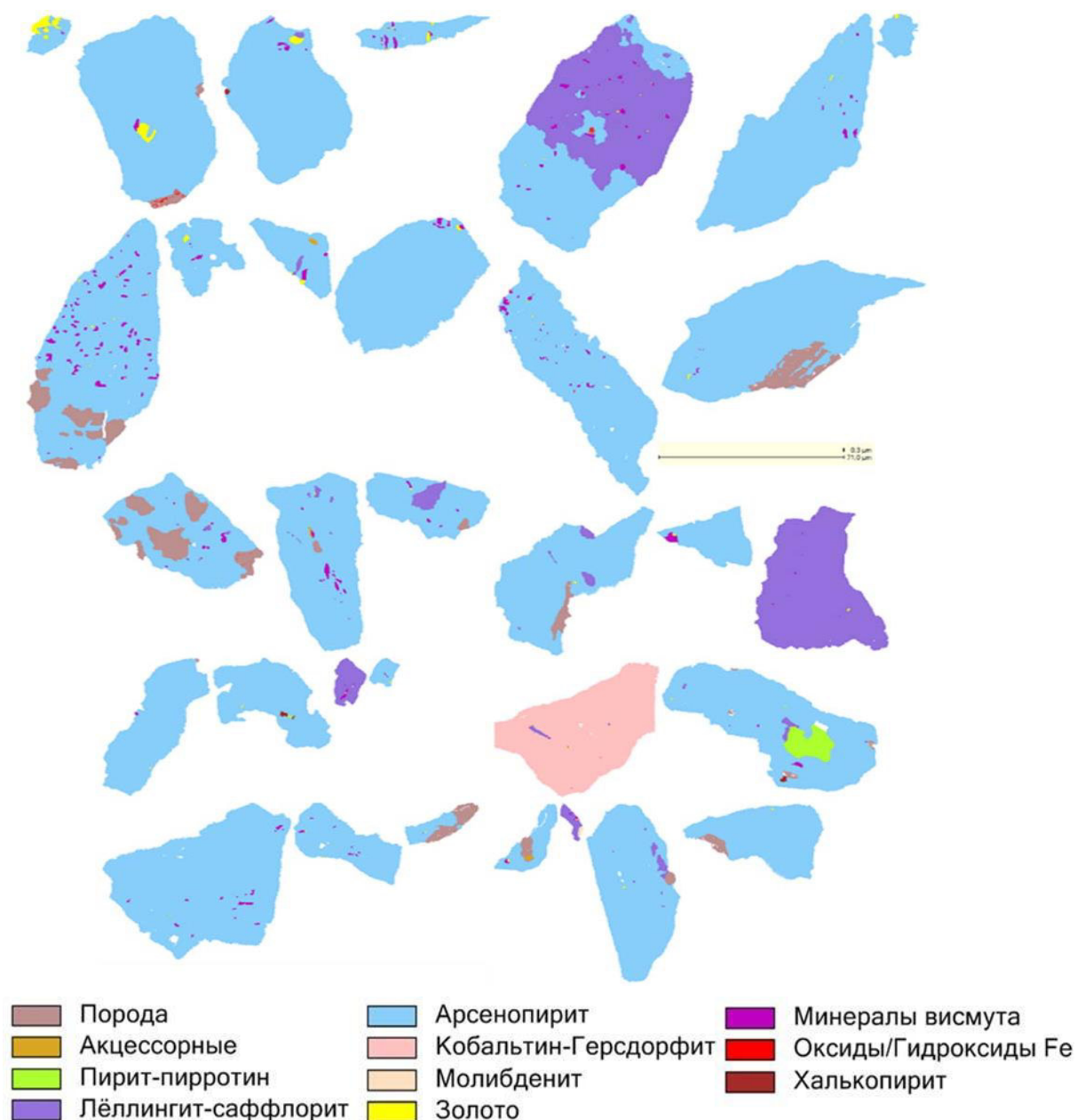


Рисунок 2.3 – Зерна золота в ассоциации с различными минералами

2.5 Фазовый анализ золота

Для выяснения форм нахождения золота, характера его взаимосвязи с рудными и породообразующими минералами был выполнен фазовый (рациональный) анализ пробы коллективного концентрата месторождения Казахстана.

Рациональный анализ выполняли на представительной навеске. Определены следующие формы нахождения золота: свободное (извлекаемое амальгамацией), в виде сростков (цианируемое), извлекаемое цианированием после обработки соляной кислотой, ассоциированное с сульфидами, золото в нерастворимых в царской водке минералах и кварце. Результаты фазового анализа представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты фазового анализа золота в пробе коллективного концентрата флотации руды месторождения Казахстана

Формы нахождения золота и характер его связи с рудными и породообразующими минералами	Распределение золота	
	г/т	%
Свободное, извлекаемое амальгамацией при исходной крупности (P80 53 мкм)	1,43	2,05
В виде сростков с рудными и породообразующими компонентами (цианируемое)	28,45	40,72
Всего в цианируемой форме	29,88	42,77
Золото в кислоторастворимых пленках извлекаемое цианированием.	7,19	10,29
Золото в сульфидах	28,34	40,56
Золото в нерастворимых в царской водке минералах и кварце	4,46	6,38
Всего в коллективном концентрате	69,87	100,00

По результатам амальгамации при исходной крупности (P80 53 мкм) в концентрате находится всего лишь 2,05 % свободного золота. На долю золота в сростках приходится 40,72 %. Всего в доступном прямому цианированию виде присутствует 42,77 % благородного металла.

Основной причиной упорности золота к цианистому процессу является его тонкая вкрапленность в сульфиды. Доля такого золота составляет 40,56%. Количество золота в пленках, а также тонко вкрапленного в нерастворимых в царской водке минералах и кварце, находится на уровне 7,19 % и 4,46 % соответственно.

Общая доля упорного, не доступного прямому цианированию золота составляет 57,23 %. По таким показателям коллективный концентрат месторождения Казахстана является упорным сырьем к процессу цианирования.

3 **Общее описание технологии Albion™**

Процесс Albion™ сочетает в себе ультратонкое измельчение и окислительное выщелачивание под атмосферным давлением. Питанием процесса Albion™ является концентрат, содержащий полиметаллы или драгоценные металлы; процесс Albion™ применяется для окисления сульфидных минералов, присутствующих в концентрате, и высвобождения металлов для дальнейшего извлечения обычным способом. Процесс Albion™ был разработан в 1994 году компанией GlencoreXstrata PLC и запатентован по всему миру. В настоящее время эксплуатируется три предприятия, применяющих процесс Albion™. На двух из них, расположенных в Испании и Германии, перерабатывается концентрат сульфида цинка (4 000 и 18 000 тонн цинка в год, соответственно). Третье предприятие, применяющее процесс Albion™, расположено в Доминиканской республике и перерабатывает упорный золотосеребряный концентрат с получением 80 000 унций золота в год. IsaMill™ и цикл окислительного выщелачивания Albion на комбинате Лас Лагунас показаны на рис. 1. Xstrata Technology в настоящее время завершает проектирование и поставку процесса Albion™ для проекта золотодобычи GPM Gold Project в Армении. Проект GPM Gold Project был пущен в эксплуатацию в январе 2014 года [25].



Рисунок 3.1 – Установка Albion в Las Lagunas Albion, для переработки золотосеребряного упорного концентрата

Первой стадией процесса Albion™ является тонкое измельчение концентрата. Выщелачивание большинства сульфидных минералов невозможно в условиях атмосферного давления. Ультратонкое измельчение позволяет создать сильное напряжение в кристаллической решетке

сульфидных минералов. Благодаря этому количество дефектов кристаллической решетки и трещин по границам зерен увеличивается на несколько порядков по сравнению с неизмельченными минералами. Создание напряжения снижает энергетический барьер активации, который необходимо преодолеть для окисления сульфидов, и делает возможным выщелачивание в условиях атмосферы. Скорость выщелачивания также увеличивается благодаря увеличению площади поверхности минералов. Тонкое измельчение также предотвращает пассивирование выщелачиваемого минерала продуктами реакции выщелачивания. Пассивирование происходит, когда продукты выщелачивания, такие как оксиды железа и элементарная сера, осаждаются на поверхностях выщелачиваемого минерала. Выпавшая в осадок фаза пассивирует минерал, препятствуя доступу химических реагентов к поверхности минерала. Пассивирование, как правило, происходит, как только толщина слоя выпавшей в осадок фазы достигает 2 - 3 мкм. Ультратонкое измельчение минерала до класса 80% 10 - 12 мкм предотвращает пассивирование, поскольку выщелачиваемый минерал распадается до образования слоя осадка достаточной для пассивирования толщины. Этот процесс показан на рисунке 3.2 [26].



Рисунок 3.2 – Механизм пассивирования сульфидных частиц

После тонкого измельчения концентрата пульпа подвергается выщелачиванию в чанах с перемешиванием, причем для окисления сульфидных минералов в пульпу подается кислород. Патентованные выщелачиватели с перемешиванием были разработаны Xstrata Technology и названы реактором выщелачивания Albion. Перемешивание в реакторе выщелачивания Albion производится двойными гидродинамическими рабочими колесами при подаче кислорода в пульпу со сверхзвуковой скоростью для эффективного окисления сульфидов. Реактор Albion рассчитан на эксплуатацию в условиях, близких к точке кипения пульпы, без внешнего подогрева или охлаждения. Выщелачивание происходит автотермально;

температура пульпы поддерживается за счет тепла, выделяемого реакцией выщелачивания. Избыточное тепло, производимое процессом окисления, отводится посредством увлажнения отходящих из чана газов. В большинстве применений отходящие газы не нуждаются в очистке и могут отводиться непосредственно в атмосферу [27].

3.1 Описание технологии ультратонкого измельчения в IsaMill™

Ультратонкое измельчение требует другого механизма измельчения, нежели измельчение в традиционной шаровой мельнице, поскольку необходима мелкая среда измельчения. В большинстве мельниц ультратонкого измельчения для придания момента среде используется рабочее колесо. Среда перемешивается, и турбулентное перемешивание препятствует центрифугированию мелкой среды.

Основным механизмом разрушения в мельнице с перемешиванием является истирание. Типичными конструктивными особенностями мельниц с перемешиванием являются центральный вал и установленные на нем последовательно рабочие колеса. Рабочие колеса могут иметь форму спирали, диска или стержней.

Мельницы с перемешиванием, как правило, имеют одну из двух конструкций. В первой из них вал мельницы и измельчающие элементы расположены в мельнице вертикально. Размер мельницы такой конструкции, как правило, ограничен установленной мощностью, которая не превышает 750 кВт. Это ограничение связано с большим крутящим моментом, возникающим на рабочем колесе, расположенном в нижней части среды, из-за сжимающей нагрузки, создаваемой средой, находящейся над рабочим колесом.

Во второй конструкции вал мельницы расположен в камере измельчения горизонтально. IsaMill™ компании Xstrata Technology использует эту конструкцию как наиболее эффективную в экономическом отношении для двигателей мощнее 500 кВт. Поскольку начальный крутящий момент, необходимый для запуска процесса перемешивания среды измельчения, невелик, мощность двигателя мельницы определяется практически исключительно мощностью, необходимой для измельчения.

IsaMill™ представляет собой промышленную энергоэффективную технологию непрерывного измельчения, специально разработанную для переработки упорных металлических руд. Xstrata Technology поставляет установки IsaMill™ на горнодобывающие предприятия по всему миру. В настоящее время в эксплуатации находится более 110 мельниц в 9 странах мира. Камера измельчения мельницы IsaMill™ отличается очень высокой энергоемкостью (300 кВт/м³), что обеспечивает компактность и простоту установки и обслуживания. Мельница IsaMill™ компании Xstrata Technology применяется в двух из каждых трех установок ультратонкого измельчения металлических руд и пригодна для прямого масштабирования по результатам

лабораторных тестов. Крупность мелющей среды в IsaMill™ составляет 1,5 - 3,5 мм. Могут применяться различные среды, например, среда самоизмельчения, получаемая отсевом из руды питания, кремнистый песок, керамическая среда.

Xstrata поставляет IsaMill™ в виде модульной установки измельчения, состоящей из мельницы, систем подачи и разгрузки пульпы, встроенных точек отбора проб, системы подачи среды, контрольно-измерительной аппаратуры и системы управления, а также необходимых металлоконструкций и платформ. Некоторые компоненты установки измельчения IsaMill™ показаны на рисунке 3.3 и 3.4. Установка измельчения IsaMill™ является воплощением накопленного Glencore Xstrata опыта проектирования и эксплуатации более 100 установок IsaMill™ и гарантирует бесперебойный пуск в эксплуатацию.

IsaMill™ может иметь на валу до восьми дисков, каждый из которых является самостоятельным элементом измельчения. Принцип работы IsaMill™ показан на рисунке 3.3. Это позволяет эксплуатировать IsaMill™ в открытом цикле без циклонов. IsaMill™ обеспечивает крутую гранулометрическую характеристику в открытом цикле, поскольку питание проходит через несколько зон измельчения последовательно, прежде чем попасть в сепаратор продукта. Пробковый режим потока препятствует замыканию цикла и позволяет эффективно направлять энергию на более крупные частицы питания.

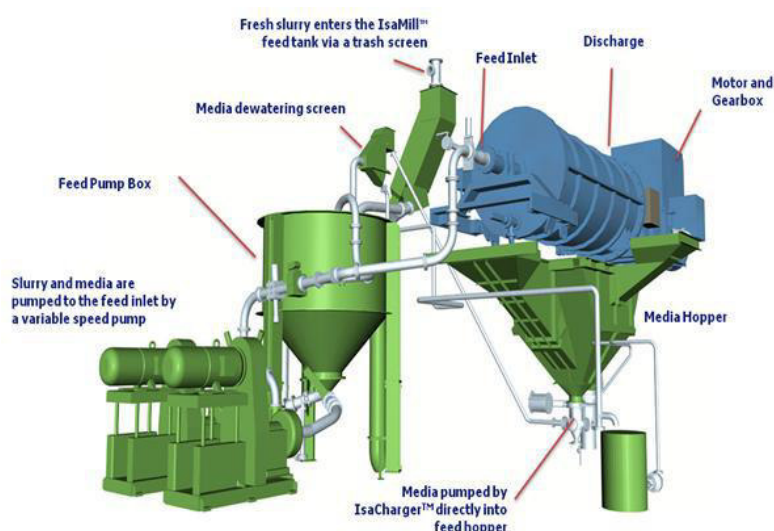


Рисунок 3.3 – Системы управления питанием и средой IsaMill™

Сепаратор продукта представляет собой центробежный сепаратор, который установлен на конце вала мельницы и вращается с достаточной скоростью для создания сил, превышающих 20g, обеспечивая крутую характеристику классификации внутри самой мельницы. IsaMill™ может эксплуатироваться в открытом цикле с высокой плотностью пульпы. Эта отличительная особенность способствует эффективности цикла

выщелачивания за счет уменьшения количества добавляемой воды и сокращения расходов на поддержание водного баланса [28].

В IsaMill™ используется инертная среда измельчения, позволяющая получать чистые полированные минеральные поверхности, улучшающие кинетику выщелачивания. Крутая гранулометрическая характеристика обеспечивается в самой мельнице. Класс измельчения 98% на стороне разгрузки мельницы, как правило, превышает класс измельчения 80% менее чем в 2,5 раза. Поэтому в цикл выщелачивания поступает незначительное количество невысвобожденного материала, что обеспечивает очень высокие показатели извлечения металла.

IsaMill™ является самой энергоемкой из существующих мельниц (>300 кВт/м³), а следовательно, самой компактной, имеющей небольшую площадь основания и высоту. IsaMill™ имеет горизонтальную конструкцию. Доступ к установке осуществляется с общей платформы, расположенной на высоте около 3 м. IsaMill™ отличается удобством доступа к мельнице и обслуживания благодаря небольшой эксплуатационной высоте IsaMill™ и установки измельчения. Обслуживание IsaMill™ не сложнее текущего обслуживания насоса для пульпы.

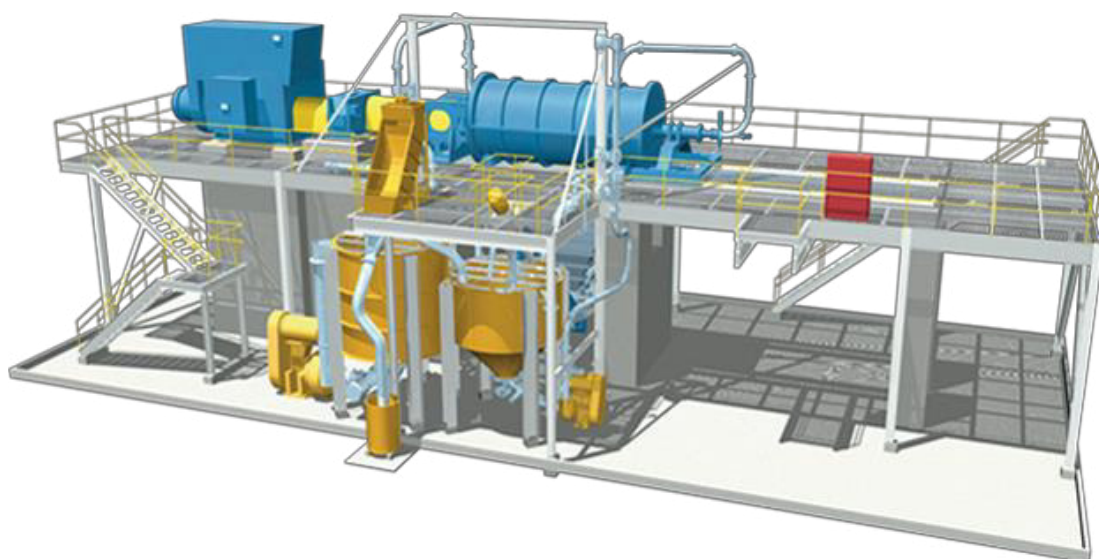


Рисунок 3.4 – Схематичное изображение установки измельчения IsaMill™

Еще одним конструктивным преимуществом IsaMill™ является консольное крепление вала с вращающимися дисками на стороне питания. Это позволяет просто отсоединить фланец стороны разгрузки от камеры измельчения и отодвинуть их по направляющим с помощью гидравлических домкратов. Процедура остановки для осмотра и замены внутренних изнашиваемых деталей занимает менее 8 часов. Для IsaMill™ характерна эксплуатационная доступность 99% и коэффициент использования 96%.

IsaMill™ очень просто масштабируется. Результаты лабораторных испытаний масштабируются до уровня промышленной установки с точностью

100%. IsaMill™ отличается проверенной на практике прямой масштабируемостью 1:1, что уменьшает проектные риски [29].

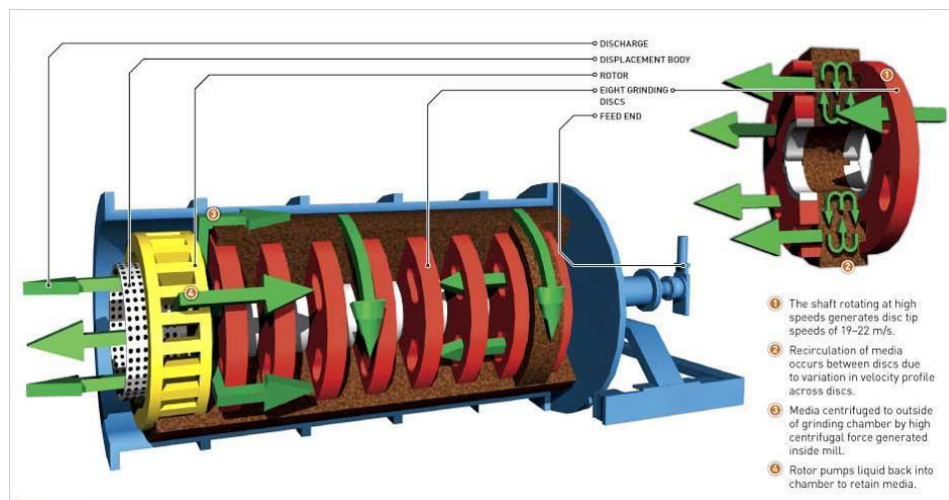


Рисунок 3.5 – Принцип работы IsaMill™

3.2 Описание технологии окислительного выщелачивания Albion

После тонкого измельчения и высвобождения сульфидного концентрата он подвергается выщелачиванию в атмосферных условиях в цикле окислительного выщелачивания, состоящем из соединенных между собой реакторов выщелачивания Albion. Реактор выщелачивания Albion - это выщелачиватель без давления, разработанный Xstrata Technology для получения высокого массового переноса кислорода, необходимого для окисления сульфидных минералов с низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

Кислород подается в основание реактора выщелачивания Albion посредством сверхзвуковых газовых эжекторных трубок HyperSparge™, разработанных Xstrata Technology. Преимущества системы HyperSparge™ использованы в проектировании системы перемешивания, чтобы обеспечить высокую скорость массового переноса кислорода в реакторе. Мощность перемешивающего устройства невелика, и окружная скорость рабочего колеса выбирается с учетом скорости подачи HyperSparge™, чтобы получить оптимальную скорость массового переноса в реакторе выщелачивания Albion.

Корпус и нижняя часть реактора выщелачивания Albion изготовлены из коррозионно-устойчивой легированной стали и установлены на кольцевое балочное или сплошное основание. Отношение диаметра емкости к его высоте выбрано так, чтобы оптимально сбалансировать высокую скорость массового переноса кислорода и эффективность улавливания газов. Используя свой богатый опыт проектирования циклов выщелачивания, Xstrata Technology

предложила ZiraTank™, инновационную полностью модульную емкость, которая может быть собрана и смонтирована за время, составляющее 35% времени, необходимого для сборки на месте сварной емкости. Эта система может быть также использована для решения любых задач, связанных с хранением пульпы. Помимо экономии времени, сокращаются расходы на проектирование, инженерные работы и обеспечение качества. Устраняется потребность в возведении лесов, сварочных работах и проверках, поскольку сборка производится на уровне земли. Реактор выщелачивания Albion сконструирован с использованием модульной системы ZiraTank™, как показано на рисунке 3.6 [30].



Рисунок 3.6 – Реакторы выщелачивания Albion

В реакторах используется центральное установленное на корпус перемешивающее устройство с гидродинамическими рабочими колесами, подобранными Xstrata Technology. Благодаря выполненным расчетам и результатам испытаний, установленная мощность установок достаточна для выполнения требований к массовому переносу кислорода по всему циклу выщелачивания, а также для поддержания твердой фазы во взвешенном состоянии и дисперсии газов.

Конструкция и расположение рабочих колес способствуют контролю пенообразования в реакторах. Модульные платформы для обслуживания и несущие конструкции входят в комплект поставки реактора выщелачивания Albion.

Основные характеристики перемешивающего устройства, такие как коэффициент заполнения, диаметр рабочего колеса и окружная скорость, определяются с учетом конструкции системы подачи кислорода для оптимальной скорости массового переноса и эффективного улавливания газов в реакторе.

Сверхзвуковые эжекторные кислородные трубки HyperSparge™ установлены по окружности реактора у его основания. Трубка HyperSparge™ установлена снаружи емкости с использованием ряда уплотнений. Благодаря такой конструкции, для выполнения обслуживания системы подачи кислорода не требуется останавливать реактор, поскольку любая трубка HyperSparge™ может быть снята для проверки "на ходу". Снятие и проверка безопасно выполняются примерно за 10 минут одним оператором без остановки реактора.

HyperSparge подает кислород со сверхзвуковой скоростью в диапазоне 450 - 550 м/с⁻¹ с образованием струи сжатого газа на окончании каждой из трубок. Это обеспечивает очень высокую скорость массового переноса в реакторе выщелачивания Albion и препятствует закупориванию сопла.

Благодаря уникальной конструкции HyperSparge мощность перемешивающего устройства в реакторе выщелачивания Albion намного ниже, чем в традиционных системах. Проверенные правила больше не нужны. В реакторах Albion с системой HyperSparge на предприятиях группы GlencoreXstrata отмечается эффективность улавливания кислорода свыше 85%. Типичный пример установки HyperSparge показан на рисунке 3.7

HyperSparge™ является частью единой системы управления подачей кислорода, разработанной Xstrata Technology и состоящей из системы контроля отходящих газов в трубе и системы управления давлением подачи в HyperSparge™. Система управления подачей кислорода применяется для поддержания высокой эффективности захвата кислорода в реакторе выщелачивания Albion.

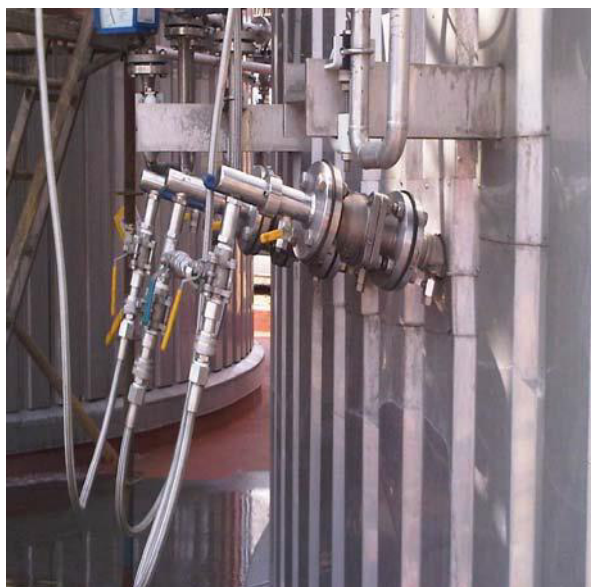


Рисунок 3.7 – Hyper Sparge

Отходящие газы окислительного выщелачивания обычно инертны, поэтому пары из емкости реактора отводятся по трубе на безопасную высоту. Поскольку реакторы выщелачивания Albion работают при температуре,

близкой к точке кипения пульпы, в них испаряется и отводится с отходящими газами значительное количество воды.

Это способствует поддержанию водного баланса. Отходящие газы, как правило, удаляются, однако при необходимости могут быть установлены конденсаторы для сбора испаренной воды. Крышка реактора выщелачивания Albion содержит гидрозатвор перемешивающего устройства и имеет сдвижную секцию для снятия механизма перемешивания при обслуживании (рисунок 3.8).

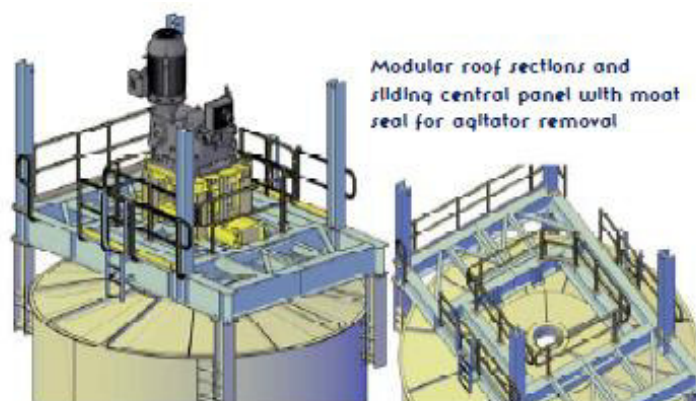


Рисунок 3.8 – Крышка реактора выщелачивания Albion

Каждый реактор Albion оборудован внутренними перегородками, способствующими перемешиванию и препятствующими образованию завихрений в пульпе, а также модульным стояком для пульпы, препятствующим рециркуляции пульпы и способствующим перемещению более крупной фракции по линии выщелачивания.

Реакторы Albion соединены последовательно системой желобов, обеспечивающей движение пульпы самотеком по линии выщелачивания. Все реакторы Albion оборудованы байпасными желобами, позволяющими отключить любой реактор для планового обслуживания. Эта низкочатратная система выщелачивания проста в эксплуатации, отличается гибкостью и высокой эксплуатационной доступностью линии окислительного выщелачивания (99%). Желоба Xstrata Technology спроектированы с учетом флотационной пены и препятствуют ее накоплению на линии выщелачивания. Конструкция желоба показана на рисунке 3.9.

Реакторы Albion не нуждаются в системах подогрева или охлаждения. Реактор эксплуатируется при равновесной температуре, которая, как правило, составляет 90-95 °С. Источником тепла является реакция окисления сульфидных минералов с отведением тепла из емкости увлажнением отходящих газов. Не требуется ни прямой, ни косвенной системы управления температурой (градирня, испарительная емкость), что упрощает конструкцию и обслуживание емкости. Реактор может быть теплоизолирован для эксплуатации вне помещений в холодных климатических условиях [31-32].

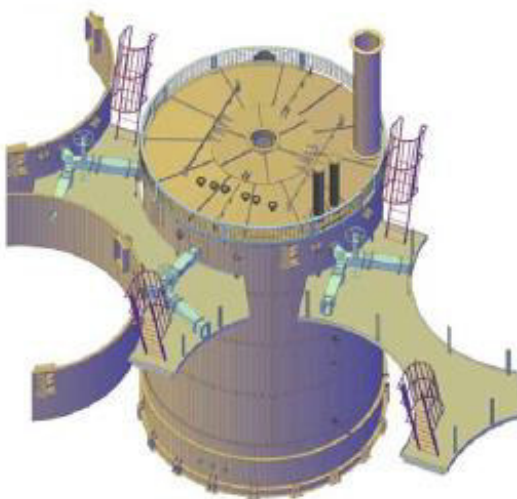


Рисунок 3.9 - Желоб

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный комплекс исследований на коллективном сульфидном концентрате флотационного обогащения руды месторождения Казахстана позволяет сделать следующие выводы.

Заключение по вещественному составу. По данным ситового анализа, в пробе сульфидного концентрата прослеживается равномерное распределение материала с плавным повышением выхода от крупных классов к тонким. В шламовом классе $-0,020+0$ мм отмечается значительный выход материала – 41,58 %.

Содержание золота в пробе сульфидного концентрата по данным гранулометрической характеристики, составляет 70,76 г/т и в разных классах колеблется от 63,1 г/т до 78,5 г/т. Распределение золота пропорционально выходам классов, концентрирование металла не прослеживается ни в одном из классов крупности. Это указывает на тонкую вкрапленность и равномерное распределение золота в пределах всего материала пробы.

По химическому составу проба сульфидного концентрата на 20,9 % представлена литофильными компонентами. Основным из них является кремнезем – 12,29 %. Доля глинозема находится на уровне 1,93 %. Суммарное количество щелочных и щелочноземельных металлов составляет 6,54 %.

Рудообразующие элементы в пробе сульфидного концентрата представлены железом, мышьяком и серой. Количество железа находится на уровне 21,1 %, мышьяка – 34 %. Массовая доля серы составляет 12,9 %.

Среди цветных металлов в пробе сульфидного концентрата отмечается повышенное содержание кобальта – 1,26 %, меди – 0,84 %, никеля – 0,2 % и молибдена – 0,19 %. Содержание золота в пробе сульфидного концентрата составляет 70,8 г/т, серебра – 4,35 г/т.

Минеральный состав пробы сульфидного концентрата на 27 % представлен породообразующими минералами. Среди них преобладает кварц – 10 %. Массовая доля гранатов составляет 8 % от общей массы пробы концентрата.

Рудная минерализация в пробе сульфидного концентрата представлена сульфидами различных металлов. Суммарное количество арсенопирита, леллингита и саффорита составляет 65 %. На долю кобальтина-герсдорфита приходится порядка 3 %. Пирит и пирротин, суммарно отмечаются в количестве 2 %. Столько же приходится на халькопирит. На долю молибденита приходится 0,3 %.

Основным минералом – носителем кобальта в сульфидном концентрате является арсенопирит, на него приходится 72,77 % от общей массы элемента в продукте. В меньшей степени, носителями кобальта являются леллингит и кобальтин. Саффорит и герсдорфит имеют подчиненное значение. Все минералы – носители кобальта в концентрате присутствуют преимущественно в свободной форме. Средневзвешенная степень раскрытия зерен составляет для арсенопирита – 97,08 %, для группы минералов леллингит-саффорит –

91,83 %, для комплекса кобальтин-герсдорфит – 84,28 %. Все минералы кобальта тесно ассоциируют между собой.

Основным минералом – носителем меди в сульфидном концентрате является халькопирит. Группа минералов ковеллин-халькозин и борнит имеют подчиненное значение. Средний размер зерен халькопирита составляет 11,99 мкм. Средневзвешенная степень раскрытия зерен халькопирита составляет 94,6 %. Основными минералами, в ассоциации с которыми находится халькопирит, является комплекс породообразующих минералов.

Молибденит – единственный минерал молибдена в пробе флотоконцентрата. Средний размер зерен молибденита составляет 11,29 мкм. Средневзвешенная степень раскрытия зерен составляет 86,07 %. Основными минералами, находящимися в ассоциации с молибденитом, являются арсенопирит и комплекс породообразующих минералов.

Золото в пробе сульфидного концентрата присутствует в самородной форме и в виде мальдонита. Самородное золото весьма высокопробное, чистое. Единственной примесью является серебро. В мальдоните доля золота варьирует от 47 до 67 %. В пробе установлено наличие висмута в самородной форме и в виде теллуrowисмута.

Все золото в пробе концентрата тонкодисперсное. Максимальный размер частиц ценного не превышает 8 мкм. Свободные и раскрытые частицы золота отсутствуют. Доля золота, к которой имеется доступ раствора и реагентов, составляет порядка 4 %. Основным минералом, в ассоциации с которым находится золото, в пробе сульфидного концентрата является арсенопирит (69,5 %). С минералами висмута отмечается 16,13 % золота. Срастания золота с группой минералов лёллингит-саффлорит составляют 8,85 %, с группой минералов кобальтин-герсдорфит – 1,22 %.

По результатам фазового анализа содержание золота в сульфидном концентрате составило 69,87 г/т. Доля свободного золота при исходной крупности (P80 53 мкм) не превысила 2,05 %. Всего в цианируемой форме присутствует 42,77 % благородного металла.

Основной причиной упорности золота к цианистому процессу является его тонкая вкрапленность в сульфиды – 40,56 %. Общая доля упорного, не доступного прямому цианированию золота составляет 57,23 %. По таким показателям сульфидный концентрат месторождения Казахстана является упорным сырьем к процессу цианирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Tromans D. Oxygen Solubility Modeling in Inorganic Solutions: Concentration, Temperature and Pressure Effects. Hydrometallurgy, vol. 50, 1998. -P. 279-296.
- 2 Tromans D. Temperature and Pressure Dependant Solubility of Oxygen in Water: A Thermodynamic Analysis. Hydrometallurgy, vol. 48, 1998. -P. 324-342.
- 3 Pieterse H. Oxidation Autoclave Agitation Review. Pressure Hydrometallurgy 2004, 34th Annual Hydrometallurgy Meeting, Banff, Alberta, Canada. 2004. -C. 124-128.
- 4 Nicolle M., Nel G., Plikas T., Shah U., Zunti L., Bellino M. and Pieterse H.J.H. Mixing system design for the Tati Activox autoclave. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 109, June 2009. -P. 357-364.
- 5 Corrans I.J., Angove J.E. and Johnson G.D. The Treatment of Refractory Copper-Gold Ores using Activox Processing, in Randol Gold Forum Perth '95 -Gold Metallurgy & Environmental Management, 1995, -P. 221-224 (Randol International Ltd:Perth).
- 6 Bartsch et al. Benefits of Using the Albion Process for a North Queensland Project, and a Case Study of Capital and Operating Cost Benefits Versus Bacterial Oxidation and Pressure Oxidation. Randol Gold Conference, Perth, 2005, -P. 75-79.
- 7 Jones, D.L. Knoerr, S. and Mansanti J. (1990) Processing Options for Buckhorn Sulphide Ore, Gold 90, -P. 261-273.
- 8 Fraser KS (1991) Processing of Refractory Gold Ores, KS, Walton, Wells, Minerals Engineering Vol 4 1991 Adams. -P. 83-88.
- 9 Hourn, M., Rohner, P., Bartsch, P., Ngoviky, K., (2005) Benefits of using the Albion process for a North Queensland project, and a case study of capital and operating cost benefits versus bacterial oxidation and pressure oxidation" Xstrata Technology Report (2005). -P. 90-97.
- 10 Filippou, D. & Demopoulos, G.P. (1997): Arsenic Immobilization by Controlled Scorodite Precipitation. Journal of Metals, December, -P. 52-55.
- 11 Fujita, T., Taguchi, R., Abumiya, M., Matsumoto, M., Shibata, E. & Nakamura, T. (2008): Novel atmospheric scorodite synthesis by oxidation of ferrous sulphate solution. Part I. Hydrometallurgy, Vol 90, -P. 92-102.
- 12 Fujita, T., Taguchi, R., Abumiya, M., Matsumoto, M., Shibata, E. & Nakamura, T. (2008): Novel atmospheric scorodite synthesis by oxidation of ferrous sulphate solution. Part II. Effect of temperature and air. Hydrometallurgy. Vol 90, -P. 85-91.
- 13 Harris, B. (2003): The removal of arsenic from process solutions: theory and industrial practice. Hydrometallurgy 2003, Vol 2, -P. 1889-1902, TMS, Canla.

- 14 Litz J. F. and Carter, R. W. (1990) Economics of Refractory Gold Ore Processes, 119th TMS Annual Meeting February. –P. 18-22, 1990.
- 15 Riveros, P.A., Dutrizac, J.p. & Spencer, P. (2001): Arsenic disposal practices in the metallurgical industry. Canadian Metallurgical Quarterly, Vol 40, No 4. –P. 395-420. Canada.
- 16 Юсупова Ж.А., Молдабаева Г.Ж. Переработка упорных золотосодержащих концентратов Казахстана по технологии «Альбион» Международная конференция «Сатпаевские чтения – 2021» - Алматы, - 2021, с. 1045-1048.
- 17 Singhania, S., Wang, Q., Filippou, D. & Demopoulos, G.P. (2005): Acidity, valency and third ion effects on the precipitation of scorodite from mixed sulfate solutions under atmospheric pressure conditions. Met and Mat Trans. B 37B, -P. 189-197.
- 18 Millard M (2005) Processing of High Silver Ores Developments in Mineral Processing Vol 15, MD Adams, Elsevier. –P. 25-31.
- 19 Logan T. C., Seal, T. Brierley. (2007) Whole ore heap Biooxidation of sulphidic Gold Bearing Ores, Biomining (ed D E Rauling and Johnson D B) Springer-Verlog Berlin, Heidelberg, 2007. –P. 112-138.
- 20 Aswegen PC, van Niekerk J and Olivier W (200&) The Biox process for the treatment of Refractory Gold Concentrates, Biomining (ed D E Rauling and Johnson D B) Springer-Verlog Berlin, Heidelberg, 2007. –P. 63-69.
- 21 Simmons, G.L. (1996) Pressure oxidation process development for treating refractory carbonaceous ores at Twin Creeks. Randol Gold Forum, 1996. – P. 53-59.
- 22 Collins, M.J. Yuan, D. . Masters, M. Kalanchev R. and Yan L. (2011) Pilot Plant Pressure Oxidation Of Refractory Gold-Silver Concentrate World Gold 2011 Proceedings of the 50th Annual Conference of Metallurgists of CIM Montreal, QC, Canada (Edited by G. Deschenes, R. Dimitrakopoulos, J. Bouchard). –P. 155-168.
- 23 Ketcham V. J, O'Reilly J.F and Vardillt W.D. (1993) The Lihir Gold Project; Process Plant Design Minerals Engineering, Vol. 6, Nos. 8-10, -P. 1037-1065.
- 24 www.albionprocess.com, www.panterragold.com; перевод с англ.: С.С.Верхозин, ОАО «Иргиредмет». <https://zolotodb.ru/article/11172> Технология Альбион для извлечения золота из концентратов упорных руд. Журнал Золотодобыча, pub. 2015-01-15..
- 25 Voigt P., Tsvetkov A., Kishinsky A. Albion Process™. www.albionprocess.com Improving recoveries in base and precious metals by using Albion Process™ atmospheric leaching pub. 2018-07-20. –P. 124-129.
- 26 <https://www.albionprocess.com/ru/about/Pages/default.aspx> Glencore Technology. О технологии Альбион. pub. 2016-04-11.
- 27 <http://www.irgiredmet.ru/> Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов. Извлечение золота и серебра из технологически упорных руд и флотационных концентратов, pub.

2017-06-05.

28 Ш. Аксёнов А.В. Способ переработки упорных сульфидных золотосодержащих продуктов с тонковкрапленным золотом / А.В. Аксёнов, А.А. Васильев; Р.А. Яковлев // Заочная электронная конференция «Новые технологии, инновации, изобретения», сайт: www.rae.ru, полный адрес: econf.rae.ru/article/5481, 2010 г.

29 Сенченко А.Е. Инновационная технология вскрытия тонковкрапленного золота из упорного сульфидного сырья на основе сверхтонкого измельчения и атмосферного окисления / А.Е. Сенченко, А.В. Аксёнов, А.А. Васильев // Материалы международной конференции «VIII Конгресс обогатителей стран СНГ», МИСИС, 2011 г., -С. 291-296.

30 Аксёнов А.В. Сверхтонкое измельчение и атмосферное окисление как альтернативный способ вскрытия тонковкрапленного золота из упорного сульфидного сырья / А.В. Аксёнов, А.А. Васильев // Инновационные процессы в технологиях комплексной переработки минерального и нетрадиционного сырья (Плаксинские чтения): Материалы международного совещания. Новосибирск 05-10 октября 2009 г., -С. 100-101.

31 Сенченко А.Е. Современные разработки в области сверхтонкого измельчения минерального сырья / А.Е. Сенченко, А.В. Аксёнов, А.А. Васильев // Журнал «Вестник Иркутского Государственного Технического Университета» №1 2010 г., -С. 135-137.

32 Пунишко О.А. Современные способы извлечения золота из техногенных образований / О.А. Пунишко, А.В. Аксёнов, А.А. Васильев // Журнал "Технология металлов" №10, 2010 г., -С. 2-6.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

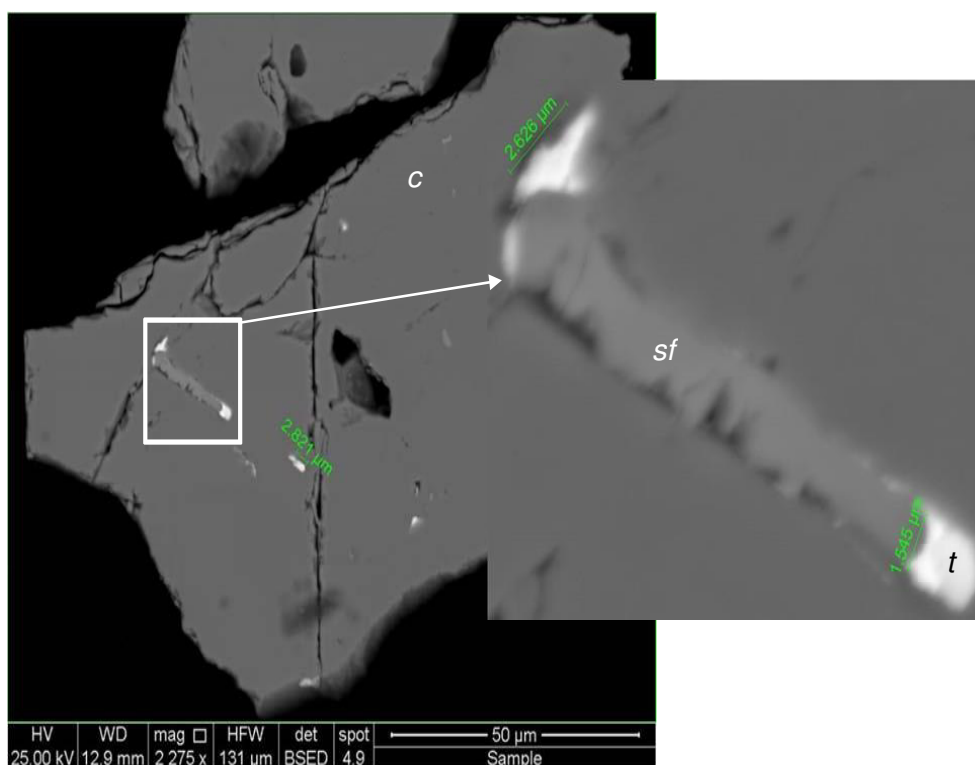


Рисунок А.1 – Золото в ассоциации с теллуrowисмутитом (*tv*) и Саффоритом (*sfl*) в виде включения в кобальтине (*co*)

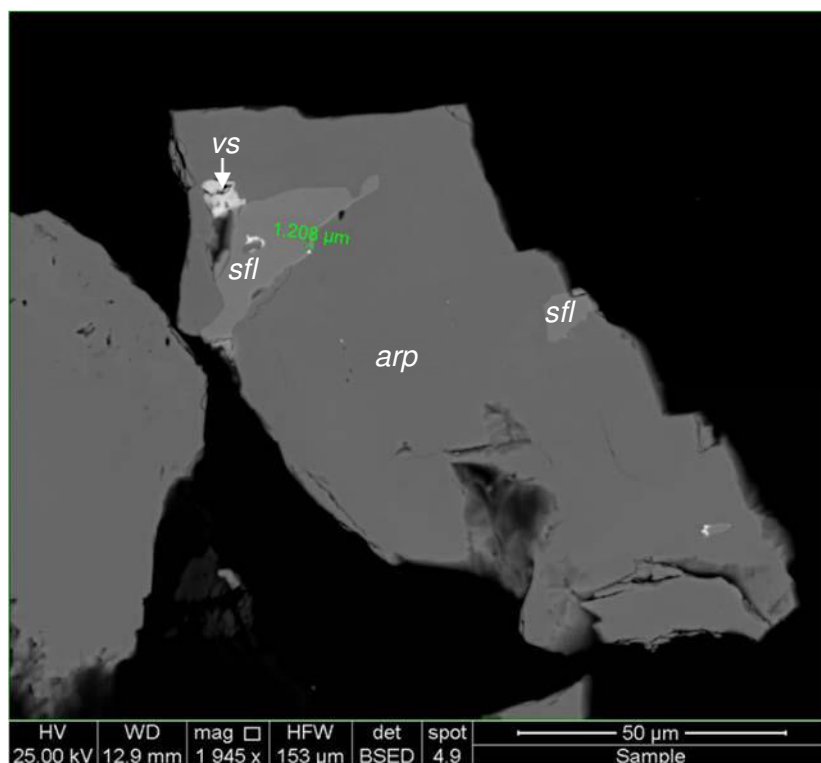


Рисунок А.2 – Тонкое золото в сростке с саффоритом (*sfl*) и висмутом (*vs*) в виде включения в арсенопирите (*arp*)

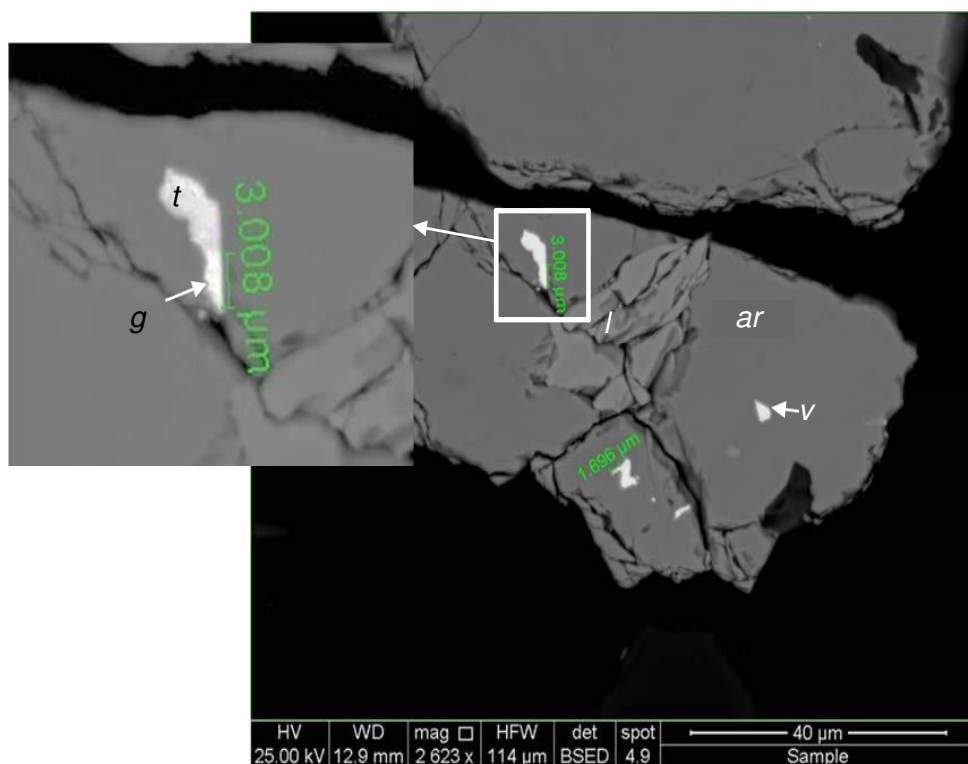


Рисунок А.3 – Золото в ассоциации с теллуrowисмутитом (*tv*) в виде включения в арсенопирите (*arp*). Включения лёллингита (*ly*) и висмута (*vs*) в арсенопирите

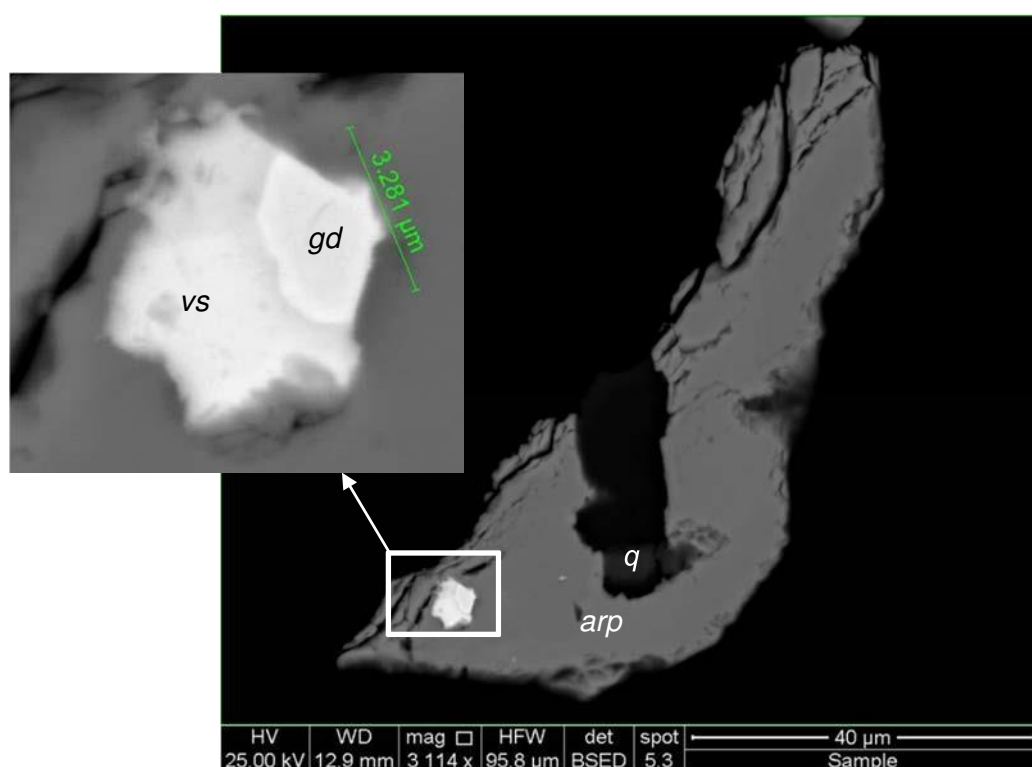


Рисунок А.4 – Золото (*gd*) в ассоциации с висмутом (*vs*) в виде включения в арсенопирите (*arp*). Арсенопирит в сростке с кварцем (*q*)

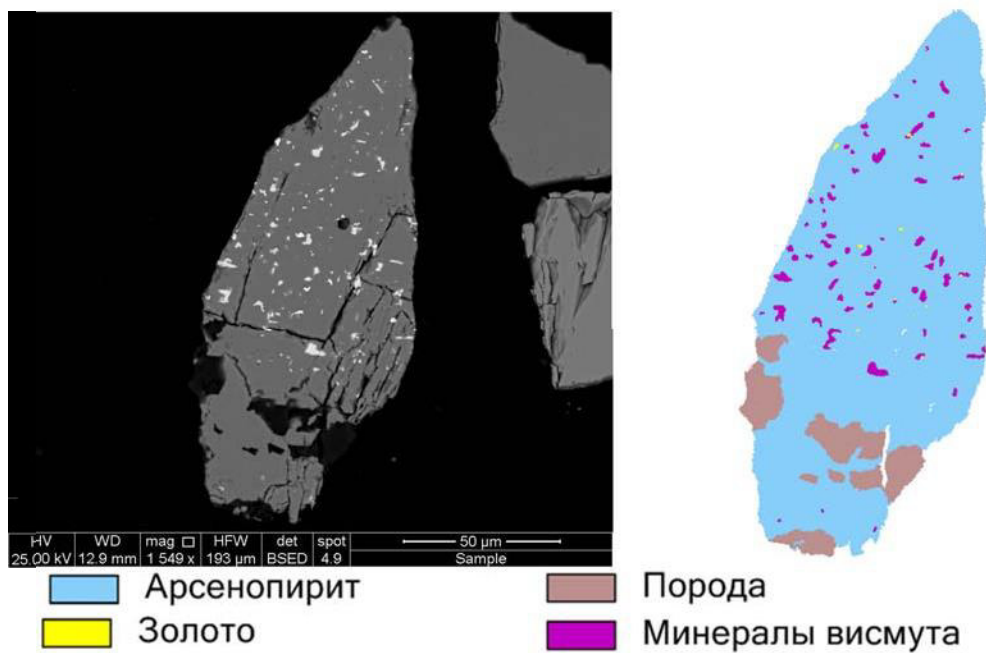
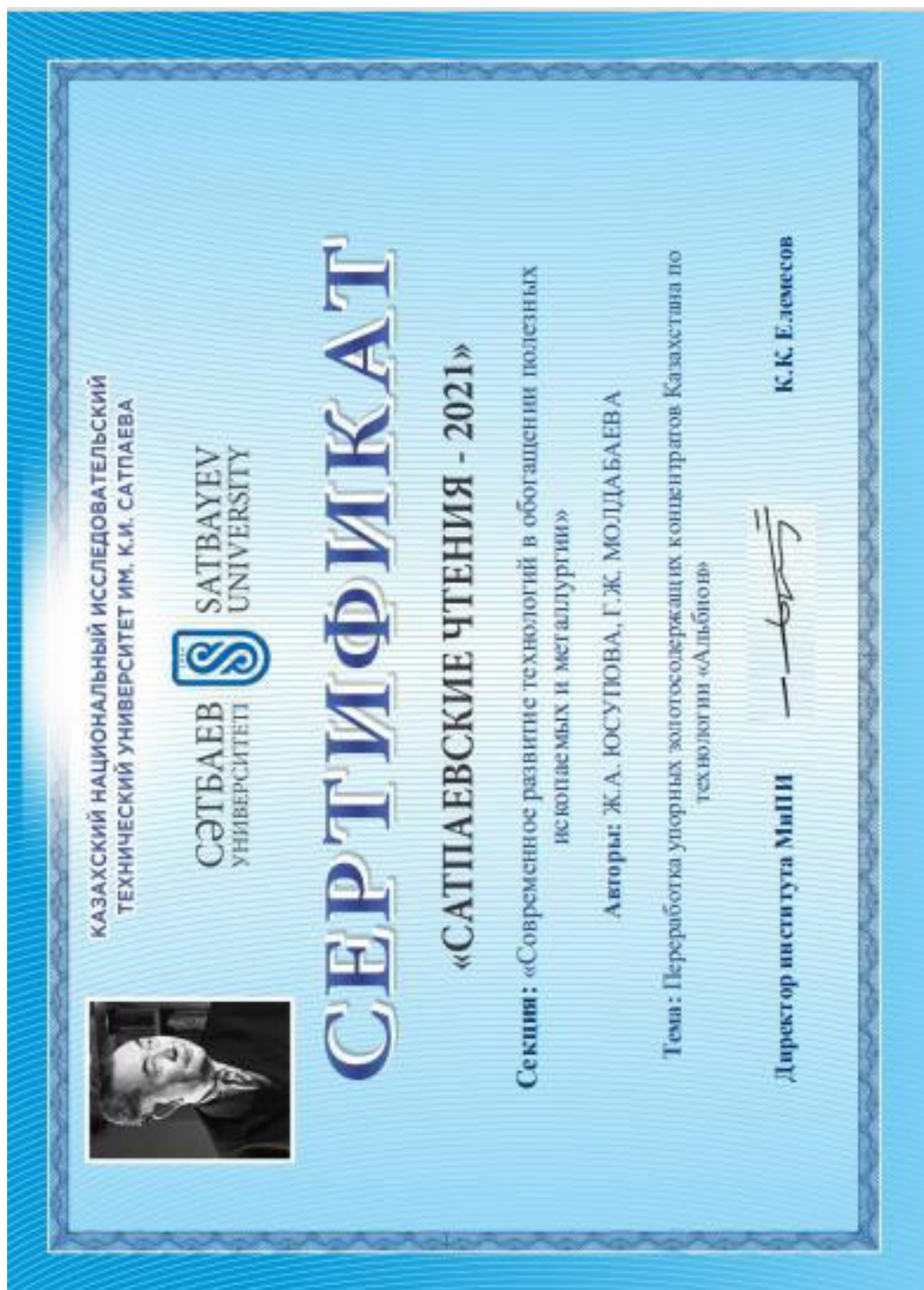


Рисунок А.5 – Многочисленные включения золота и минералов висмута в арсенопирите

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Юсупова Жанар Адилькановна

Название: Окисление сульфидных минералов по технологии Альбион

Координатор: Гульнар Молдабаева

Коэффициент подобия 1:4.4

Коэффициент подобия 2:4.4

Замена букв:12

Интервалы:0

Микропробелы:28

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

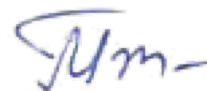
- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

.....

14.06.2021 г.

Дата



.....

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Юсупова Жанар Адылькановна

Название: Окисление сульфидных минералов по технологии Альбион

Координатор: Гульнар Молдабаева

Коэффициент подобия 1:4.4

Коэффициент подобия 2:4.4

Замена букв:12

Интервалы:0

Микропробелы:28

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....

Дата

 Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Допуск к защите.
.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....

Дата 14.06.2021 г.

 Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения