

**МИНЕСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК622.765

Жураев Исомиддин Эркин угли

**Формы нахождения золота в упорных золотосодержащих рудах
месторождения Даугызтау, а также в продуктах их переработки.**

Специальность: 5A320401 « Химическая технология редких, благородных и
рассеянных элементов»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Научный руководитель д.х.н., проф. Шарипов Х.Т.

ТАШКЕНТ-2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.	
ВВЕДЕНИЕ	3	
 Глава I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР		
I. 1. Упорные сульфидно-мышьяковистые золотосодержащие руды.....	7	
I. 2. Особенности руд золоторудного месторождения Каракутан.....	9	
I. 3. Минералого-химические особенности золоторудных жильных систем площади Султанбобо-Янтаклы.....	16	
 Выводы по литературному обзору.....	 21	
 Глава II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА		
II. 1. Физико-химические и минералогические методы анализа.....	24	
II. 2. Получение концентрата из упорной руды месторождения Даугызтау.....	26	
 Глава III. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В УПОРНОМ СУЛЬФИДНО-МЫШЬЯКОВИСТОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ДАУГЫЗТАУ		
III.1. Характеристика и вещественный состав исходных руд месторождения Даугызтау и продуктов переработки.....	29	
III.2 Исследование минералогического состава продуктов переработки руды Даугызтау.....	33	
 Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТОДАМИ ДИФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА		
Общий обзор метода.....	52	
IV.1 Закономерности термического поведения пирита.....	53	
IV.2 Закономерности термического разложения руды и продуктов переработки.....	56	
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ		 65
 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ		 67
 ПРИЛОЖЕНИЯ		 79

ВВЕДЕНИЕ

За годы независимости в Узбекистане произошли кардинальные изменения в социально-экономической жизни республики, благодаря приоритетам указанным Президентом Республики Узбекистан И. Каримовым в своих произведениях [1-3]. Особое внимание уделяется модернизации отраслей промышленности современными инновационными технологиями, основанными на последних достижениях науки и производству конкурентной на мировом рынке продукции с высокой добавленной стоимостью. Золотодобывающая отрасль Республика Узбекистан является одним из экспортных составляющих экономики, в которой эти преобразования весьма необходимы по ряду причин.

За последние 25 лет резко изменилась сырьевая база во всех золотодобывающих странах, том числе и в республике Узбекистан. В 90 годах прошлого столетия перерабатывались, в основном, богатые руды. Извлечение из них полезных минералов шло классическим методами: измельчением в мельницах и выделением ценных минералов из руд механическими методами обогащения.[4]

Актуальность работы. В настоящее время, содержание ценных компонентов в рудах уменьшилось в 1,3-1,5 раза. Одновременно уменьшились и их размеры – "вкрапленность". Если раньше мы, измельчая породу до крупности 74 микрона для раскрытия минерального комплекса и извлечь из породы полезные минералы, то сейчас, даже разрушая породу до 44 микрон, мы не всегда можем это сделать. Потери с такими сротками составляют от 15 до 40%.

Чтобы добыча полезного компонента из руд, например золота, стала эффективнее, необходимо решить как минимум две серьезных технологических проблем. Во-первых, найти принципиально новый способ разделения ценных компонентов, часто встречающихся в виде тончайших сротков с другими минералами.

Во-вторых, при изучении минерального состава руд привлекать современные физические и физико-химические методы, обеспечивающие получение достоверной информации о формах нахождения основных минеральных компонентов и наличии в них макро- и микропримесей, влияющих на технологические свойства минералов.

Значительная масса золота в земной коре относится к категории тонкодисперсного, с размером частиц от долей микрона до 10 мкм. Тонкодисперсное золото в непромышленном количестве распространено очень широко в различных изверженных, осадочных и метаморфических породах, также оно образует промышленные концентрации, накапливаясь в сульфидах, кварцеи др..

Чрезвычайное разнообразие вещественного состава сложных золотосодержащих руд, их широкая распространенность в природе, а также существующие требования максимально эффективного использования минеральных ресурсов вызывают необходимость выделения таких руд в отдельную категорию упорного золотосодержащего сырья.

В связи с вышеизложенным исследованием форм нахождения золота, в том числе тонкодисперсного, золотосодержащих руд Даугызтау является актуальной для разработки эффективной технологии переработки упорных руд.

Практическая значимость. В результате исследований будет установлен оптимальный метод извлечения золота из упорных руд, а так же, повышается экономическая эффективность на 2-4%.

Цель исследований. Исследование и установление форм нахождения золота в рудах месторождения Даугызтау, а также в продуктах их переработки.

Задачи исследований. Задачи данной исследовательской работы включают в себя следующие:

1. Исследование золота и других металлов в рудах месторождения Даугызтау, а также в продуктах их переработки.

2. Установление вещественного состава и минералогических форм с использованием современных высокоинформативных методов исследований.

3. Исследование термического разложения руды месторождения Даугызтау и продуктов их переработки.

Научная новизна. На основании детального дифрактометрического и микронзондового анализа исходных руд Даугызтау и продуктов технологически установлен полный минералогический состав продуктов переработки отходов этих объектов.

По данным микроскопии и микронзондирования золотосодержащих руд месторождений западного Узбекистана Даугызтау, классифицируются как упорные трудновскрываемые, где роль углеродистых, мышьяковистых и сернистых соединений в отложении золота существенна.

Установлено, что кроме самородного золота, концентраторами серы, мышьяка, золота и серебра являются также минералы пирит, арсенопирит и др., составляющие основу продуктивности исходных руд. Причем пирит преобладает над арсенопиритом. Содержание пирита составляет 3,6%, арсенопирита до 1,5% .

В исходной руде установлено золота 4,23г/т серебра 12,75%, S_s -2,93%, Сорг-0,39% .

Связь диссертационной работы с тематическими планами работ. Работа выполнялась на кафедре технологии силикатных материалов и редких и благородных металлов ТХТИ в соответствии с темой гранта фундаментальных исследований Ф-7-34 и в лабораториях Алмалыкского филиала унитарного предприятия «УзГЕОРАНГМЕТЛИТИ», в лаборатории геохимии и технологической минералогии Института геологии и геофизики АН Р Уз.

Основные положения, выносимые на защиту:

-Результаты химического и минералогического анализа руд месторождения Даугызтау и в продуктах их переработки.

-Результаты исследований минералогических, аналитических микроскопических, микрозондовых и рентгенофазовых исследований.

-Результаты термического разложения руды месторождения Даугызтау и продуктов их переработки

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являются руда и технологические пробы переделов переработки руд месторождения Даугызтау. минералогических и аналитических исследований. микроскопических и микрозондовых и рентгенофазовых исследований.

Апробация. Результаты диссертационной работы были опубликованы:

1. Материалы республиканской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития коллоидной химии и нанохимии в Узбекистане» Ташкент, с.148
2. Материалы международной конференции Усть-Каменогорск, 2015 г. Стр.273-278.
3. Материалы доложены на секционных заседаниях данных конференций

Структура и объем диссертации. Диссертация написана на 78стр.(не считывая приложения) компьютерного текста. Включает введения, 4 главы, заключение и список использованной литературы. Содержит таблицы, рисункиа также библиографический список, который включает 93 литературных и интернет источников.

Глава I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

I.1 Упорные сульфидно-мышьяковистые золотосодержащие руды

Литературные источники по геологии золотых руд по разномуклассифицируют типы залегания золота, но с точки зрения переработки классификация может быть такой: - легкообогатимая золотая руда, - упорная золотая руда, - комплексная сульфидная руда [4].

На рубеже 60-х и 70-х годов прошлого столетия проявились объективные «технологические» обстоятельства (рост потребности в благородных металлах, истощение месторождений богатых и легкообогатимых руд), определившие повышенное внимание к проблемам, связанным с переработкой упорных золотосодержащих руд. Данные причины стимулировали как модификацию существовавших технологий, так и внедрение процессов тонкого и сверхтонкого измельчения, автоклавного и биологического окисления, интенсивного и кучного цианирования, угольную и ионообменную сорбцию и др. Экономическим стимулом, повлиявшим на расширение добычи и переработки упорных золотосодержащих руд, явилось изменение рыночной цены золота, которая за 40 лет (с 1970- по конец 2010) выросла в 40 раз. [6]

1. Упорные золотые руды – это руды, в которых большая часть золота содержится в пределах решетки сульфидного минерала, обычно пирита, пирротина и арсенопирита. Золото может быть, как химически связано так и быть в виде зерен нано-размера. К категории упорных относят руды и концентраты, переработка которых в «стандартных» условиях цианирования не обеспечивает требуемого извлечения золота или же связана с повышенными затратами на отдельные технологические операции (измельчение, выщелачивание) [5- 41]

Главными причинами упорности при использовании цианидной технологии являются тонкая и крапленность золота в рудообразующих

минералах, сорбционная активность природных органических веществ, а также наличие минералов-цианидов и труднофильтруемых глин [11][42].

Для выбора оптимальной технологии переработки упорных золотосодержащих руд приходится учитывать разнообразные (и к тому же переменные) свойства рудного материала:

- Минералогические характеристики золота, рудо- и породообразующих минералов;
- Содержание мышьяка, сульфидной серы и органического углерода;
- Тип руды (сульфидный, окисленный или смешанный).

Основными вмещающими минералами, с которыми в рудах в виде макро- и микровключений ассоциировано золото, являются: кварц; слюды типа мусковита, различные сланцевые и глинистые минералы; сульфаты; пирит различных морфологических типов (от массивного до микрокристаллического); арсенопирит, пирротин и другие сульфидные минералы; окисленные минералы; органическое (углеродистое) вещество [43].

Повысить извлечение золота можно усложнением технологических схем: многостадийным измельчением, многостадийной флотацией или цианированием, гравитационным обогащением хвостов и промпродуктов, обработкой песковой фракции отвальных хвостов, использованием термохимических способов.

1. Чем больше запасы исследуемой руды и чем выше содержание в ней полезных компонентов, тем сложнее может быть предложена технологическая схема для ее обработки. В результате могут быть разработаны два варианта схемы: более простой, но дающий относительно низкое извлечение золота испутников, и более сложный, а следовательно, более дорогой, но позволяющий полнее извлекать ценные компоненты из руды. Оптимальный вариант определяется технико-экономическим расчетом [44]

В золото-пиритных рудах тонкодисперсное золото обычно связано с пиритом, поэтому его выделяют флотацией вместе спиритом. Для получения отходов с отвальным содержанием золота удлиняют фронт контрольной флотации с получением в каждой контрольной операции готового концентрата, который направляется на цианирование. Если тонковкрапленное в пириты золото не извлекается цианированием, флотационный концентрат перед цианированием обжигают при температуре 650 – 700°С с получением пористого недогарка, который обеспечивает раскрытие зёрен золота. [10]

Иногда для уменьшения потерь золота с отвальными отходами применяют их цианирование.

2. Однако, если в руде есть свободное золото, при выжигании оно поглощается легкоплавкими компонентами руды и при дальнейшей цианизации не извлекается. В этом случае применяется схема, в которой цианизации подвергается гравитационный концентрат с растворением свободного золота. Отходы цианирования направляются на сульфидную флотацию с дальнейшим выжигом и цианизацией концентрата [45]

I.2 Особенности руд золоторудного месторождения Каракутан

Каракутанское золоторудное месторождение размещено в пределах Кытырмайской осадочно-метаморфической толщи, слагающих северо-западную часть Зиятдинских гор [46].

Месторождение относится к золото-кварц-пирит-арсенопиритовому промышленному типу. Руды представлены минерализованными зонами (круто и пологопадающие системы непротяженных жил и прожилков, мелкие штокверки) [47].

Кроме этого, на месторождении присутствуют изверженные породы (кварцево-диоритовые порфириды, диоритовые порфириды, гранодиорит-порфиры, лампрофиры).

Первые сведения по минералого-геохимической характеристике золоторудного месторождения Каракутан были получены [48]. Данные исследователи считают, что основная концентрация золота приурочена к кварцевым жилам и прожилкам с сульфидной минерализацией с самородным золотом и меньше в зонах окварцевания, которые интенсивно развиваются по кварц-гидрослюдистым и кварц-хлоритовым сланцам. Самородное золото установлено в кварце арсенопирите в окислах железа. Пробность золота из кварца в среднем составляет - 650, в окислах железа - 744 [48]. Самородное золото ассоциирующее с кварцем арсенопиритом и пиритом является весьма тонкодисперсным, размер выделений от 0,03 до 0.06 мм.

Размер гипергенного свободного золота из окисленных рудных зон более крупный, иногда встречаются по трещинкам в кварце, в виде микропрожилков до 5 мм. Большая часть видимого золота гипергенного происхождения. По данным [49] вкрапленный пирит преобладает над другими сульфидами и арсенидами.

Таблица I.1. Содержание элементов в минералах (по данным приборного и химического анализа), г/т (1)

Минерал	Au	Ag	Ag : Au	Se	Te	Se :Te
Пирит	8,0	242,0	30,2	90,0	сл.	90,0
Арсенопирит	39,0	(88,0)	(2,2)	520,0	350,0	1,4
	34,0	76,0	2,2	350,0	300,0	1,1
Кварц (y)	0.0- 7.0	5,3-48.5	11.8	-	-	-
L	2,1	24,7				

Примечание: в скобках количество проб в числителе колебание содержаний; в знаменателе среднее содержание.

В таблице I.1 приводятся средние содержания элементов в минералах по данным приборного и химического анализа [48]

Полученные результаты предыдущими исследователями [47,48] не совсем полно отражает минералого-геохимические особенности руд золоторудного месторождения Каракутан.

Применение концепции кластерных связей и методов технологической минералогии, а также аналитических методов исследований (микроскопический, микрозондовый, рентгенофазовый, спектральный, масспектрометрический, химический) позволили авторам воссоздать «образ» руд; выявить формы нахождения золота и ассоциирующих с ним ценных сопутствующих компонентов (Ag, As, Sb, Ni, Co, Se, Cd, Te, W) .[34]

Применение данной кластерной концепции позволили изучить: химический и минеральный состав вмещающих оруденение пород; химический и минеральный состав рудных тел и руд в целом; химический и минеральный состав окисленных руд; выявить формы нахождения Au и Ag и ассоциирующих с ними ценных компонентов в рудах.

В рудах месторождения выделяются две основные продуктивные минеральные ассоциации :

-Ведущая продуктивная золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация, в виде микровкрапленности золотоносных пирита и арсенопирита, которая присутствует в зонах гидротермально проработанных измененных вмещающих пород.

Проявление золоторудной минерализации сопровождается хлоритизацией, карбонатизацией, гидрослюдитизацией и окварцеванием пород.

Таблица I.2. Среднее содержание окислов и элементов в рудах золоторудного месторождения Каракутан

Окислы и элементы	Содержание	Окислы и элементы	Содержание
SiO ₂ , %	43,8	Сорг, %	0,39
FeO, %	3,5	С общ %	1,15
Fe ₂ O ₃ , %	2,2	Feобщ %	4,86
TiO ₂ , %	1,5	CO ₂ , %	11,05
Na ₂ O, %	2,1	Au, г/т	2,41

Al ₂ O ₃ , %	6,8	Ag, г/т	15,4
CaO, %	12,9	Se, г/т	24
MgO, %	5,5	Te, г/т	2,0
K ₂ O, %	1,2	Zn, г/т	332
MnO, %	0,1	Cu, г/т	87
P ₂ O ₅ , %	0,2	Pb, г/т	855
Sb, %	0,014	Mo, г/т	4,2
S ₃ , %	0,16	Ni, г/т	57
As, %	1,02	Co, г/т	0,18
Собщ. > 0//°	1,62		

-Золото-полисульфидная ассоциация развита на месторождении незначительно и устанавливается при микроскопических наблюдениях. Минералы данной ассоциации образуют рассеянную микровкрапленность в породообразующих минералах и сульфидах (пирите и арсенопирите). Среди минералов данной ассоциации выделяются: пирит, арсенопирит, халькопирит, сульфасоли, селениды, теллуриды. Кварц-антимонитовая в рудах месторождения не установлена.[35]

По химическому составу рудные тела и руды в целом золоторудного месторождения Каракутан относятся к сложной гетерогенной химической системе (силикатно-алюмосиликатно-карбонатно-сульфидно-арсенидно-полисульфидной табл. 1, 2).

Авторами исследовано что рудные тела месторождения, по минеральному составу относится к кварц-альбит-ортоклаз-слюдисто (хлорит, гидрослюда) глинисто (монтмориллонит, каолин) пирит-арсенопирит-полисульфидной минеральной системе (табл. 3). [19] Главная роль в данной минеральной системе принадлежит пириту и арсенопириту, которые выступают в качестве донора золота и серебра. В качестве донора серебра выступает полисульфидная минеральная ассоциация (галенит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, тетраэдрит, полибазит, аргентит и др.).

Таблица I.3. Основной минеральный состав и их распространенность в первичных рудах золоторудного месторождения Каракутан

Класс минералов	Минерал	Формула минерала	Распространенность
Силикаты	Кварц	SiO_2	+++
	Титанит	$\text{CaTi}(\text{SiO}_4)(\text{O}, \text{OH})$	+
	Альбит	$\text{Na} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	+++
	Ортоклаз	$\text{K} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	+++
	Гиалофан	$\text{KBa}[\text{Al}(\text{Al}, \text{Si}) \text{SiO}_8]$	+
	Хлорит(шамозит)	$\text{Fe}_4\text{Al}[\text{AlSiO}_{10}] [\text{OH}]$	+++
Алюмо-силикаты	Гидрослюда (иллит)	$(\text{K}, \text{H}_2\text{O}) \text{Al}_2 [(\text{H}_2\text{O}, \text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	+++
	Флогопит	$\text{K Mg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})]$	+++
	Биотит	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_3(\text{OH})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})$	++
	Монмориллон	$\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_{2-n}\text{H}_2\text{O}$	+++
	Каолинит	$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_6$	+++
	Глауконит	$(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})_{<1}(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Fe}, \text{Mg})(\text{OH})_2$	+
Сульфиды	Пирит	FeS_2	+++
	Петландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	+
	Халькопирит	CuFeS_2	+
	Халькозин	Cu_2S	+
	Сфалерит	ZnS	+
	Бетехтениит	$(\text{Cu}, \text{Fe})_{21} \text{Pb}_2\text{S}_{15}$	+
	Галенит	PbS	+
	Аргентит	Ag_2S	+
	Гринокит	CdS	+
Арсениды	Ауроарсенид	AuAs_2	+
	Арсенопирит	FeAsS	++
	Бертьерит	FeSbS_4	+
	Герсдорфит	NiAsS	+
Теллуриды	Гессит	Ag_2Te	+
Карбонаты	Кальцит	CaCO_3	+++
	Доломит	CaMgCO_3	++
	Анкерит	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)$	+
Самородные	Самородное	AuAg	+
	Графит	C	+++

Примечание. По данным рентгенофазового, микроскопического и микронзондового анализов

Высокие содержания серебра в рудах месторождения зависят от концентрации Zn (0.14%), Pb (0.4%), Sb (0.051%) элементов полисульфидной продуктивной минеральной ассоциации (табл. 3).

Таким образом, усредненная руда золоторудного месторождения Каракутан по химическому и минеральному составу является сложной гетерогенной, геохимической и минеральной системой (табл. 2, 3).

В результате микроскопических, рентгенофазового и микронзондового анализов в первичных рудах установлены 51 минерал и их разновидности в количестве 74, представленные различными классами: силикатами, алюмосиликатами, сульфидами, арсенидами, карбонатами, вольфраматами, фосфатами, оксидами, селенидами, теллуридами, антимонидами (табл. 4). В таблице 4 приводится химический состав минералов и их распространенность.[12]

Основными продуктивными сульфидами в рудах являются пирит и арсенопирит."

Пирит самый распространенный минерал в рудах и составляет в среднем Cu 2,05%. Он образует рассеянную макро с преобладанием микровкрапленность во вмещающих измененных породах.

Арсенопирит — второй по распространенности и промышленной значимости минерал, в рудных телах его содержание составляет в среднем 0,38%. Он образует рассеянную микровкрапленность в пирите кварце и других пороодообразующих минералах. [28]

Необходимо обратить внимание на присутствие в рудах глинистых минералов в сумме (до 31.4%) и карбонатных минералов в сумме (14.3%) которые могут повлиять на процессы обогащения.

По данным микронзондирования и микроскопии более 100 брикетов, была предпринята попытка в сложной гетерогенной макро.

Микроминеральной рудной системе золоторудного месторождения Каракутан определить формы нахождения и фиксации высокого промышленного значения элементов:

Исследовано авторами минеральные формы:[37]

Для золота (Au, Ag) установлены минеральные формы: самородное золото и аууроарсенид золота (Au,As);

Таблица I.4. Форма нахождения рудообразующих, благородных и редких халькофильных элементов в нестехиометричном пирите и арсенопирите золоторудного месторождения Каракутан

Матрица минерала	Элементы примеси	Микроминералы (сингенетичные и эпигенетичные)
Пирит $Fe_{1 \pm x} S_{2 \pm x}$	(Au), (Ag), (Se) (Ni), (Co), (As)	Самородноезолото (Au, Ag), фрейбергит (Ag, Си, Fe, Sb. As) $_4S_{13}$, арсенопирит
	(Zn),(Sb), (Te) (Ni; Co)	(FeAsS),науманит Ag_2Se), тетраэдрит(Cu (Sb, As) $_4S_{13}$, сфалерит (ZnS), клаусталит(PbSe), герсдорфит (NiAsS), галенит PbS Халькопирит $CuFeS_2$
Арсенопирит $Fe_{1 \pm x} As_{1 \pm x} S_{1 \pm x}$	Co, Ni (Cu) (As), (Sb), (Ag) (Au), (Zn)	Самородноезолото (Au, Ag), тенантит (Cu(As, Sb) $_4S_{13}$), буланжери $Pb_5Sb_4S_{11}$), сфалерит (ZnS), фрейбергитCuAgFe(Sb,As) $_4S_{13}$, халькопиритCuFeS ₂ , галенитPbS

Примечание: В скобках - элементы с установленной формой нахождения; без скобок - минеральные формы не установлены.

для серебра, кроме его вхождения в структуру золота выявлены и другие формы - фрейбергит, полибазит, накасеит, науманит, рамдорит, аргентит, гессит;

для селена выявлены феросилит, клаусталит, науманит и агвиларит;

для Ni, Co выявлен петландит, герсдорфит;

для кадмия - гринокит;

для вольфрама - - шеелит, вольфрамит: для теллура - гессит;

Основными носителями и концентраторами Au, Ag и др. ценных компонентов являются преобладающие нестехиометричные минералы (пирит>арсенопирит), они концентрируют не только минеральные формы, но и изоморфные и изоструктурные примеси (табл. 4).

I.3 Минералого-геохимические особенности золоторудных жильных систем площади Султанбобо-Янтаклы.

В результате изучения минералого-геохимических особенностей проб золоторудного оруденения в жильных системах и около рудно измененных породах на площади Султанбобо-Янтаклы, (Урусай, участки Зангибобо, Джамансай и др.) были использованы различные методы исследований: микроскопический, рентгенофазовый, масс-спектрометрический (ISP-MS) и микрозондовые исследования.

Исследуемые пробы, по данным микроскопии, более 100 аншлифов и брикетов, в основном, представлены кварцевыми жилами, окварцованными альбитофирами и сланцами с реликтами сульфидов и гидроокислов железа образовавшиеся за счет окисления пирротина и пирита, халькопирита и др. сульфидов. Кварцевые жилы и окварцованные породы убогосульфидные, т.е. относятся к убогосульфидной золоторудной формации (1).[33]

В результате микроскопических, микрозондовых и рентгенофазовых исследований были установлены минеральные составы матриц концентрирующие золотооруденение:

1. Минералы метасоматически измененных пород: кварц, альбит, мусковит, ортоклаз, хлорит, рипидолит, титанит и ильменит, рутил.

2. Жильные образования представлены: ранее наложенные: кварц-ортоклаз, пирит-арсенопирит, пирротиновой ассоциацией и поздней наложенной: кварц-доломит, барит-сидерит, халькопирит, галенит, сфалеритовой ассоциацией (табл. 4).

3. Выше перечисленные матрицы минеральных ассоциаций подверглись окислительным процессам: в процессе окисления пирита, пирротина, арсенопирита образовались оксиды (гидрогетит, гетит), сульфаты (сомольнокит), арсенаты (юконит и скородит и др.) (табл. 4).[31]

В результате микрозондовых исследований было установлено 30 минералов и их минеральных разновидностей представленные различными классами минералов: силикатами (основа), алюмосиликатами, оксидами, карбонатами, сульфатами, фосфатами, самородными, арсенидами и сульфидами.

В кварцевых, кварц-ортоклазовых, кварц-альбитовых, кварц-сидеритовых жилах и окварцованных породах основными реликтовыми минералами являются пирротин, пирит и арсенопирит, которые образуют вкрапленность, иногда встречаются гнезда [49-51].

Данные сульфиды подверглись интенсивному окислению с образованием гидрогетита, гетита, смольноковита, юконита и скородита, о чем свидетельствует присутствие содержаний SO_3 и As_2O_3 в нерудных минералах кварцевых жил и околожильных изменений. Содержание золота в жильных системах и около руд, но измененных породах колеблется от 0.2 до 3 г/т.

По химическому составу золотоносные жильные системы и околорудные измененные породы площади Султанбобо и Янтаклы резко отличаются по содержанию кремнезема, которое колеблется от 71.26 до 94.23%. Кроме кремнезема в жильных системах присутствуют в высоких концентрациях Al_2O_3 от 0.39 до 6.92%, Na_2O от 0.05 до 2.38%, K_2O от 0.14 до 3.32%, MgO от 0.13 до 1.13%. В незначительных количествах

присутствуют CaO , TiO_2 , MnO , Cr_2O_3 . Все выше перечисленные окислы сформировали матрицу, в которой сосредоточились основные концентрации сульфидов и золота. Кроме выше перечисленных окислов, по данным масс-спектрометрического анализа, в матрицах золотоносных жильных система[установлены сопутствующие элементы Ni от 14 до 276 г/т (Ni преобладает над Co в 8 раз), что свойственно для золоторудных месторождений черносланцевой формации Кызылкумов, Cu, Zn, Pb, Se, As, Au, редкие земли, Mo.

Присутствие высоких содержаний Mo до 185 г/т и Re до 0.132 г/т, объясняется нахождением его в форме молибденита, суммы редких земель (TR) до 100 г/т объясняется нахождением его в форме собственных минералов эриката и минерала алюмофосфатаредкихземель.[26][33]

Для решения форм нахождения золота и сопутствующих элементов в матрицах минералов золоторудных жильных систем и околорудных измененных породах были проведены микрозондовые исследования.

По данным микрозондовых исследований установлено, что ильменит, содержание марганца колеблется от 5.0 до 5.7% .

Пирит и пирротин не стехиометричны по составу, они являются концентраторами As до 0.13%, Ag до 1.52%, Ni до 1.16%, Cu до 0.34%, Sb до 0.09%, золота до 0.12% .

Арсенопирит также нестехиометричен, по составу, является концентратором Ni до 1.09%, Cu до 0.42%, Sb до 0.98%, Se до 0.16% (табл. 4), золота до 0.21% .

Халькопирит концентрирует Ag до 0.02% и Te до 0.09%.

Сфалерит нестехиометричен, по составу, высокожелезистый (до 8.6%), концентрирует Cd до 0.22% и In до 0.32%.

Галенит также нестехиометричен, по составу, концентрирует Ag до 0.65%, Cu до 0.41%, Sb до 0.57%, Te до 0.63%.

Для выявления состава карбонатов были проведены микрозондовые исследования. Установлено что сидерит и доломит высокомарганцовистые (до 4.3%).

Апатит представлен высокофтористым апатитом (до 14.04%).

В кварцевых жилах и околожилных образованиях установлены два редкоземельных минералов х и эрицит фосфат La и Ce.

В кварце и околожилных образованиях часто встречается вкрапленное углеродистое вещество в смеси с гидрослюдой. В них встречается целая гамма элементов: Cl до 0.14%, SO₃ до 5.9%, Cr до 2.8%, Mn до 0.4%, As до 14.9% [48]

Форма нахождения золота: самородное, высокопробное установлено по трещинкам в виде микронных включений в ассоциации с окисленными минералами юконитом и скородитом, которые образовались за счет окисления пирита, пирротина и арсенопирита; и золото «невидимое» в сульфидных минералах (пирите, пирротине, арсенопирите, гидрогетите и юконите). Следует особо подчеркнуть на присутствие в самородном золоте Pt до 0.25%.

Серебро не образует собственных минералов, оно входит в состав самородного золота и присутствует в виде примеси в пирротине, арсенопирите, халькопирите, сфалерите и галените.

Минералами зоны окисления представлена оксидами (гидрогетит, гетит), сульфатом (смолонокит) и арсенидом (юконит). В гидрогетите установлены высокие содержания As₂O₃ до 5.2%, Cu до 0.04%, SO₃ до 0.22%, золота до 0.12%, в юконите до 0.21% (табл. 2).

Исследование месторождений золота и золотосодержащих руд в настоящее время стало очень важной и главной задачей в золотопромышленности. Я как будущий химик-технолог по производству редких, благородных и рассеянных металлов, интересуюсь и изучаю производства этих металлов как отечественной промышленности так и

зарубежной. Экономика и социальное-экономическая ситуация республики связано с его богатствами и правильное получение и переработка, охранение этих богатств является главной задачей любого гражданина страны.[87][93]

Главными направлениями развития фундаментальных знаний в области обогащения полезных ископаемых являются: изучение взаимосвязи структурного, вещественного и фазового состава природного и техногенного сырья с физическими, физико-химическими и технологическими свойствами минералов; сочетание методов физико-химического моделирования с экспериментальными исследованиями основных процессов разделения минералов, создание условий интергранулярного разрушения минеральных комплексов и механизма интенсивного вскрытия упорных руд. [20]

Одно из приоритетных направлений– создание новых экологически безопасных процессов комплексной переработки и вскрытия труднообогатимых руд и продуктов обогащения на основе комбинированных современных методов обогащения, пиро- и гидрометаллургии, использующих дополнительные энергетические воздействия. Основой геохимико-технологических исследований является комплексное изучение всех ценных элементов, присутствующих в породах или рудах, с учетом геохимических особенностей каждого из них как в отдельности, так и в различных качественно-количественных сочетаниях с другими элементами. При этом обязательно учитываются изменчивость их форм нахождения в различных физических состояниях и возможности их изменений в технологическом цикле переработки руд от недр до конечного продукта.

Характерно, что если по технологической минералогии за последние 15–20 лет опубликовано несколько тысяч научных статей, тезисов и монографий, то по технологической геохимии за это же время опубликовано

не более 10–15 работ, а геохимико-технологические исследования пока еще не оформлены теоретически и технологами практически не применяются. Сложность использования новых направлений технологических исследований заключается в большом разнообразии природных рудообразующих систем, в которых формируются промышленные концентрации как главных рудных элементов, так и всего комплекса редких и рассеянных элементов. Практически каждое месторождение является уникальным по своим минералого-геохимическим особенностям и не имеет полных аналогов.

Актуальность проблемы рационального использования упорных руд с тонковкрапленным золотом и серебром связана не только с ухудшением качества рудного сырья, перерабатываемого или планируемого к переработке на предприятиях отрасли, но также и с резко возросшими в последние годы требованиями к комплексности использования сырья и охране окружающей среды от воздействия токсичных отходов промышленного производства. Эти требования приобретают особую остроту в случае переработки именно упорных руд, характеризующихся, как правило, сложным вещественным составом.

Выводы к главе I.

Таким образом, анализ литературных данных по установлению форм нахождения золота в упорных сульфидно-мышьяковистых золотосодержащих руд, преимущественно месторождений Каракутан и площади Султанбобо-Янтаклы показывает, что в зависимости от типа месторождений и минералогического состава различают ряд концентраторов золота.

Анализ литературы указывает, что развитие высокоинформативных методов исследований позволяют изучать на атомно-молекулярном уровне.

Последнее представляется важным не только для открытия новых свойств материалов, но и совершенствования и создания высокоэффективных технологий. Например, такие исследования привели к пересмотру существующих представлений о формах нахождения элементов в рудном теле и отходах производства. В последнее время появилось много данных, в том числе и прямых определений состояния золота в минералах, которые легли в основу нового направления технологической минералогии.

Можно сказать, похожие по составу и минералогии руды этих месторождений составляют основную часть 55-60% упорных руд, которые перерабатываются в извлечении золота в сегодняшний день.

По данным работ отечественных исследователей можно узнать не полное извлечение драгоценных металлов от этих руд методами и технологией настоящего времени, и открытие новых месторождений, которые могут иметь большой запас требует углубленное исследование природы выше указанных минералов.

Приведение современных точных количественных анализов сырья, служит более точному и полному извлечению драгоценных металлов из концентратов.

Основными инструментами определения вещественного и минералогического состава таких руд являются масс-спектрометрические, рентгенофазовые, микроскопические и микронзондовые методы исследования.

Так, кварцево-жильная система представлена двумя продуктивными минеральными ассоциациями: основной, кварц-пирротин-пирит-

арсенопиритовой, и второстепенной, кварц-карбонат-полусульфидной, очень слабо проявленной.

Для золота установлены две формы его нахождения:

– самородной золото, в основном, присутствует по трещинкам в кварце или гидроокислах железа.

– золото «невидимое» присутствует в виде наночастиц в пирротине, пирите, арсенопирите и окисленных минералах в гидрогетите, скородите и юконите.

Проведение наиболее эффективных, но в то же время малорасходных видов обогащения или изменение самого процесса, способствует к оптимизации процесса извлечения, в том числе процент нужного компонента в отходах снижется, так как обогащение проводится не традиционным методом.

Главная проблема извлечения на сегодняшний день, это именно тонко вкрапленное золото, которое скорее всего теряется в стандартных условиях извлечения. Поэтому извлечения золота из упорных руд сопровождается большими затратами химического и технологического процесса.

Как показали авторы, получение более мелкой и обогащенного рудного концентрата помогает улучшить извлечение золота из упорной руды.

Глава II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

II.1 Физико-химические и минералогические методы анализа

Как отмечалось выше, развитие современных инструментальных методов исследования позволили более детально установить природу элементов и образование минералов не только в рудном сырье, но и в продуктах переработки в производственном цикле и отходов производства. Впервые [52-56] был применен комплекс локальных и аналитических приборов нового поколения при изучении руд и минералов эндогенных и техногенных месторождений.

При проведении исследований в настоящей работе применены локальные и аналитические приборы и минералого-технологические методы анализа. В основном исследования проводились в Институте геологии и геофизики АН РУз и Центральной лаборатории Госкомгеологии.

1. Электронно-зондовый микроанализатор JXA-8800R "Superprobe" (Jeol, Япония), который является прибором нового поколения, сочетающий в себе возможности двух приборов: рентгеновского микроанализатора с

электронным зондом и сканирующего электронного микроскопа. С помощью рентгеновских спектрометров осуществляется количественный и качественный анализ элементного состава на площади образца с высоким пространственным разрешением (до 0,02 мкм).

Позволяет определять содержание более 70 элементов (от бора до урана) в диапазоне концентраций от 0,005 до 100% в микроучастках размером около 1 микрона.

Одновременно получают высококачественные изображения поверхности с отраженных и поглощенных электронов в диапазоне увеличений от 40 до 25000^x для изучения тонких особенностей и структуры вещества.

2. ИСП - масс-спектрометр Elan-6000 (PerkinElmer, США). Масс-спектрометр с индукционно-связанной плазмой (ISPMMS) Elan-6000 - современный высокочувствительный, полностью автоматизированный прибор для точного элементного и изотопного анализа жидких и твердых веществ на содержание любых элементов периодической системы.

Предел обнаружения для большинства элементов составляет 0,00 грамма на тонну.

3. Атомно-абсорбционный спектрометр PerkinElmerAS-3300 предназначен для точного анализа на 2-3 элемента жидких проб, технологических растворов, твердых веществ после их химического разложения.

4. Для установления фазового состава использовался дифрактометр XRD-600 фирмы SHIMADZU.

Основные параметры съемки: CuK α – излучение V- 30 Kv, I-30 mA , 2 θ - 4.000 – 50.000 град.

Дериватографические исследования проводились на дериватографе Q-1000 системы Paulik-PaulikErdey в атмосфере воздуха со скоростью 10град/мин при навеске 80-100мг и эталоне Al_2O_3 .

Для установления вещественного состава и технологических свойств сырья при воздействии высоких температур не только природных, но и техногенных рудных месторождений и выяснения их промышленной ценности.

Технологическое исследование руд выполнялись на представительных пробах

На аналитические, минералогические и технологические виды исследований отобраны представительские пробы. Из этих проб были изготовлены препараты (брикеты, аншлифы, штуфы) для минералогических исследований, оставшаяся часть была подвергнута (дроблению, истиранию, ситованию и квартованию). Из этих продуктов отбирались различные навески проб на выделение мономинеральных фракций рудных и нерудных минералов для аналитических и технологических исследований.

II.2 Получение концентрата из упорной руды месторождения Даугызтау

По месторождению Даугызтау проба среднее расчетное содержание основных компонентов в технологической пробе составляет 10,3 г/т золота и 8,3 г/т серебра. Кроме того, спектральным анализом установлены незначительные содержания меди, свинца, молибдена, мышьяка в количествах не превышающих 0,005.

В работе использована гравитационно - флотационной схемы обогащения руды, позволяющая получить общее извлечение по Даугызтау - 96%) золота и 80,9%) серебра во флотоконцентрат;

- Для измельчения подготовлена шаровая мельница емкостью 6 л, при этом установлена необходимая шаровая нагрузка, соответствующая требованиям $T : Ж : Ш - 1 : 0,5 : 6$;

- Для гравитационных опытов применялся концентрационный стол марки СК-1 (мелкопесковый), позволяющий определить необходимый угол наклона деки стола, число качаний, расход воды и другие параметры. Кроме того проверяли винтовой сепаратор для предварительной концентрации;

- установлен концентратор Нельсон,

- Для флотационных исследований использовали флотомашину марки ФМ с объемом камер 3; 1,5; 1 л, позволяющих проводить основную и контрольную флотации, а также перемешивания основного концентрата[57-61]

Подготовку проб для исследований проводили по схеме:

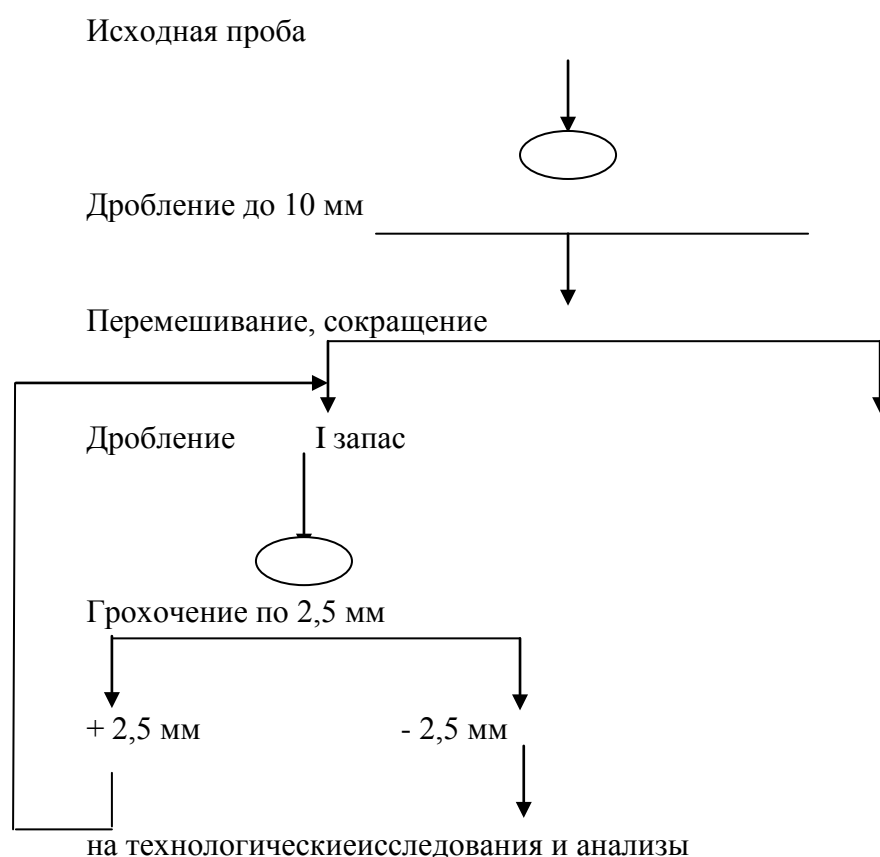


Рис. II.1. Схема подготовки руды к исследованиям

-Для магнитной сепарации концентратов применяли электромагнитный сепаратор марки 138 ТУ.

В результате проведенных исследований :

Установлен оптимальный режим флотации для обеих проб руды, который включает:

- Измельчение до тонины помола – 85 – 90% класса -0,074мм;
- Расход реагентов;
- Бутилового ксантогената во флотацию (250 + 50) г/т;
- Медный купорос в контрольную флотацию – 50 г/т;
- Вспенивателя Т – 91 - (120 + 20) г/т.

Продолжительность основной флотации – 8 минут, контрольной – 12 минут, количество перечисток – 3. Продолжительность 1-ой – 6 минут; 2-ой – 5 минут, 3-ей – 4 минуты.

Выполнено гравитационное обогащение. Показано, что для обогащения на концентрационном столе требуется тонкий помол - не менее 75% класса -0,074мм.

Показано, что в связи с тонкодисперсным включением золота и серебра в рудоносные минералы и кварц, получить богатый по золоту и серебру концентрат – «головку» на руде вряд ли удастся. Извлечение золота (на пробе 2) в гравииоконцентрат – 50%, серебра – 50,5%, но содержание не превышает 4,0г/т и 15,8 г/т соответственно.

Глава III. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В УПОРНОМ СУЛЬФИДНО-МЫШЬЯКОВИСТОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ДАУГЫЗТАУ

3.1 Характеристика и вещественный состав исходных руд месторождения Даугызтау

На месторождении выделены два основных геолого-технологических типа руд: окисленные и первичные (сульфидные). Окисленные руды развиваются в верхней части руд до глубины 30-40м от поверхности месторождения, в которых сульфиды подверглись окислению различными типами окислителей, с образованием вторичных минеральных соединений, а также высвобождением связанного золота с сульфидами и др. минералами, переотложением его в самородной и укрупнением первичного (свободного) золота (амальгамируемой и цианируемой) форме в матрицах нерудных минералов и пустотах выщелачивания сульфидов. Размер золотин от 0.02 до 0.12мм, пробность 920-100% .

Среднее расчетное содержание основных компонентов в технологической пробе по паспортным данным 10,3 г/т золота и 8,3 г/т

серебра. Кроме того, спектральным анализом установлены незначительные содержания меди, свинца, молибдена, мышьяка в количествах не превышающих 0,005%.

Отобранная технологическая проба Даугызтау является представительной по количеству, минералогическому составу и структурно-текстурным особенностям руд.

Материал пробы представлен алевропесчаниками от темно – серого до черного цвета. Породы трещиноватые с мелкой неравномерной вкрапленностью кристаллов пирита и арсенопирита.

Для выяснения причин упорности руд золоторудного месторождения Даугызтау, в результате геолого-минералого-технологического анализа выделены 4 сорта руд:

1. Черные по цвету и высокому содержанию органических веществ (ОВ)
2. Серовато-черные со средним содержанием ОВ
3. Серовато-белые с незначительным содержанием ОВ
4. Окисленные руды

По данным спектрального и ИСП анализов выше приведенных сортов руд было установлено, что они весьма резко отличаются по содержанию порообразующих, халькофильных, сидерофильных, литофильных, халькофильных, благородных, редких урановых элементов .

Первый сорт руд, относительно 2, 3 сорта руд, отличается повышенным содержанием Mg, Al, Ti, Fe, V, Cu, Zn, As, Sb, Bi, Te, Pt, Li, Be, W, Hf, U и пониженным содержанием Na, Ca, Au .

Сорта руд 2, 3, по содержанию, выше перечисленных компонентов, не отличаются друг от друга, но они, в отличие от 1 сорта, отличается значительно высоким содержанием редкоземельных элементов. Выше проведенные исследования позволят, в дальнейшем, более детально исследовать, в технологическом отношении, упорность руд золоторудного месторождения Даугызтау.

Таблица III.1 Результаты спектрального анализа халькофильных элементов в различных сортах руд (по данным спектрального анализа, в г/т)

№	Сорт руд	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Ni	Co	Sb	Mo	Sn
6-D	Черные по цвету, высокое содержание ОВ	2.0	10.0	8.0	10.0	70.0	20.0	4.0	8.0	0.2	0.2
7-D	Серовато-черные, среднее содержание ОВ	1.0	8.0	8.0	7.0	50.0	8.0	2.0	–	–	0.2
8-D	Серовато-белые, незначительное содержание ОВ	0.1	10.0	1.0	6.0	–	8.0	3.0	–	–	0.3
9-D	Общая усредненная руда	2.0	20.0	7	10	–	10.0	2	10	0.2	0.3

Таблица III.2 Результаты спектрального анализа литофильных редкоземельных элементов в различных сортах руд (по данным спектрального анализа, в г/т)

№	Сорт руд	Be	Li	Y	Yb	Zr	Sc	Ga
6-D	Черные по цвету, высокое содержание ОВ	0.7	5.0	8.0	1.0	30.0	1.0	3.0
7-D	Серовато-черные, среднее содержание ОВ	0.6	2.0	10	1.0	30.0	3.0	2.0
8-D	Серовато-белые, незначительное содержание ОВ	0.4	3.0	3	0.4	20.0	0.9	2.0
9-D	Общая усредненная руда	0.5	–	5	0.6	20.0	1.0	2.0

Таблица III.3 Результаты спектрального анализа породообразующих элементов в различных сортах руд (по данным спектрального анализа)

№	Сорт руд	Si	Al	Ca	Na	K	Mg	Ba	Sr	Mn	V	Ti	Cr
---	----------	----	----	----	----	---	----	----	----	----	---	----	----

6-D	Черные по цвету, высокое содержание ОВ	>3	>3	3.0	>1.0	>1.0	>3.0	80.0	30.0	100.0	20.0	500.0	10
7-D	Серовато-черные, среднее содержание ОВ	>3	>3	3.0	>1.0	>1.0	>3.0	80.0	30.0	80.0	8.0	400.0	8
8-D	Серовато-белые, незначительное содержание ОВ	>3	>3	>3.0	>1.0	>1.0	>3.0	70.0	10.0	90.0	7.0	300.0	9
9-D	Общая усредненная руда	>3	>3	300	>1.0	>1.0	>3.0	80.0	20.0	60.0	10.0	400.0	8

Примечание: Si, Al, Ca, K, Mg в %: Ca, Ba, Sr, Mn, V, Ti, Cr в г/т: ОВ - органическое вещество.

Помимо полученного флотоконцентрата в работе исследованы продукты переделов при работе руды.

Таблица III.4. Характеристика исследуемых проб

№ п.п	Наименование проб	Содержание элементов, %			
		Au, г/т	S _s	Ag	Сорг
1	Руда Даугызтау	4,23	2,93	12,75	0,39
2	Флотоконцентрат	7,1		17,4	
3	Хвосты флотации				
4	Хвосты сорбции «Кемикс»	9,9	6,5	0,75	2,2

5.	Огарок обжига хвостов сорбции «Кемикс»	18,2	19,5	0,9	0,9
----	--	------	------	-----	-----

Для проведения минералогических исследований было отобраны по одному образцу из усредненных 5-ти представленных проб для рентгенофазового анализа и изготовлено четыре брикета для микроскопических и микрозондовых исследований с использованием микроанализатора “Jeol” (США).

III.2 Исследование минералогического состава продуктов переработки руды Даугызтау

Результаты рентгенофазового анализа и микрозондовых исследований минералогического состава технологических проб №1-5. приведены ниже.

Среди породообразующих и жильных минералов преобладают гидрослюды, кварц и полевые шпаты, содержание которых в руде составляет 80-90%, менее распространены карбонаты, углеродистое вещество и др. Последние в основном представлены кварцем. Практически на дифрактограммах присутствуют интенсивные рефлексы при $d = 3.34\text{Å}$.

Гранулометрическим анализом выявлено чрезвычайно мелкий размер выделений основных сульфидов пирита, арсенопирита, антимонита и др., среди которых 75-96% по весу приходится на вкрапленность $<0.15\text{мм}$, среди них 30-39% на долю мелкой фракции ($<0.04\text{мм}$). Химическим анализом в сульфидных рудах месторождения Даугызтау установлен ряд сопутствующих золоту других компонентов: Au, Ag, As, Sb, S. Для сравнения приведены характеристики Кокпатаской руды.

Таблица III.5 Характеристика дифрактограммы пробы 2-1 Кокпатаской руды (значения угла 2θ в град., межплоскостного расстояния $d, \text{Å}$,

интегральная интенсивность рефлекса I ,относительная интенсивность I/I₀,

№	<2Theta>	< d >	< I >	<I/I ₀ >	< FWHM >	<integrated I>
1	6.1652	14.32435	52	3	0.1876	927
2	8.7801	10.06325	415	25	0.2151	5419
3	12.4620	7.09710	177	11	0.1863	2288
4	17.7194	5.00145	98	6	0.2331	1252
5	19.7755	4.48583	84	5	0.2649	1564
6	20.8217	4.26274	241	14	0.1536	2259
7	22.0211	4.03320	106	6	0.1467	990
8	23.5200	3.77945	51	3	0.1600	682
9	24.2163	3.67233	83	5	0.1673	1142
10	25.1366	3.53993	104	6	0.1867	1653
11	26.3600	3.37835	137	8	0.1174	1617
12	26.6086	3.34734	1683	100	0.1755	15882
13	26.9000	3.31174	114	7	0.1146	1535
14	27.6800	3.22016	101	6	0.1600	1318
15	27.8800	3.19752	211	13	0.2122	2761
16	29.4370	3.03184	100	6	0.1748	1025
17	29.8170	2.99406	56	3	0.2282	681
18	30.5000	2.92855	58	3	0.3450	1708
19	30.8867	2.89276	833	49	0.1625	7088
20	31.2030	2.86415	68	4	0.1540	1051
21	32.9984	2.71231	54	3	0.1294	482
22	34.5000	2.59761	54	3	0.1734	723
23	34.7800	2.57734	59	4	0.1900	999
24	34.9400	2.56590	108	6	0.0000	0
25	35.0600	2.55739	52	3	0.1542	882
26	36.5179	2.45857	126	7	0.2011	1689
27	37.6150	2.38935	52	3	0.2900	1367
28	39.4488	2.28240	100	6	0.1703	1085
29	40.2765	2.23738	50	3	0.1758	702
30	41.0343	2.19779	50	3	0.1953	840
31	42.4170	2.12930	97	6	0.1468	1106
32	44.9110	2.01667	70	4	0.3314	1568
33	45.2000	2.00445	62	4	0.0000	0
34	45.3400	1.99858	71	4	0.0000	0
35	45.5000	1.99193	85	5	0.1700	952
36	45.7494	1.98165	61	4	0.1634	644

Несмотря на схожесть минералогического состава руд Кокпатаса и Даугызтаудифрактограммы указывают на их существенное различие, скорее связанное на их количественное соотношение (рис.1-2).

Так, например, рефлекс при $d = 2.89 \text{ \AA}$ с интенсивностью $I/I_0 - 49$ на дифрактограмме руды Кокпатас практически отсутствует на дифрактограмме пробы с Даугызтау.

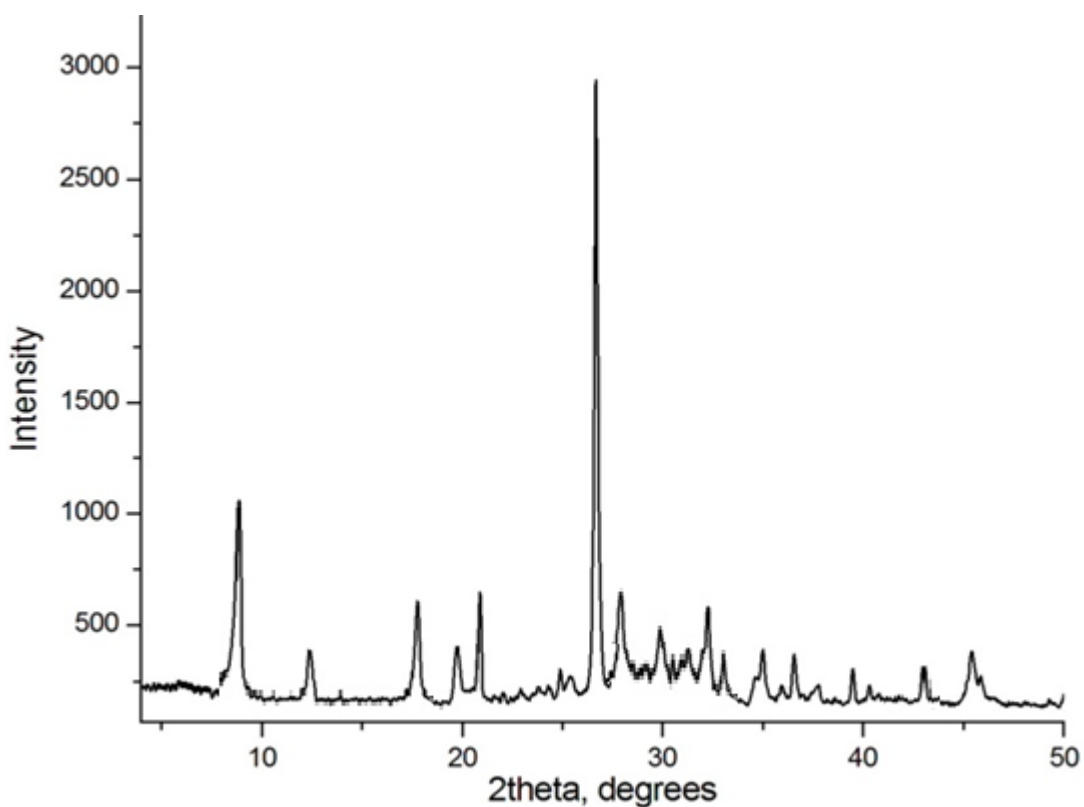


Рисунок III.1- Дифрактограммы пробы 2-1 Кокпатаской руды
($2\theta = 26.6086$; $d = 3.34734 \text{ \AA}$, $I/I_0 = 100$; $2\theta = 30.8867$; $d = 2.89276 \text{ \AA}$, $I/I_0 = 49$)

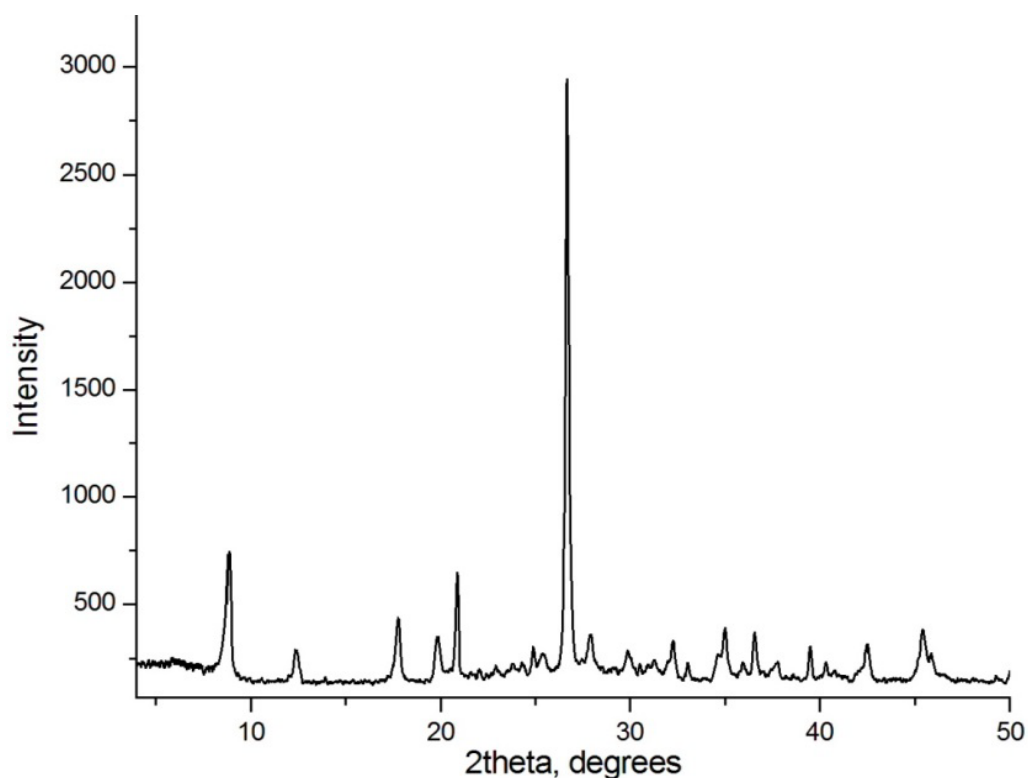


Рисунок III.2- Дифрактограммы пробы 2-2 руды Даугызтау
($2\theta = 26.6546$; $d = 3.34167$; $I_0 = 100$)

Таблица III.6 Характеристика дифрактограммы пробы 2-2 руды Даугызтау
(значения угла в град., межплоскостного расстояния, Å, интегральная
интенсивность рефлекса I, относительная интенсивность,

№	<2Theta>	< d >	< I >	<I/I ₀ >	< FWHM >	<integrated I>
1	8.5600	10.32150	108	5	0.2658	1911
2	8.7801	10.01997	389	19	0.2778	5108
3	12.4620	7.13732	102	5	0.3006	1812
4	17.7336	4.99747	200	10	0.2699	3356
5	19.8281	4.47405	136	7	0.3179	2564
6	20.8579	4.25542	336	17	0.1696	3402
7	24.8802	3.57582	83	4	0.1836	1301
8	26.6546	3.34167	2013	100	0.1763	21513
9	27.0000	3.29970	93	5	0.1176	1552
10	27.8747	3.19811	117	6	0.3006	2708
11	29.8485	2.99097	67	3	0.2171	1010
12	32.2418	2.77421	121	6	0.1950	1823
13	33.0260	2.71010	61	3	0.1320	482
14	34.6200	2.58888	80	4	0.2400	1188
15	34.9684	2.56388	166	8	0.2282	2177

16	36.5440	2.45687	148	7	0.1939	1737
17	39.4736	2.28102	128	6	0.1512	1093
18	40.3105	2.23557	63	3	0.1516	750
19	42.4603	2.12722	134	7	0.2065	2338
20	45.1800	2.00529	84	4	0.2150	1022

Анализ дифрактограмм исходных руд и пробы флотоконцентрата показывает, что на дифрактограмме пробы флотоконцентрата появляются рефлексы средней интенсивности при $d = 2,698$ и $2,415 \text{ \AA}$, характерные для структуры пирита.

Отсутствие этих рефлексов на исходных рентгенограммах руд объясняется низким содержанием пирита (от 3 до 9%).

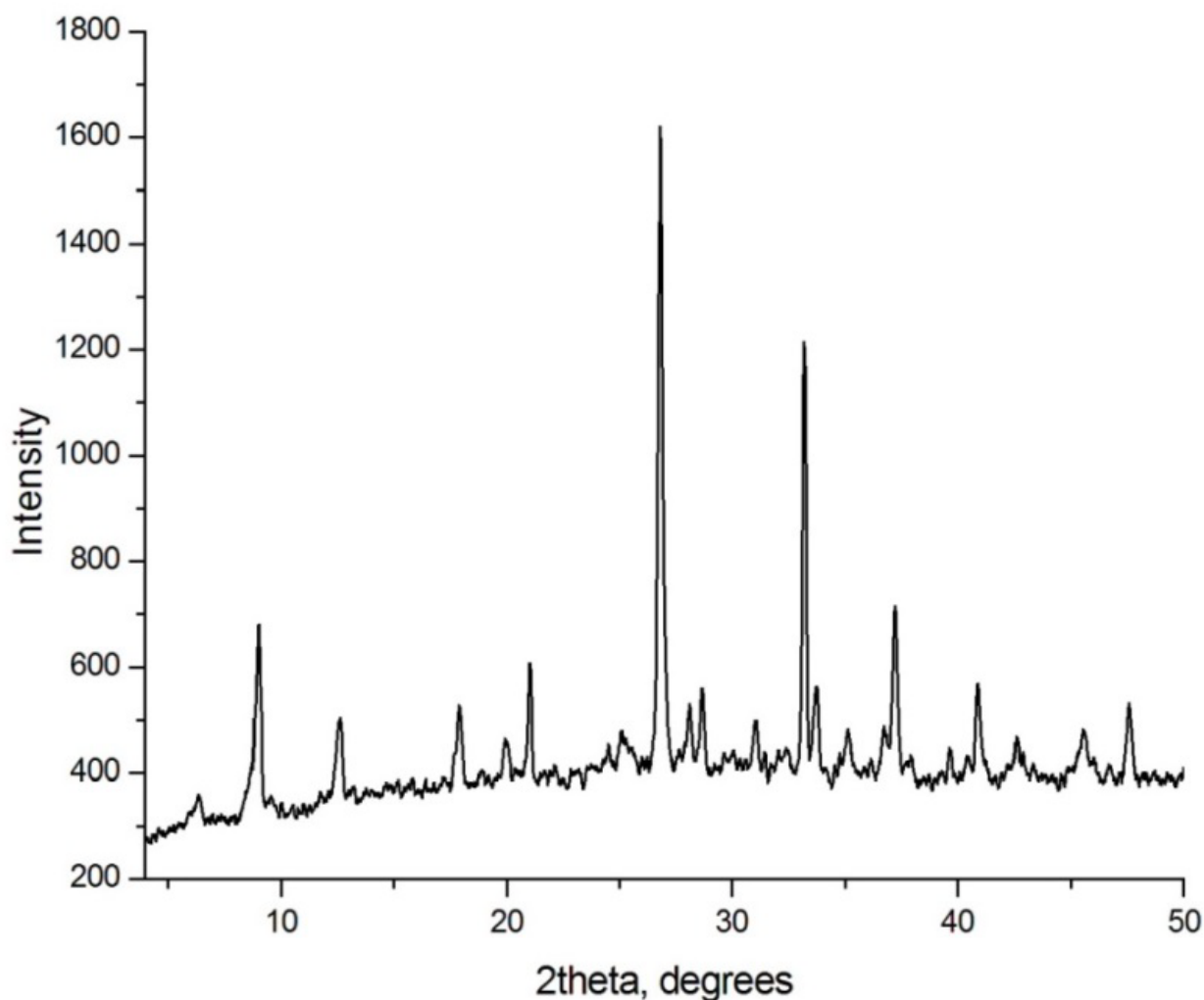


Рисунок III.3-Дифрактограммы пробы 2-3 флотоконцентрата
 ($2\theta= 26.7991$; $d -3.32398$ I/I₀- 100 ; $2\theta= 33.1771$; $d -2.69810$, I/I₀- 72

Сопоставляя соотношение интенсивности рефлексов кварца и флотоконцентрата можно сделать вывод об уменьшении доли кварца и увеличении содержания пирита во флотоконцентрате.

Таблица III.7. Характеристика дифрактограммы пробы 2-3 флотоконцентрата
 (2θ в град., $d, \text{Å}$, i , относительная интенсивность i/i_0 ,

№	<2Theta>	< d >	< I >	<I/I ₀ >	< FWHM >	<integrated I>
1	6.3614	13.88299	38	4	0.3229	960
2	8.4600	10.44328	38	4	0.2266	729
3	8.9739	9.84635	240	28	0.2716	3932
4	12.5622	7.04072	104	12	0.3131	2142
5	17.6800	5.01250	48	6	0.1550	421
6	17.8925	4.95345	109	13	0.2350	1345
7	19.9564	4.44557	59	7	0.2951	1304
8	21.0103	4.22490	160	18	0.1713	1626
9	22.1400	4.01181	27	3	0.1600	459
10	22.8271	3.89258	26	3	0.0885	206
11	24.5009	3.63032	38	4	0.1218	399
12	25.0400	3.55337	52	6	0.1418	500
13	25.2800	3.52017	45	5	0.2000	415
14	25.4800	3.49299	32	4	0.2800	595
15	26.7991	3.32398	868	100	0.1998	9309
16	27.0400	3.29491	129	15	0.1494	1657
17	27.6100	3.22817	32	4	0.2066	381
18	27.8800	3.19752	40	5	0.1200	247
19	28.0922	3.17384	86	10	0.2010	954
20	28.6527	3.11302	115	13	0.2091	1470
21	29.6354	3.01199	28	3	0.1958	405
22	30.0025	2.97597	30	3	0.2450	491
23	31.0109	2.88146	74	9	0.2332	1029
24	31.4213	2.84475	34	4	0.1627	318

25	32.0330	2.79181	35	4	0.1540	361
26	32.3805	2.76264	35	4	0.3476	630
27	33.1771	2.69810	627	72	0.1759	5858
28	33.6915	2.65808	126	15	0.2802	1897
29	34.1487	2.62353	26	3	0.1375	235
30	34.5455	2.59429	37	4	0.0990	219
31	34.7635	2.57852	55	6	0.0988	267
32	35.0000	2.56164	51	6	0.2058	461
33	35.1400	2.55175	71	8	0.1900	731
34	36.7680	2.44242	71	8	0.3211	1281
35	37.1982	2.41515	242	28	0.2079	2519
36	37.4000	2.40259	27	3	0.1166	245
37	37.6200	2.38904	26	3	0.0880	176
38	37.9275	2.37037	40	5	0.1450	392
39	39.6261	2.27259	50	6	0.1789	616
40	40.4100	2.23030	35	4	0.2066	403
41	40.8712	2.20619	142	16	0.1910	1745
42	42.5785	2.12159	58	7	0.1930	725

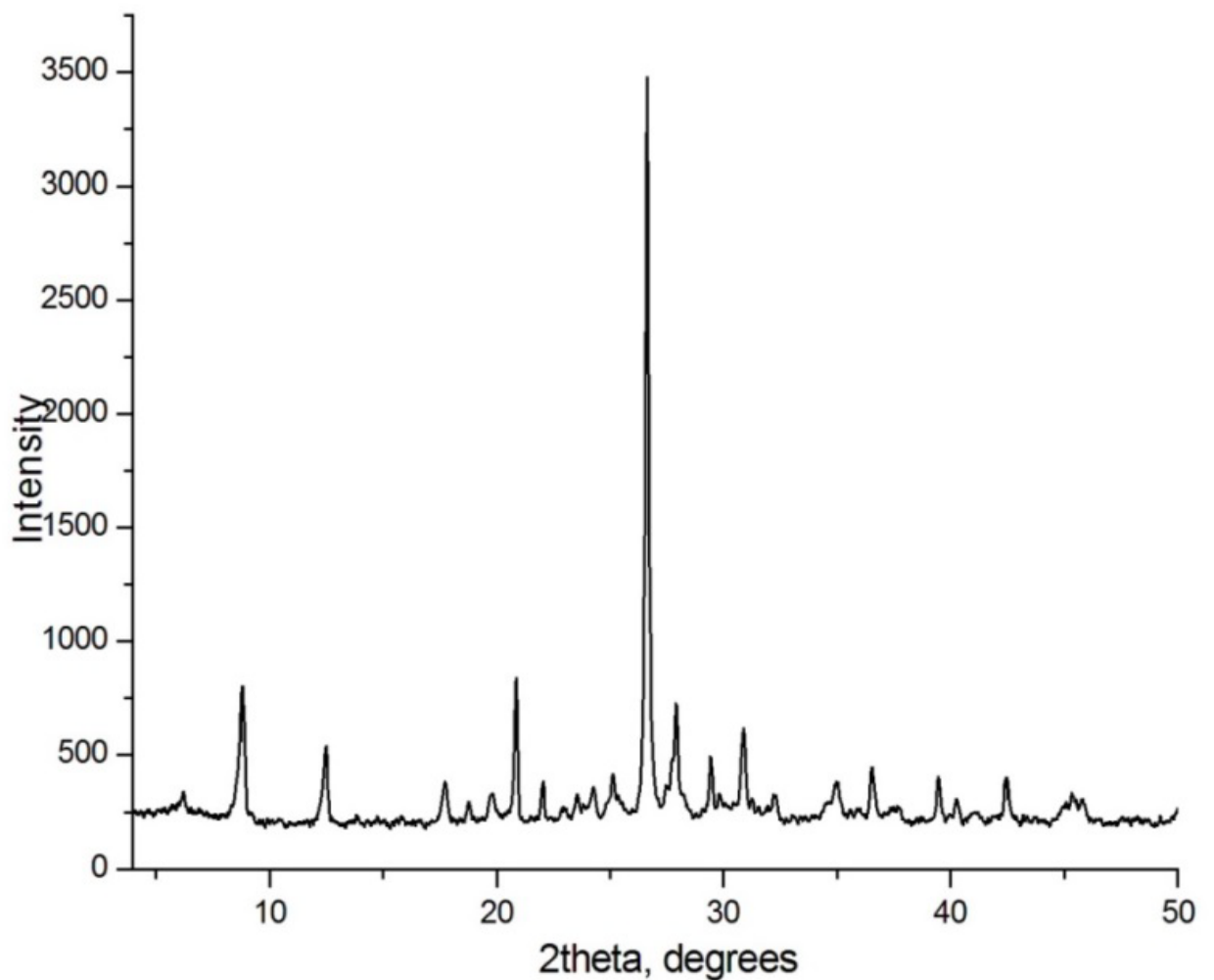


Рисунок III.4- Дифрактограммы пробы 2-4 хвостов флотации
($2\theta = 26.6173$; $d = 3.34627$, $I/I_0 = 100$;)

Кроме того, во флотоконцентрате сохраняются рефлексы гематита $d = 4.26$ и 2.71 \AA с несколько большей интенсивностью по сравнению с исходной рудой ($I/I_0 = 19$ и 10 соответственно). На присутствие гематита в концентрате указывает наличие рефлексов $d = 4.26$ и 2.71 \AA с $I/I_0 = 8$ и 15 соответственно.

Данные по минералогическому составу, полученных дифрактометрическим методом вполне согласуются с данными микронзондовых исследований. На таблице III.15-3,4. приведены микрофотографии изученных проб.

Таблица III.8 Характеристика дифрактограммы пробы 2-4 хвостов флотации
(2θ в град., $d, \text{\AA}$, I , относительная интенсивность I/I_0 ,

№	2θ	$\langle d \rangle$	$\langle I \rangle$	$\langle I/I_0 \rangle$	$\langle \text{FWHM} \rangle$	$\langle \text{integrated } I \rangle$
1	8.5400	10.34563	97	4	0.1636	1188
2	8.7883	10.05387	393	16	0.2196	4412
3	12.4363	7.11171	228	9	0.2250	3371
4	17.6960	5.00801	123	5	0.2549	2049
5	19.7643	4.48835	74	3	0.2936	1581
6	20.8375	4.25954	445	18	0.1394	3779
7	22.0250	4.03250	121	5	0.1284	1003
8	24.2364	3.66933	93	4	0.2106	1440
9	25.1131	3.54319	127	5	0.1738	2138
10	26.4200	3.37081	286	12	0.1080	2548
11	26.6173	3.34627	2448	100	0.1453	20747
12	27.4600	3.24546	80	3	0.1714	1209
13	27.7200	3.21561	168	7	0.1360	1194
14	27.9027	3.19497	355	15	0.1505	3235
15	29.4273	3.03282	190	8	0.1446	1788
16	30.8485	2.89626	256	10	0.2229	3524
17	32.2610	2.77260	79	3	0.2238	1105
18	34.9500	2.56519	106	4	0.3000	2824
19	36.5224	2.45828	174	7	0.1610	1764

20	39.4568	2.28195	170	7	0.1426	1510
21	40.2575	2.23839	88	4	0.1677	1166
22	42.4340	2.12848	168	7	0.1456	1638
23	45.3281	1.99908	101	4	0.1726	1682
24	45.7735	1.98066	81	3	0.1630	1011

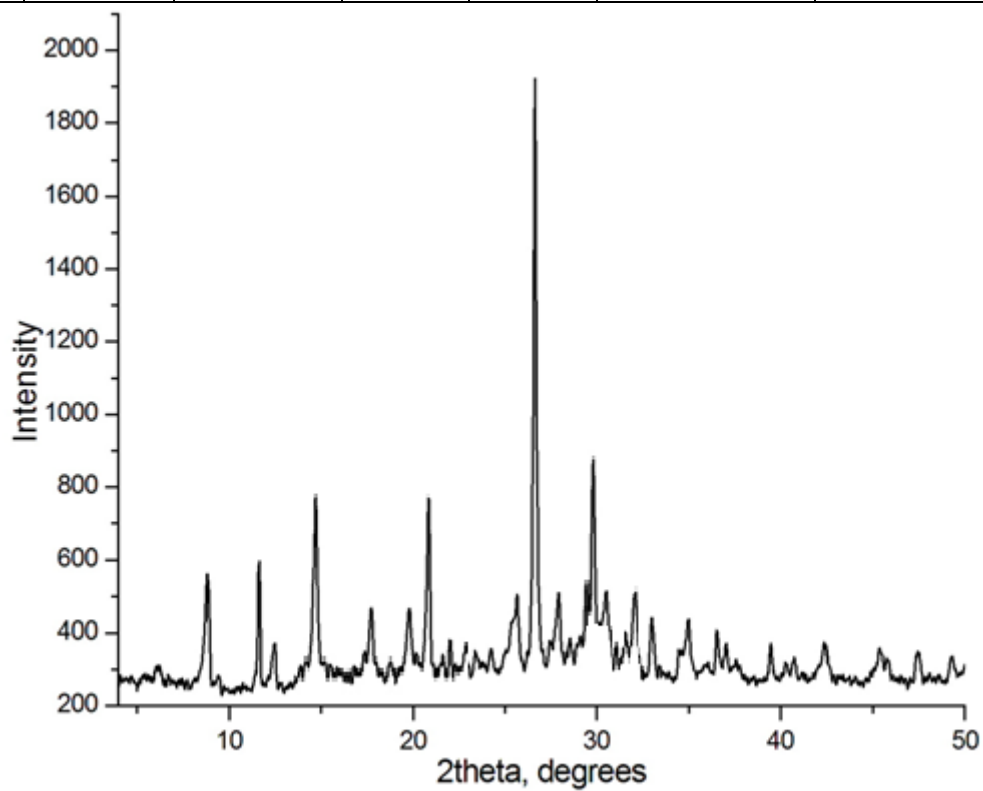


Рисунок III.5 Дифрактограммы пробы 2-4 хвостов сорбции «Кемикс»
 ($2\theta = 26.6139$; $d = 3.34669$, $I/I_0 = 100$; $2\theta = 33.1771$; $d = 2.69810$, $I/I_0 = 72$)

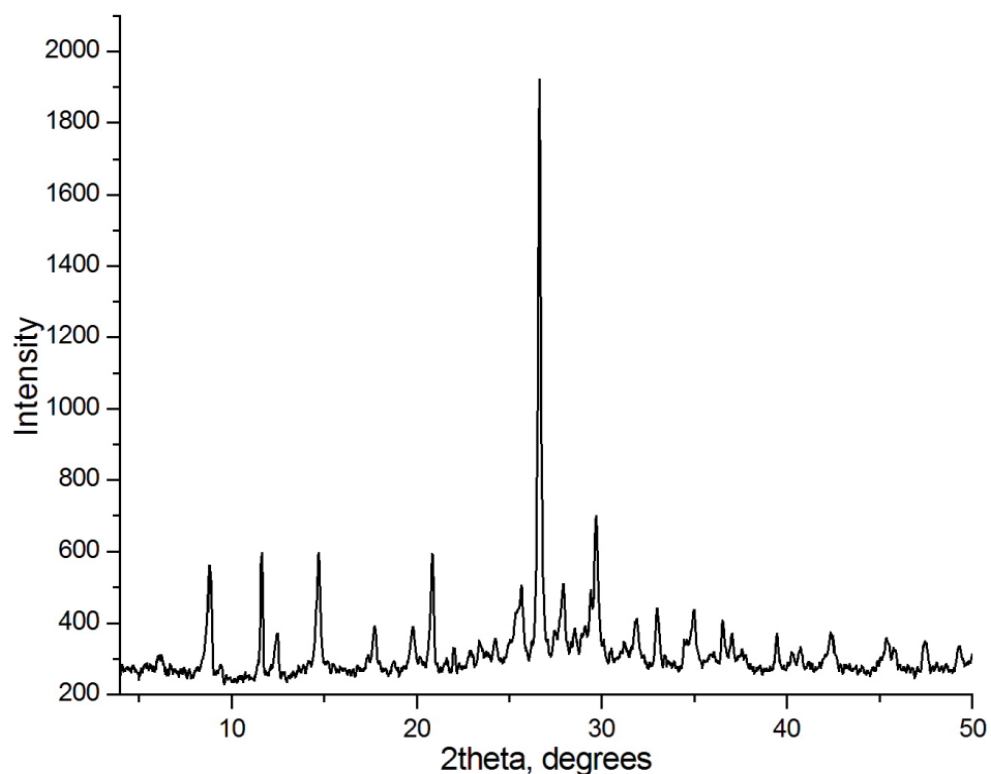


Рисунок III.6 Дифрактограммы пробы 2-8 обожженного огарка хвостов сорбции ($2\theta = 25.3967$; $d = 3.50426$ Å, $I/I_0 = 100$; $2\theta = 26.5679$; $d = 3.35238$ Å, $I/I_0 = 95$)

Таблица III.9 Характеристика дифрактограммы пробы 2-7 хвостов сорбции «Кемикс» (2θ в град., d , Å, I , относительная интенсивность I/I_0 ,

№	2θ	$\langle d \rangle$	$\langle I \rangle$	$\langle I/I_0 \rangle$	$\langle \text{FWHM} \rangle$	$\langle \text{integrated } I \rangle$
1	8.6200	10.24979	78	7	0.1734	998
2	8.7983	10.04247	209	18	0.2327	2224
3	11.6063	7.61836	234	20	0.1403	1979
4	12.4074	7.12821	81	7	0.2509	1215
5	14.4200	6.13754	39	3	0.1466	620
7	14.6709	6.03313	224	19	0.2382	3030
8	17.7037	5.00585	86	7	0.2252	1382
9	19.7552	4.49039	78	7	0.2465	1353
10	20.8174	4.26361	231	19	0.1717	2443
11	21.9976	4.03746	49	4	0.1487	491
12	22.8785	3.88395	37	5	0.2771	548
13	23.4150	3.79616	54	3	0.2300	766
14	24.2206	3.67169	46	4	0.2147	647
15	25.0400	3.55337	38	3	0.3754	715
16	25.3400	3.51197	87	7	0.2240	1072

17	25.6400	3.47156	143	12	0.1784	1589
18	26.3800	3.37583	87	7	0.0876	824
19	26.6139	3.34669	1192	100	0.1639	10225
20	26.8600	3.31658	99	8	0.1028	1059
21	27.4635	3.24506	47	4	0.1929	505
22	27.7000	3.21788	52	4	0.1600	347
23	27.8649	3.19922	127	11	0.2648	1396
24	28.5091	3.12837	48	4	0.1083	398
25	29.0922	3.06698	51	4	0.1578	620
26	29.4004	3.03553	125	10	0.1925	1119
27	29.6744	3.00812	271	23	0.2142	2776
28	29.8800	2.98789	57	5	0.0978	509
29	31.1952	2.86485	41	3	0.1135	408
30	31.8000	2.81173	80	7	0.1726	683
31	31.9000	2.80315	76	6	0.1458	524
32	32.9759	2.71410	115	10	0.2082	1075
33	33.1400	2.70104	40	3	0.0982	273
34	34.4666	2.60005	71	6	0.1333	639
35	34.6200	2.58888	57	5	0.0000	0
36	34.8200	2.57447	78	7	0.1746	792
37	34.9600	2.56448	116	10	0.1688	1082
38	36.5216	2.45833	105	9	0.1352	851

Таблица III.10 Характеристика дифрактограммы пробы 2-8 обожженного огарка хвостов сорбции «Кемикс»

(2θ в град., $d, \text{Å}$, относительная интенсивность I/I_0)

№	2θ	$\langle d \rangle$	$\langle I \rangle$	$\langle I/I_0 \rangle$	$\langle \text{FWHM} \rangle$	$\langle \text{integrated } I \rangle$
1	8.7497	10.09814	97	8	0.2022	1408
2	17.3600	5.10417	37	3	0.1228	369
3	17.5677	5.04429	61	5	0.2045	713
4	19.6689	4.50990	135	11	0.2578	2058
5	20.7903	4.26911	180	15	0.1673	1933
6	21.9400	4.04793	56	5	0.0780	225
7	22.0600	4.02618	36	3	0.0964	259
8	23.5035	3.78207	55	5	0.2129	810
9	23.8114	3.73386	44	4	0.0817	183
10	24.1233	3.68628	72	6	0.2067	1017
11	25.3967	3.50426	1189	100	0.1527	10349
12	25.7003	3.46355	44	4	0.1753	529
13	26.1046	3.41082	37	3	0.1042	205
14	26.3000	3.38592	107	9	0.1382	1340
15	26.5679	3.35238	1108	93	0.1759	10526
16	27.3847	3.25421	46	4	0.1781	501
17	27.6000	3.22932	70	6	0.1200	476
18	27.8600	3.19977	96	8	0.2114	1204

19	30.3852	2.93935	41	3	0.0696	351
20	31.3028	2.85525	185	16	0.1143	1281
21	31.4200	2.84487	42	4	0.0880	320
22	31.9039	2.80281	50	4	0.1255	504
23	32.9200	2.71859	52	4	0.1040	436
24	33.1117	2.70328	174	15	0.2071	1563
25	33.2800	2.69000	50	4	0.0972	383
26	34.3811	2.60632	49	4	0.1089	407
27	34.5926	2.59087	64	5	0.1613	441
28	34.7600	2.57878	41	3	0.1372	275
29	34.9474	2.56538	36	3	0.0777	172
30	35.5942	2.52023	172	14	0.2146	2246
31	36.2544	2.47583	89	7	0.2146	1023
32	36.4931	2.46018	112	9	0.1223	733
33	37.1946	2.41538	37	3	0.0987	385
34	38.6103	2.33001	128	11	0.1393	1070
35	39.4181	2.28410	82	7	0.1685	836
36	39.9533	2.25473	38	3	0.0820	168
37	40.2230	2.24023	48	4	0.1286	362
38	40.7783	2.21100	150	13	0.1443	1195
39	40.9600	2.20161	36	3	0.0800	229
40	41.2415	2.18723	56	5	0.1969	675
41	42.3886	2.13066	66	6	0.1827	835
42	43.3205	2.08696	67	6	0.1724	652
43	45.0193	2.01207	51	4	0.1263	486
44	45.4509	1.99396	44	4	0.1418	398
45	45.6600	1.98532	45	4	0.1200	255
46	45.7800	1.98039	40	3	0.1178	250
47	48.6476	1.87015	105	9	0.1187	787

Таблица III.11 Результаты рентгенофазового анализа представленных технологических проб

№ п.п	Наименование проб	Содержание минералов, %			
		Хвосты «Кемикс»	Гравиоконцентрат из хвостов «Кемикс»	Огарок из гравиоконцентрата	Хвосты цианирования огарка
1	Кварц	9,0	12,7	7,0	9,5
2	Калиевый шпат	2,6	4,2	3,1	4,7
3	Плагиоглаз	2,4	2,6	2,1	2,9
4	Гидрослюда	19,9	23,3	27,5	27,3
5	Монтморилонит				
6	Каолинит				
7	Кальцит	8,9	9,6	0,8	1,1
8	Доломит	1,0	4,0	0,8	0,7

9	Пирит	18,0	32,5	1,2	1,9
10	Арсенопирит	ед.зерн.	ед.зерн.	необнаружено	необнаружено
11	Гематит	37,6	11,1	49,5	51,9
12	Графит	2,2	0,9	0,1	0,1
13	Сфалерит	0,6	-	-	-
14	Ангидрит	-	-	8,0	-
15	Итого				

Полученные результаты указывают что, основной процент концентрата составляют пирит и гематит.

И важно обратить внимание что после обжига процент гематита в концентрате заметно вырос. Это объясняется тем что железо в составе пирита окисляется в термическом процессе.

Таблица III.12 Химический состав (%) минералов (по данным микронзондирования) проба №3

№ п.п	Элемент	Гематит	Су-скородит
1.	Сера	0,04	0,21
2.	Титан	1,55	-
3.	Ванадий	-	0,09
4.	Хром	0,14	0,07
5.	Марганец	-	-
6.	Железо	63,09	23,75
7.	Мышьяк	0,19	26,97
8.	Золото	-	0,06
9.	Кислород (в виде оксидов)	28,3	25,16
10.	Медь	-	23,52

Таблица III.13 Минеральный состав окисленных руд месторождения Даугызтау

Тип минералов	Минералы	Содержание в руде, %
Породообразующие	Кварц.полевой шпат	35-60
	Гидромусковит, каолинит, галлуазит, монтмориллонит, диккит	25-60
	Кальцит	0.1-2.0
	Углеродистое вещество	0.5
Гипергенные (окисленные)	Гипс	1-6
	Ярозит	1-6
	Золото	Знаки
	Алунит, барит, целестин, кальцит, сидерит, гематит, гидрогетит, гетит, валентенит, стибиконит, псиломелан, церрузит, скородит	менее 0.1

Таблица III.14 Усредненные результаты химических анализов геолого-технологических типов руд месторождения Даугызтау

Элементы в %	Окисленные руды (степень окисленности < 80%)	Сульфидные руды (степень окисленности 0 – 20%)
Au г/т	4.1	4.23
Ag г/т	3.73	12.71
S общ.	0.74	2.93
S сульфидная.	0.04	2.89
S сульфатная.	0.71	0.04
As	0.25	0.38
Sb	0.07	0.23
Cu	0.01	0.0016
Pb	0.003	0.380
Zn	0.11	0.02
SiO ₂	67.03	62.82

Al ₂ O ₃	13.08	14.07
Fe общ.	4.20	4.32
Fe сульфидная	0.05	2.54
Fe окисленная.	3.14	0.14
TiO ₂	0.78	0.65
CaO	1.12	1.18
MgO	0.74	2.09
Na ₂ O	1.94	0.73
K ₂ O	3.50	3.37
C общ.	0.2	0.9
C орг.	0.04	0.39
P ₂ O ₅	0.17	0.17
MnO	0.18	0.075

Таблица III.15 Минеральный состав первичных (исходных) руд месторождения Даугызтау

Тип минералов	Минералы	Содержание в руде, %
Рудные	Пирит	3.0-9.0
	Арсенопирит	0.1-1.5
	Антимонит	ед.зерна – 3.0
	Сфалерит	0.01
	Блеклые руды (фрайбергит, тетраэдрит)	0.01

	Андорит, джемсонит, буланжерит, бурнанит, халькопирит, галенит, семсеит, золото самородное, гередорфит, кобальтин, миаргирит, халькостибит, цинкенил, пирротин, кубанит, клаусталит, Sb самородное	менее 0.01
Породообразующие и жильные	Кварц и полевые шпаты	22.0-57.9
	Гидрослюда, каолинит, диккит, биотит	25.0-60.0
	Анкерит, олигенит, сидероплезит, сидерит, кальцит, пистомезит	2.0-17.0
	Угlistое вещество	0.02-1.0
	Барит	0.05-0.2
Акцессорные	Рутил	0.2-0.7
	Ильменит, апатит, циркон, монацит, эпидот, магнетит, турмалин, муссанит, гранаты, оливин	

Среди породообразующих и жильных минералов преобладают гидрослюды, кварц и полевые шпаты, содержание которых в руде составляет 80-90%, менее распространены карбонаты, углеродистое вещество и др.

Таблица III.16 Среднее содержание Au, Ag, As и других элементов в рудах

Элементы	Рудное тело и суммарный интервал		Опробывание 9 (105м)
	1 (324м)	2 (354м)	
Au г/т	4.20; 4.28*	3.84; 3.74*	5.21; 6.22*
Ag г/т	10.00	5.85	7.10
As %	0.24	0.31	0.25
Sb %	0.25	0.11	0.11
S %	3.09	3.06	2.94

Геобщ., %	4.35	4.43	4.48
Гесульфидн., %	2.51	2.58	2.52
Собщ., %	1.01	1.11	1.12
Сорг., %	0.44	0.45	0.52

Гранулометрическим анализом выявлено чрезвычайно мелкий размер выделений основных сульфидов пирита, арсенопирита, антимонита и др.

По данным микроскопии и микрозондирования золотосодержащих руд месторождений западного Узбекистана (Кокпатас, Даугызтау и др.) [55], представленные в табл.3.12, эти руды классифицируются как упорные трудновскрываемые, где роль углеродистых, мышьяковистых и сернистых соединений в отложении золота существенна.

Руды указанных месторождений залегают в черносланцевых толщах и представлены первичными и окисленными породами.

Они относятся к категории гетерогенных природных технологических систем (макро - микроминералы, наночастицы и коллоиды) с многоуровневой иерархической структурой организации вещества, которая отражена в изменчивости минеральных и других форм золота и сопутствующих им ассоциаций элементов.

Матрицей этих руд, вмещающей золотоеоруденение, является сложная силикат – алюмосиликат – карбонат – сульфат – арсенид – оксид – органично - сульфидная минералого - геохимическая система.

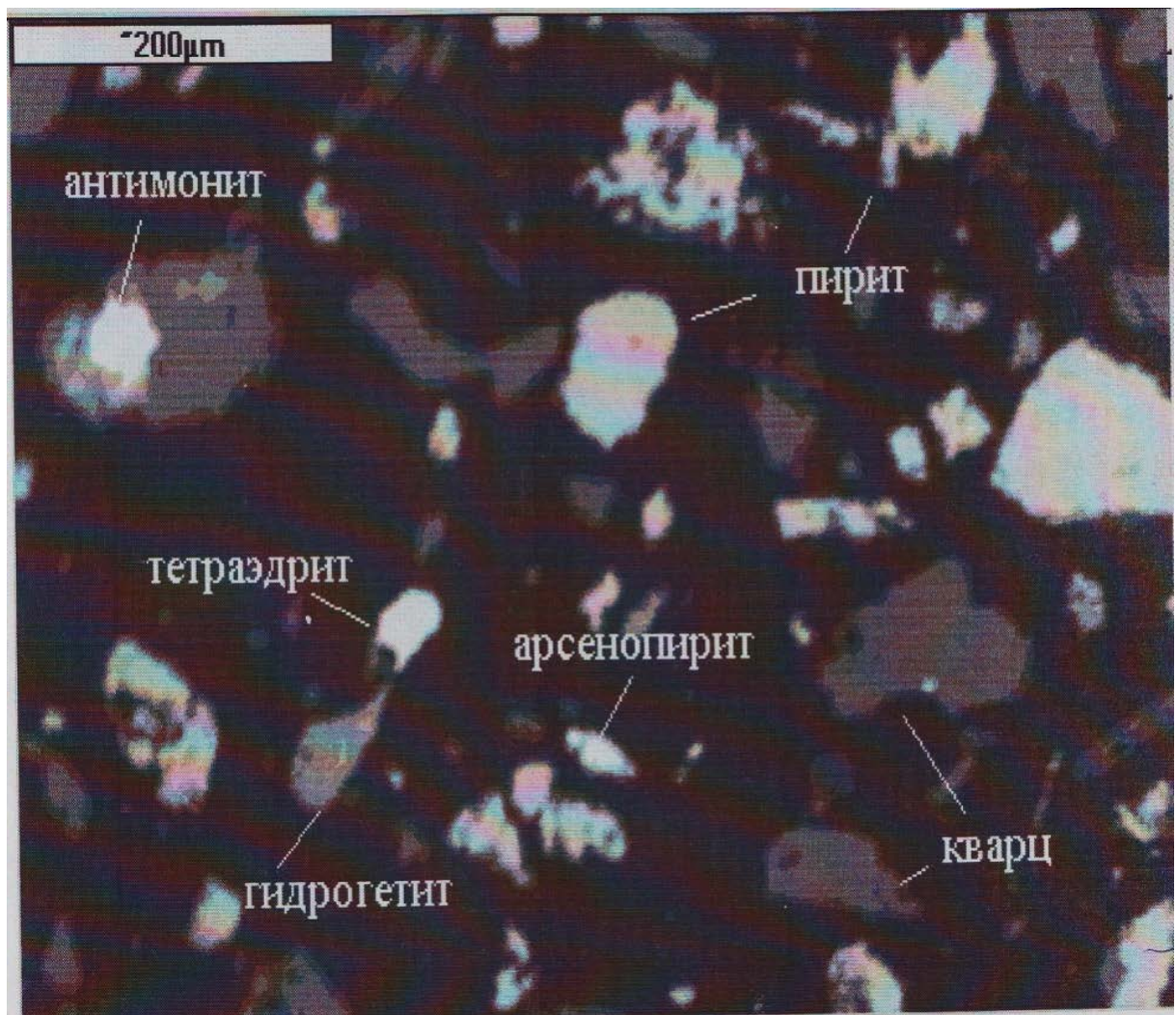
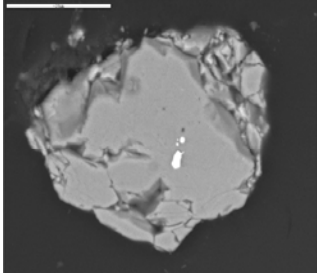
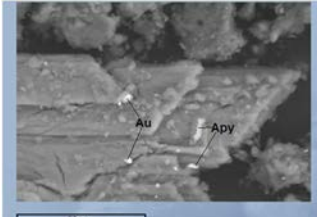

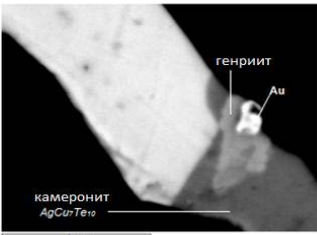


Рис. III.7 Микрофотограмма рудного тела с установлением минералогического состава. состава

Таблица III.17 Вещественный состав и формы нахождения золота в сульфидно-мышьяковистых упорных рудах Узбекистана и их технологичность

Формы нахождения золота	Тип связи	Технологичность	Микрофотограмма
1. Свободное золото	металлическая	цианируемая форма	
2. Изоморфное золото или «невидимые» наночастицы золота в сульфидах (пирите, арсенопирите и др.) и кварце	металлическая, ковалентная	упорные формы	
3. Сорбированное золото глинисто-слюдистыми минералами и гидроксидами железа (гетит, гидрогетит)	ионная	упорные формы	
4. Связанные формы золота: сульфидное (Au_2S_3 , AuS_2); хлоридное ($AuCl_3$, $AuCl$), теллуридное, сурьмянистое, мышьяковистое	ковалентная	упорные формы	

Формы нахождения золота	Тип связи	Технологичность
5. Связанные формы золота с углеродистым веществом: органическое, чаще всего представленное битумоидами (растворимая часть) и керогеном (нерастворимая часть), а также гетерокомплексные соединения золота с аминокислотами	водородная, молекулярная	упорные формы
6. Интерметаллические соединения золота - устойчивые стехиометричные соединения золота с эмпирической формулой Au_nAg_{2n+2} (соответствуют соединениям Au_8Ag , $AuAg$, Au_2Ag_3 , Au_3Ag , Au_2Ag , $AuAg$); из них в золото-теллуровой формации преимущественное развитие имеют Au_3Ag , Au_2Ag , Au_8Ag и Au ; в золото-серебряной: $AuAg$, Au_2Ag_3 , $AuAg_3$, то есть, для первой характерно высокопробное золото, для второй - электрум и кюстелит)	металлическая	цианируемая форма, частично
7. Золото-редкометалльная минерализация, систематически проявляющаяся в рудах западного Узбекистана и имеющая промышленное значение	ковалентная, ионная	упорные формы
8. Смешанные кристаллы несовершенного (ограниченного) типа, образующиеся, предположительно по причине не изоструктурности смешивающихся минералов и веществ.	ковалентная, ионная	упорные формы
9. Кластеры-ультрадисперсные металлические частицы золота - «соединения, содержащие металлический остов, между атомов металла которого характерны значительные силы взаимодействия с различной степенью пространственного экранирования»; они покрыты летучими молекулами, а также полимерами органических и неорганических соединений, причем, тем больше степень пространственного экранирования золота, тем больше термическая и химическая устойчивость кластера; установлена возможность взаимопревращений кластеров в зависимости от окислительных или восстановительных условий, имеющих необратимый характер.	металлическая	упорные формы

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ИСХОДНОЙ РУДЫ ДАУГЫЗТАУ И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТОДАМИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Дифференциально-термический (ДТА) и термогравиметрический (ТГ) анализы широко применяются в геологии для идентификации минералов и горных пород, а также определения состава полиминеральных природных смесей без разделения их на мономинеральные фракции, благодаря однозначной связи температур и величин тепловых эффектов термических превращений с природой и содержанием минерала в смеси [62-64].

Поведение сульфидных минералов при термическом воздействии достаточно подробно изучено ранее [65] и продолжает изучаться [66-68] в том числе в связи с тем, что технологические схемы переработки сульфидных руд включают в качестве подготовительной операции стадии обжига.

Учитывая, что рудное сырье является достаточно сложной по составу объектом, нами в начале проанализировано термическое поведение пирита.

Пирит FeS_2 , арсенопирит (AsFeS_2), халькопирита (CuFeS_2) в металлосульфидных концентратах требует особого отношения к технологическим процессам их переработки. Эти минералы весьма стабильны в кислых и щелочных растворах.

В частности, высокий стандартный восстановительный потенциал пирита делает его совершенно неактивным при выщелачивании в умеренноокислительных условиях [69].

При этом, для отработки наиболее рациональных параметров процесса необходимо иметь данные о температурах и продуктах превращений сульфидных минералов при нагреве.

Однако такие анализы редко используются в практике обогащения минерального сырья. В то же время в лабораторных исследованиях часто

возникает необходимость оценки (анализа) продуктов обогащения руд до выполнения трудоемкого и длительного по времени химического анализа. Таким предварительным экспресс-методом может служить метод ДТА [70-76].

Помимо скорости анализа, несомненно, удобной стороной ДТА является возможность получения результата без предварительного вскрытия образца. Преимуществом данного метода является также возможность анализа небольшого количества материала, благодаря высокой чувствительности прибора. Особенно полезным метод может оказаться для анализа руд и продуктов их обогащения, содержащих золото в сульфидах, в силу особой трудоемкости и сложности пробирного метода анализа золота.

IV.1 Закономерности термического поведения пирита

Прежде чем проводить исследования сложных по составу упорных сульфидно-мышьяковистых руд в которых содержание пирита составляет от 3-9% нами проанализировано поведение чистого пирита[77-81].

Исследования механизма термического разложения проведено на стандартном образце пирита, термогравиметрические кривые которого приведены на рисунке 1 .

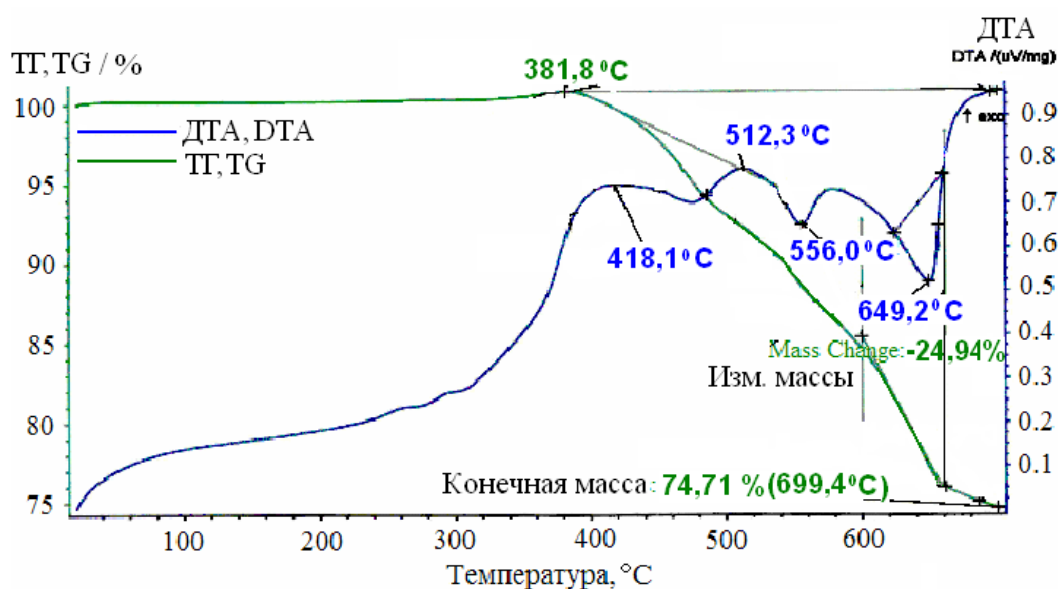


Рис.IV.1 Дериватограмма пирита в атмосфере воздуха

Сложная по структуре дериватограмма состоит из ряда эндо- и экзотермических эффектов в интервале температур 100-700°C.

Исследования показывают, что увеличение массы при 380 °С - на 0,95-1 % в атмосфере воздуха происходит за счет образования промежуточных оксисульфидных комплексов или кислородсодержащих химических соединений адсорбированной поверхностью пирита кислородом (рисунок 1).

На термограммах фиксируются последовательные эндотермические эффекты (при 556 и 650 °С таблица 1), свидетельствующие о протекании процесса в 2 стадии. В вакууме – высокотемпературный пик смещен в область более низких температур 605 °С. [82-85].

Таблица IV.1 – Результаты термогравиметрического анализа

Атмосфера	Стадии	T, °С	Исх. навеска, мг	Потеря массы, %	ΔН, кДж/моль
Вакуум	-	605	170,75	10,18	3985
Воздух	1 стадия	556	170,50	4,10	2985
	2 стадия	650	170,50	12,45	5568

Величина первого эффекта зависит от содержания кислорода в газовой фазе и от крупности.

В воздухе при 556°C происходит взаимодействие первичных оксисульфидов и сульфатов с пиритом, с образованием пирротинов, а при 650 °С начинается процесс разложения пирита с образованием пирротинов. В вакууме процесс происходит в одну стадию при 605 °С.

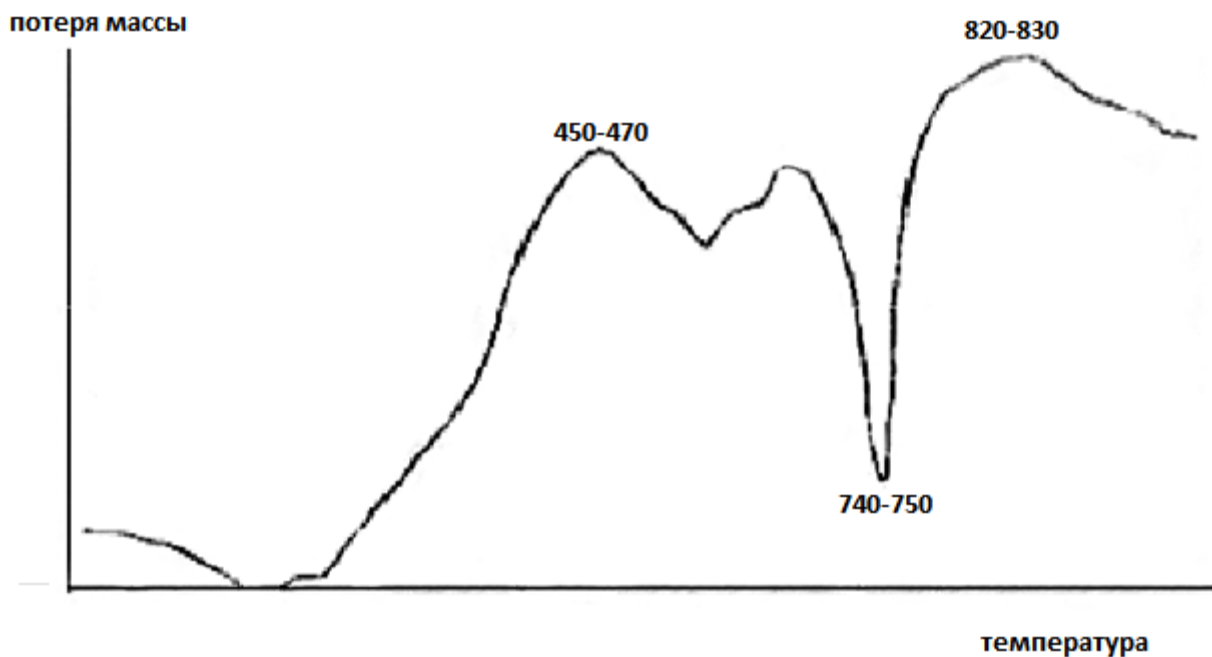


Рис.IV.2ДТА пиритового концентрата 73,72% FeS₂ и 23,18% SiO₂;

Начальные эндотермические эффекты на термограмме объясняются испарением влаги из образцов в интервале от 20 до 112...115 °C.

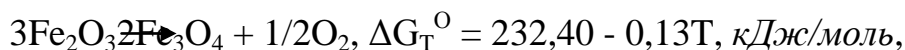
В интервале температур от 145...220 °C до 650...680 °C. наблюдаемые экзотермические эффекты связаны с разложением сульфидов (515 °C) и образованием сульфата по реакции.



эндотермические эффекты на термограммах ДТА-1, ДТА-2 и ДТА-3 в температурных интервалах 680-765, 660-740 и 650-820 °C соответственно вызваны реакциями термической диссоциации сульфатов железа:



появление на кривой ДТА ощутимых углублений при температуре около 947 °C свидетельствует о постепенном фазовом превращении (в соответствии с известной теорией полиморфных превращений в системе Fe-O) гематита в магнетит:



IV.2Закономерности термического разложения руды продуктов переработки

Пробы исходной сульфидной золотосодержащей руды, концентрата основной флотации, полученных и описанных в разделе 2,2 и продуктов переработки отбирались из материалов, подготовленных для химического анализа. Руда, измельченная до крупности 87-90% минус 0,044мм, флотировалась со следующими расходами реагентов: кальцинированная сода (600-800г/т) подавалась в измельчение, расход бутилового ксантогената калия в основную флотацию составил 200–250г/т; расход медного купороса – 300г/т; расход вспенивателя Т-80 – 100-150г/т.

Режим нагрева линейный, скорость нагрева 10⁰С/мин. Масса нагреваемых образцов составляла примерно 50мг. Нагрев проводился в корундовых тиглях цилиндрической формы без крышек для свободного доступа воздуха. В качестве эталонного образца использовался оксид алюминия, предварительно нагретый до 1200⁰С. Пробафлотоконцентратов смешивались с оксидом алюминия в соотношении 1:1. Исходная руда и хвосты обогащения анализировались без смешивания с оксидом алюминия. В процессе нагрева фиксировались изменения массы образца (кривая TG), скорость изменения массы (кривая DTG), температуры (Т), скорость изменения температуры (кривая DTA), в зависимости от времени нагрева.

Выполнен анализ исходной руды и продуктов флотационного обогащения пробы золотосодержащей руды, в которой, по данным минералогического анализа, основное количество золота сконцентрировано в сульфидах (пирит, арсенопирит).

Общим термическим диагностическим признаком для минералов класса сульфидов является интенсивный экзотермический эффект, обусловленный окислением сульфидных минералов при нагревании в окислительной атмосфере [32]. В частности, для сульфидов, представленных в исследуемых

образцах руды, пирита и арсенопирита, приведены следующие термические эффекты: пирит - FeS_2 : (+) 380^0 - 700^0 (окисление пирита с образованием гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$); (-) 450^0 ; (-) 500^0 ; (-) 610^0 - (сложные процессы диссоциации пирита и вновь образованных при окислении соединений). Арсенопирит - FeAsS : (+) 440^0 - 600^0 (окисление арсенопирита с образованием гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). В зависимости от условий проведения анализа (скорость нагрева, подготовка образца, масса образца и т.д.) максимумы термических эффектов могут быть смещены в ту или другую стороны. При увеличении содержания сульфида в образце на кривой ДТА наблюдается смещение максимума и конца экзотермического эффекта вправо, в область высоких температур, а сам экзотермический пик приобретает пологий, растянутый вид, в отличие от узкого пика в случае низкого содержания сульфида. Это объясняется более длительным процессом окисления и высокой температурой, при которой заканчивается процесс окисления.

Следует отметить, что расположение максимумов термических эффектов, а также вид кривых ДТА помимо условий проведения нагрева в значительной степени зависят также от вещественного состава руды, в которой определяются исследуемые минералы. В связи с этим ниже приводятся данные о минералогическом и химическом составах использованной нами руды.

Исследованная руда представлена филлитовыми сланцами кварцево-слюдистого состава, несущими золото-сульфидную минерализацию. Вмещающие оруденение породы характеризуются тонкозернистой структурой, сланцеватой, слоистой, полосчатой текстурами.

Полосчатость обусловлена ритмичным чередованием слоев, различающихся по составу, с преобладанием кварца либо слюд. Сланцеватость подчеркнута развитием параллельно-ориентированных

агрегатов слюд и кварца (SiO_2), являющихся основными породообразующими минералами.

Слюды представлены, преимущественно, серицитом $(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{OH})_2[(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, в меньшей степени - мусковитом $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$.

В виде примесей в составе пород присутствуют хлорит - $\text{Mg}_{4,5}\text{Al}_{1,5}[\text{OH}]_8\{\text{Si}_{2,5}\text{Al}_{1,5}\text{O}_{10}\}$, минералы титана (рутил TiO_2 , сфен $(\text{Ca,Y})\text{O} \cdot (\text{Ti,Al})_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, глинистые минералы, кальцит (CaCO_3)).

Встречаются агрегаты, «пропитанные» лимонитом. Основные минералы руды приведены в таблице.

Таблица IV.2 – Минеральный состав первичных руд

Распространенность минералов	Рудные	Нерудные
Главные	Самородное золото, пирит, арсенопирит	Кварц
Второстепенные	Марказит, актинолит, гидроокислы железа.галенит, лимонит	Слюды (мусковит, серицит, хлорит), полевые шпаты, карбонаты (кальцит, сидерит)
Образующие незначительную примесь	Пирротин, халькозин, гидроокислы марганца (псиломелан), сфалерит, халькопирит, блеклая руда, ильменит, ковеллин	Апатит, рутил, циркон, биотит

Руда относится к сульфидно-кварцевому типу, характеризуется пирит - арсенопиритовым составом с содержанием сульфидов 10-12%. Сульфидные

минералы в руде представлены большей частью пиритом ($\leq 10,0\%$) и арсенопиритом ($\leq 2,00\%$).

Промышленную ценность представляет самородное золото (Au). Гипогенные минералы представлены преимущественно пиритом (FeS_2) и арсенопиритом (FeAsS), в единичных выделениях встречаются марказит (FeS_2), халькопирит (CuFeS_2). Гипергенные минералы представлены гидроокислами железа (гётит FeOOH , лимонит)[86-93].

Пирит в данной руде является самым распространенным рудным минералом, преобладающим над остальными сульфидами.

Развивается пирит в виде неравномерной вкрапленности полосовидных и цепочечных скоплений с образованием прожилковидной, прожилково-вкрапленной и неравномерно-вкрапленной текстуры, сростков зерен и агрегатов. Зерна пирита координированы вмещающими нерудными минералами. Пирит развивается в ассоциации с арсенопиритом в виде сростков.

Арсенопирит проникает во внутренние части зерен пирита и межзерновое пространство; развивается в виде призматических, игольчатых копьевидных и неправильных зерен. При этом образует мелкозернистую вкрапленность.

Согласно химическому анализу сульфидные минералы представлены в основном пиритом и в незначительном количестве арсенопиритом.

В то же время невысокое содержание в руде серы (2,84 %), и присутствие окисленной формы железа (1,73%) характеризует эти руды как малосульфидные. Результаты минералогических и химических исследований показывают, что руда относится к малосульфидным силикатным рудам с рыхлыми сланцевыми и глинистыми продуктами выветривания.

Несмотря на то что первичные руды представлены арсенопирит-пиритовым составом, для них характерно присутствие псевдоморфных

выделений оксидов и гидроксидов железа с реликтами первичных сульфидных минералов.

Золото в руде образует выделения неправильной формы и представлено субмикроскопическими вкраплениями.

Таким образом, минералого-химический анализ изучаемой руды свидетельствует о возможности ее исследования методом ДТА, с учетом содержания в ней именно сульфидных минералов.

На рисунках 3, 4, 5 приведены дериватограммы образцов исходной сульфидной руды, концентрата основной флотации и хвостов основной флотации, соответственно.

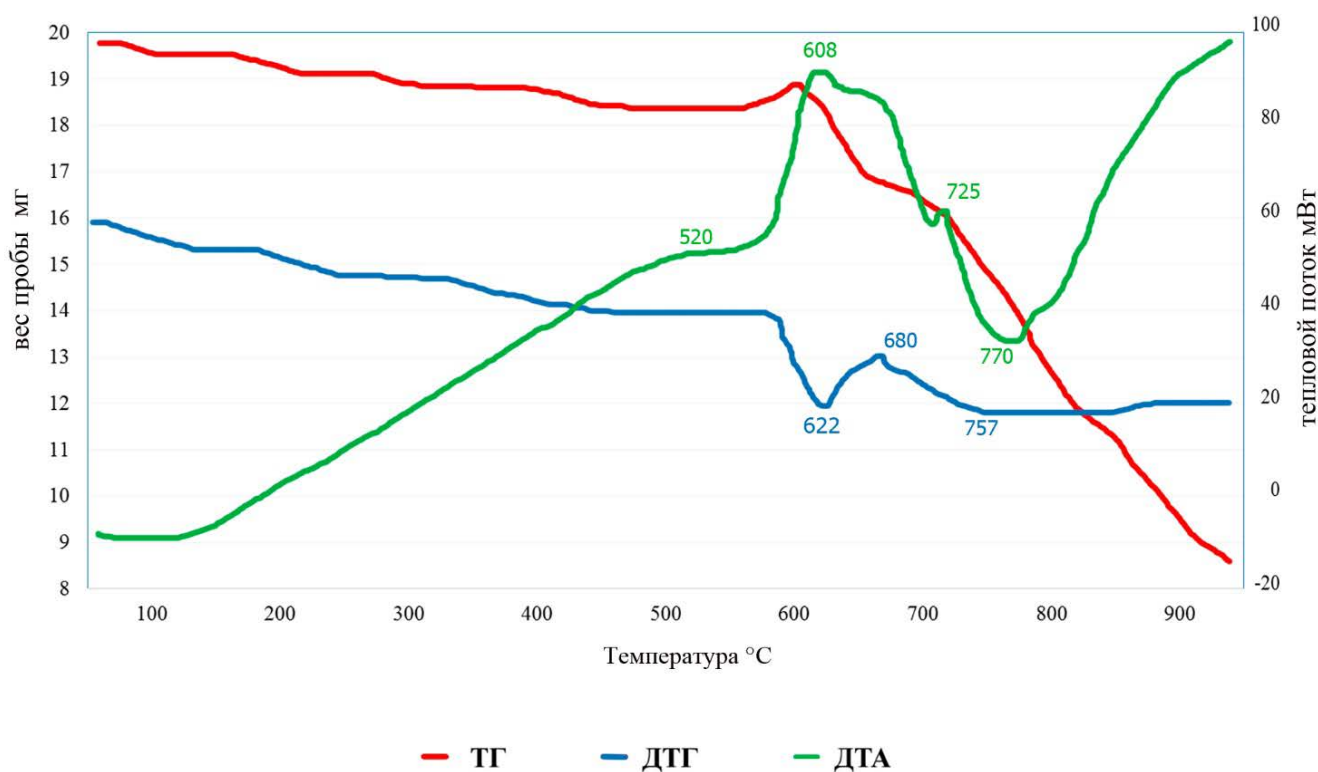


Рис. IV.3 Дериватограмма исходной золотосодержащей сульфидной руды

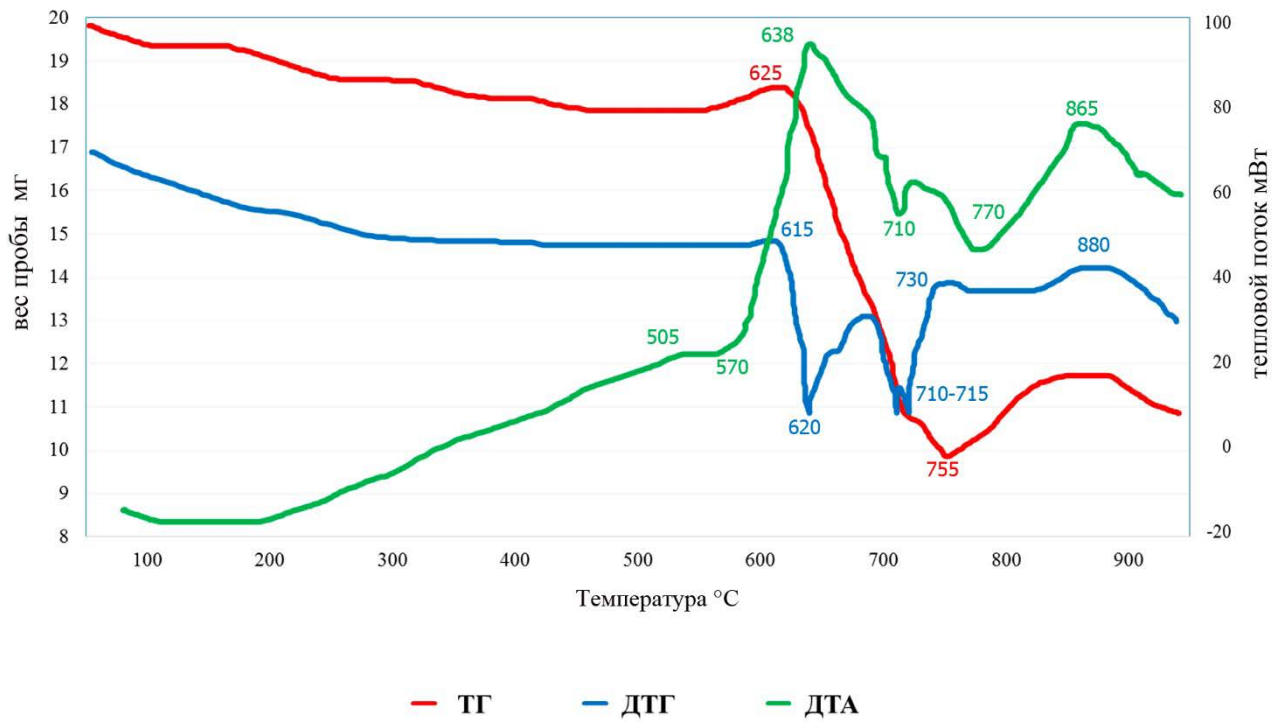


Рис. IV.4 Дериватограмма образца концентрата основной флотации сульфидной золотосодержащей руды (в смеси с Al_2O_3 в соотношении 1:1)

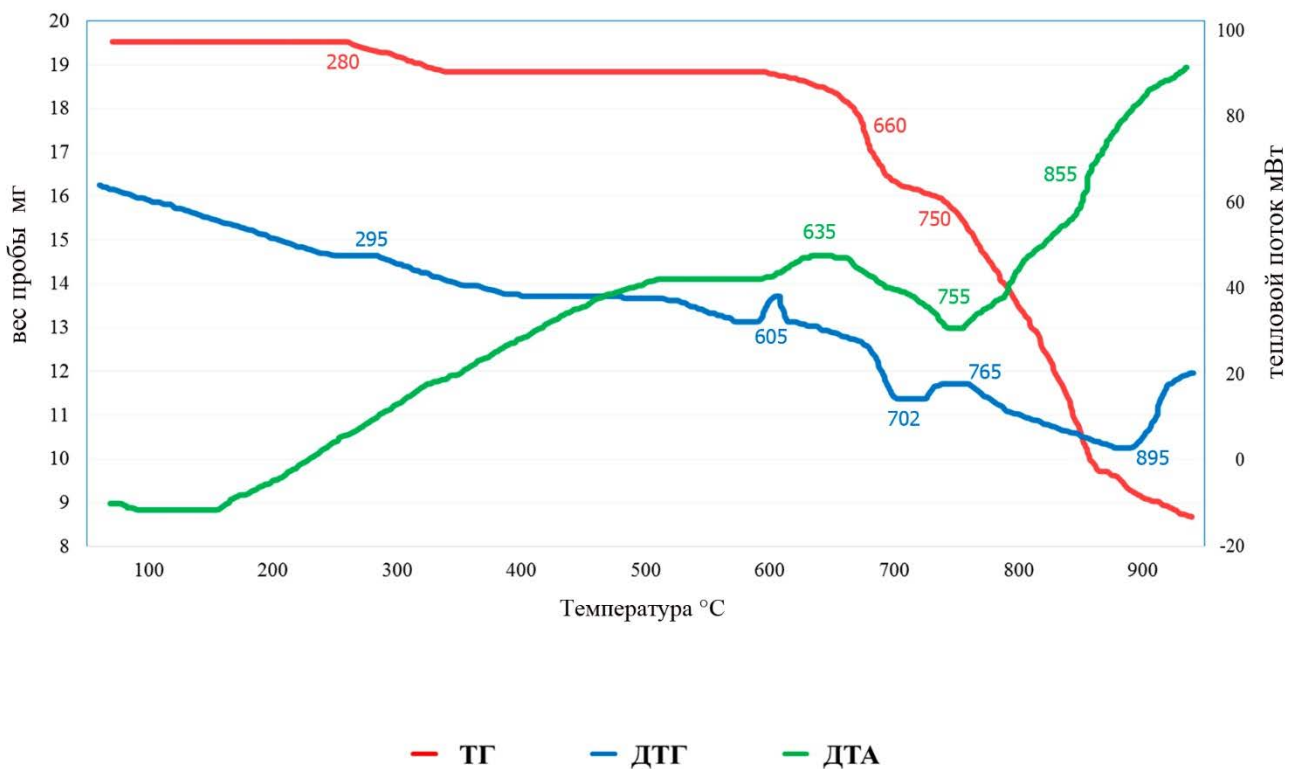


Рис. IV.5 Дериватограмма хвостов основной флотации золотосодержащей сульфидной руды

По результатам термогравиметрии (TG) исходной руды (рис. 1), изменение массы происходит в несколько этапов. Убыль массы до 200°C (до 10% от общей убыли массы) относится к удалению физически адсорбированной воды, происходит равномерно, без видимых интенсивных термических эффектов.

Следующий этап убыли массы происходит в интервале 440-500°C, составляет 12% от общей убыли массы, однако он сопровождается самым интенсивным экзотермическим эффектом. Начало данного экзотермического пика соответствует температуре 443°C, с максимумом при 473°C. Уменьшение массы образца при температуре 550-850⁰ относится к дегидратации мусковита и серицита, а также разложению кальцита, сидерита.

По литературным данным [62] дегидратация и перестройка решетки мусковита происходит при 800–1000°C, однако, возможно, что присутствие в образце Fe₂O₃ (в момент образования) и SiO₂ смещает температуру дегидратации в сторону более низких температур. Следующий эндотермический эффект с минимумом при 1064-1114°C связан с распадом решетки мусковита и образованием муллита и аморфной фазы, что подтверждается данными рентгенофазового анализа.

Аналогичные изменения массы образцов происходят при нагревании концентрата и хвостов флотации (рис. 4 и 5). Следует отметить, что в целом убыль массы при нагреве исходной руды (рис. 1), концентрата флотации (рис. 2) и хвостов (рис. 5) составляет 7,2%, 32% и 4,8%, соответственно, от исходной массы образцов.

При этом доля убыли массы, приходящаяся на эффект окисления сульфидов, составляет 12% для исходной руды и 37% для концентрата флотации от общей убыли массы образцов.

Сравнивая относительные величины площадей экзотермических пиков на кривых ДТА (заштрихованные поверхности), отнесенных к окислению сульфидов, на дериватограммах, полученных при нагреве проб исходной руды, концентратов и хвостов флотационного обогащения можно судить о содержании сульфидов в соответствующих образцах.

На кривой ДТА образца исходной руды (рис. 3), наблюдается узкий экзотермический эффект с максимумом при температуре 473°C , который можно отнести к окислению пирита и арсенопирита.

По данным [32] температуры начала экзотермических пиков окисления пирита и арсенопирита составляют 380°C и 440°C , соответственно. Скорость нагрева составляет при этом $70^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, в нашем эксперименте скорость нагрева $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

На дериватограмме, полученной при нагреве образца флотационного концентрата этой же руды (рис. 4), в интервале температур $380\text{-}580^{\circ}\text{C}$ (с максимумом при температуре 458°C) наблюдается уширенный экзотермический пик (ДТА) с наличием на второй из его ветвей нескольких максимумов.

Это свидетельствует о присутствии в образце смеси сульфидов, термические эффекты окисления которых, расположены в узком интервале температур и находятся очень близко друг к другу на кривой ДТА.

При этом площадь пика многократно возрастает в сравнении с аналогичным пиком в исходной руде.

В то же время, на дериватограмме образца хвостов основной флотации (рис. 3) в этом интервале температур ($350\text{-}580^{\circ}\text{C}$) соответствующий окислению сульфидов экзотермический эффект на кривой ДТА лишь угадывается, что свидетельствует о незначительных содержаниях сульфидов в хвостах флотации.

Соотношение площадей экзотермических пиков исходной руды, концентрата флотации и хвостов, составляет 1: 5,5: 0,1. С учетом того, что концентрат флотации перед нагревом был «разбавлен» оксидом алюминия (1:1), это соотношение составит 1:11:0,1.

Содержание золота в исходной руде, в концентрате основной флотации и в хвостах флотации, определенное химическим и рентгеноспектральным анализами, составляет 4,55г/т, 49г/т и 1,2г/т, соответственно, или 1:10,8:0,15 в относительных единицах, что вполне сопоставимо с данными, полученными методом ДТА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании детального дифрактометрического и микрозондового анализа исходных руд Даугызтау и продуктов технологических установок установлен полный минералогический состав продуктов переработки отходов этих объектов.

По данным микроскопии и микрозондирования золотосодержащих руд месторождений западного Узбекистана Даугызтау, классифицируются как упорные трудноскрываемые, где роль углеродистых, мышьяковистых и сернистых соединений в отложении золота существенна.

Установлено, что кроме самородного золота, концентратами серы, мышьяка, золота и серебра являются также минералы пирит, арсенопирит и др., составляющие основу продуктивности исходных руд. Причем пирит преобладает над арсенопиритом. Содержание пирита составляет 3,6%, арсенопирита до 1,5%.

В исходной руде установлено золота 4,23 г/т серебра 12,75%, S_s-2,93%, Сорг-0,39%.

Методом рентгенофазового анализа подтверждены данные микрозондовых исследований и установлено, что среди породообразующих и жильных минералов преобладают гидрослюда, кварц и полевые шпаты, содержание которых в руде составляет 80-90%, менее распространены карбонаты, углеродистое вещество и др. Последние в основном представлены кварцем. Практически на дифрактограммах присутствуют интенсивные рефлексы при $d = 3.34 \text{ \AA}$.

Анализ дифрактограмм исходных руд и пробы флотоконцентрата показывает, что на дифрактограмме пробы флотоконцентрата появляются рефлексы средней интенсивности при $d = 2,698$ и $2,415 \text{ \AA}$, характерные для структуры пирита и рефлексы гетита $d = 4.26$ и 2.71 \AA с несколько большей интенсивностью по сравнению с исходной рудой.

Упорность этих сульфидно-мышьяковых руд, наряду с высоким содержанием сульфидов, обусловлена микро - и субмикроразнообразием золота, его тонкой вкрапленностью и тесной ассоциацией с арсенопиритом и пиритом.

В продуктах переработки установлены содержания минералов-концентратов золота.

В хвостов: пирит 18,0; гематит 37,6; глинистые минералы 19,9;

В гравиконцентрате из хвостов: пирит 32,5; гематит 11,1; глинистые минералы 23,3;

В огарке из гравиконцентрата: пирит 1,2; гематит 49,5; глинистые минералы 27,3;

В хвостов цианирования огарка: пирит 1,9; гематит 51,9; глинистые минералы 27,5;

В результате детального анализа результатов дериватографических исследований сульфидно-мышьяковистых руд месторождения Даугызтау установлен механизм термического разложения руды. Идентифицированы эндотермические и экзотермические эффекты, указывающие на разложение пирита с образованием новых минералов по схеме:

пирит \longrightarrow пиротины \longrightarrow гематит \longrightarrow гетит, причем образование гетита при проведении технологического процесс снижает извлечение золота.

Полученные в результате проведенных исследований данные представляют собой часть создания технологической минералогии упорных сульфидно-мышьяковистых руд и разработки рациональной технологии их переработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. Узбекистан: национальная независимость, экономика, политика, идеология. Т.1. – Т.: «Узбекистон», 1996. – 349 с.
2. Каримов И.А. Узбекский народ никогда и ни от кого не будет зависеть. Т.13. – Т.: «Узбекистан», 2005. – 264 с.
3. Каримов И.А. Мирная жизнь и безопасность страны зависят от единства и твердой воли нашего народа. Т.12. – Т.: «Узбекистан», 2004. – 280 с.
4. Узбекистоннинг маъданлик конлари, под ред. Н.А. Ахмедова, Ташкент, Гидроингео, 2001 - 661 с.
5. Антропова Л.В. Формы нахождения золота в горных породах / Л.В. Антропова, А.З. Шуралева, Л.Ф. Фарфель, Ф.М. Айзенберг, Г.А. Приемов // Методика и техника разведки. - Л., 2004. - С. 5-21.
6. Бакулин Ю.И. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска / Ю.И. Бакулин, А.А. Черепанов // Руды и металлы. - 2003. - №1. - С. 60-67.
7. Бортников Н.С. Невидимое золото в сульфидах субмаринных колчеданных построек / Н.С. Бортников, Л. Кабри, И.В. Викентьев, Тагиров Б.Р., Г. Мак Мэйхон, Ю.А. Богданов, О.О. Ставрова // Геология руд. месторождений. - 2003. - Т. 45. - № 3. - С. 228-240.
8. Василевский Б.Б. Новые данные о вещественном составе золотых руд месторождения Мурунтау / Б.Б. Василевский, Р.И. Конеев, А.И. Рустамов, А.Х. Туресебеков, Е.Н. Игнатилов, Д.Я. Мирталипов, Р.Р. Рахимов // Руды и металлы. - 2004. - № 2. - С. 67-79.
9. Генкин А.Д. Невидимое золото золоторудных месторождений / А.Д.

Генкин // Материалы Всероссийского симпозиума «Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов». - М.: ООО «СВЯЗЬ-ПРИНТ», 2002. - С. 261-263.

10. Генкин А.Д. Золотоносный арсенопирит и условия его образования на золоторудных месторождениях Олимпиада и Ведуга (Енисейский край, Сибирь) / А.Д. Генкин, Ф.Е. Вагнер, Т.Л. Крылова, А.И. Цепин // Геология руд. месторождений. - 2002. - Т.44. - № 1. - С. 59-76.

11. Wagner F.E., Marion P., Regnard J.-R. Mossbauer study of the chemical state of gold in gold ores // Gold 100, Proc. Int. Conf. Gold 2 (Extractive Metallurgy of Gold), S. Afr. Inst. Mining Metall. - 2006. — P. 435-443.

12. Wagner F.E., Swash P.M., Marion P. A ^{197}Au and ^{57}Fe mossbauer study of the roasting of refractory gold ores // Hyperfine interactions. - 1999. - Vol. 46. - P. 681-688.

13. Johan Z., Marcoux E., Bonnemaïson M. Arsenopyrite aurifere: mode de substitution de Au dans la structure de FeAsS // Comptes Rendus Academies des Sciences, Paris. - 2009. - T. 308. - Ser. II. - P. 185-191.

14. Cathelineau M., Boiron M.C., Holliger P., Marion P., Denis M. Gold in arsenopyrite: Crystal chemistry, location and state, physical and chemical conditions of deposition // Econ. Geol. - 2009. — Monograph 6. — P. 328-341.

15. Graham J., Robinson B.W., Walker R.K. Gold in arsenopyrite // MINPET 89: Miner. Petrol. Symp. - 2009. - P. 55-57.

16. Avraamides J., Dunn J.G., Graham J., Just J. The roasting of refractory gold concentrates // Proc. Randol Gold Conference (Perth). - 2008. — P. 162-164.

17. Zhang Z., Yang S., Yi W.. Studies of submicro-gold and lattice in some minerals // J. Cent.- South Inst. Min. Met. - 2007. - Vol. 18. - № 4. - P. 355-361.

18. Войцеховский В.Н., Берковский Б.П., Ящуржинская О.А. и др. К вопросу о форме нахождения «невидимого» золота в арсенопирите и пирите // Изв. вузов. Цветная металлургия. - 1975. — № 3. — С. 60-65.
19. Гавриленко Б.В., Реженова С.А. Золото в сульфидных минералах зоны Колмозеро-Воронья // Петрол., минералогия и геохимия. - Апатиты, 2004.-С.227-230.
20. Fleet M.E., Mumin A.H. Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis // Amer. Mineral.-2007.-Vol. 82.-№ 1/2.-P. 182-193.
21. Simon G., Huang H., Penner-Hahn J. E., Kesler S. E., Kao Li-Shun. Oxidation state of gold and arsenic in gold-bearing arsenian pyrite // Am.Mineralogist. – 2009. – V.84. – P.1071-1079.
22. Palenik C.S., Utsunomiya S., Reich M., Kesler S.E., Wang L., Ewing R.C. “Invisible” gold revealed: Direct imaging of gold nanoparticles in a Carlin-type deposit // Am. Mineralogist. – 2004. – V.83. – P.1359-1366.
23. Chenery S., Cook J.M., Styles M., Cameron E.M. Determination of three-dimensional distributions of precious metals in sulphide minerals by laser ablation microprobe-inductively coupled plasma-mass, spectrometry (LAMP-ICP-MS)//Chem. Geol. -2005. -Vol. 124. -№ 1-2.-P. 55-65.
24. Бортников Н.С, Кабри Л., Викентьев Н.В. и др. Невидимое золото в сульфидах из современных колчеданных построек: К вопросу о поведении золота в субмаринных гидротермальных системах // Геология руд.месторождений. - 2003. - Т. 45. - № 2. - С. 510-542.

25. Wels J.D., Mullens T.E. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mines, Nevada // *Econ. Geol.* -1993.-Vol. 68.-P. 187-201.
26. Pratt A.R., Huctwith C.H., van der Heide P.A.W., McIntyre N.S. Quantitative SIMS analysis of trace Au in pyrite using the infinite velocity (IV) method // *J. Geochem. Explor.* - 2008. - Vol. 60. - P. 241-247.
27. Wilson G.C., Kilius L.R., Rucklidge J.C. Precious metal contents of sulfide, oxide and graphite crystals: determinations by accelerator mass spectrometry // *Econ. Geol.* - 2005. - Vol. 90. - P. 255-270.
28. Friedl J., Wagner F.E., Wang N. On the chemical state of combined gold in sulfidic ores: Conclusions from Mossbauer source experiments // *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*. - 2005. — Vol. 169. — P. 279-290.
29. Besten den J., Jamieson D.N., Ryan Ch.G., Lattice location of gold in natural pyrite crystals // *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. B.* — 2009. — Vol. 152. — P. 135-144.
30. Туресебеков А.Х., Василевский Б.Б. Марипова С.Т. Технологическая минералогия месторождения Большой Кальмакыр. Ташкент . 2012. 106 стр.
31. Туресебеков А.Х. Медно-рудные формации Узбекистана. Металлогения золота и меди Узбекистана. Тошкент 2012. Стр. 101-195
32. Туресебеков А.Х., Головин А.Ф. Методика составления минералогическо-технологических карт рудных тел, как основа рационального и комплексного использования медно-молибденового месторождения Кальмакыр (Алмалык, УзССР). Зап. Узб. отд. ВМО, Изд. ФАН), вып. 35, 2002.
33. Ким М.А. Форма нахождения золота, типоморфные особенности пирита и арсенопирита в золото-сульфидно-мышьяковистом месторождении Даугызтау. Кандидатская диссертация, Ташкент, 2010, 169 с.

34. Казаченко Ю.А., Брадинская и др. Типы руд Даугызтауского месторождения, их химический и минеральный состав, закономерности распределения золота. Иркутск, 1976. Фонды Даугызтауской ГРП.
35. Рудные месторождения Узбекистана // Коллектив, Голованов И.М. (отв. ред.), Ташкент: Гидроингео, 2001, 660 с.
36. Арифлулов Ч.Х. О минералогии и генезисе зон прожилково-вкрапленного золото-сульфидного оруденения Кызыл-Кумов // Узб. геол. журнал, 2006, №5, с. 54-61.
37. Гурейкин Н.Я. и др. Геолого-минералогические особенности золоторудного месторождения сульфидно-вкрапленных руд // Советск. геология, 1982, №5, с. 86-95.
38. Хантемиров Р.М., Туресебеков А.Х. и др. «Невидимое» золото в сульфидных системах крупных медно-порфировых и золоторудных месторождений Центральной Азии. Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото»: типоморфизм минеральных ассоциаций, условий образования месторождений, задачи прикладных значений. М.: ИГЕМ РАН, Том II, с. 275-276.
39. Дунин-Барковская Э.А. и др. Типоморфизм самородного золота и его минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований. М.: ИГЕМ РАН. Том II, 2010, с. 179-181.
40. Зверева Ю.Н., Тарасов Э.В., Шатов Е.П. и др. Геологический отчет о результатах детальной разведки II очереди и Даугызтауского золоторудного месторождения с подсчетом запасов по состоянию на 18 января 1983 (отчет Даугызской ГРП за 1983-1997), том I, кн. 1 Гос. геол. фонда.

41. Дунин-Барковская Э.А., Колдаев А.А. и др. Технология определения форм нахождения золота в сульфидно-мышьяковистых рудах Запад. Узбекистана. Ташкент, 1996. Фонды ИГГ АН РУз.
42. Лодейщиков В. В. Рациональное использование упорных руд золота и серебра: Сб. науч. тр., посв. 125-летию института "Иргиредмет".- Иркутск: ОАО "Иргиредмет", 1998.-С.254-271.
43. McQuiston Iг. F. W. And Shoemaker R.S. Gold and Silver Cyanidation Plant Practice.- New York: A.I.M.E. publication, 1975.-Vol.1.
44. Лодейщиков В. В. Извлечение золота из упорных руд и концентратов.- М.: Недра, 1968.- 204 с.
45. Техника и технология извлечения золота из руд за рубежом / Под ред. В. В. Лодейщикова .- М.: Металлургия, 2003.- 287 с.
46. White L. // Engng. and Min. J..-2002.-№ 2,-P.79-82.
47. Горев Г.В. Геология Каракутанского рудного поля. Рудные формации и основные черты металлогении золота в Узбекистане. - Ташкент, Фан Узб. ССР. 1969. - С. 140-143.
48. Баймухамедов Х.Н., Курбанов А.С., Чеботарев Г.П. Минералогическая характеристика руд Каракутанского рудного поля. - Ташкент, «Фан» Узб. ССР. 1969.-С. 144-149.
49. Василевский Б.Б., Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Туресебеков А.Х. Проблемы крупнообъемных месторождений золота и меди Узбекистана. - Ташкент, ГП «НИИМР», 2012. - С. 47-67.
50. Cabri L. J., Newville M., Gordon R. A. et al. Chemical speciation of gold in arsenopyrite // Canad. Mineral. 2000. Vol. 38. P. 1265–1281.

51. Chen T., Cabri L., Dutrizac J. Characterizing Gold in Refractory Sulfide Gold Ores and Residues // JOM. 2002. N 12. P. 20–22.
52. Reich M., Kesler S., Utsunomiya S. et al. Solubility of gold in arsenian pyrite // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. Vol. 69, N 11. P. 2781–2796.
53. Туресебеков А.Х., Василевский Б.Б. Марипова С.Т. Технологическая минералогия месторождения Большой Кальмакыр. Ташкент . 2012. 106 стр.
54. Туресебеков А.Х Медно-рудное формации Узбекистана. Металлогения золота и меди Узбекистана. Тошкент 2012. Стр. 101-195
55. Туресебеков А.Х., Головин А.Ф. Методика составления минералогическо-технологических карт рудных тел, как основа рационального и комплексного использования медно-молибденового месторождения Кальмакыр (Алмалык, УзССР). Зап. Узб. отд. ВМО, Изд. ФАН), вып. 35, 2002.
56. Туресебеков А.Х., Шамаев О.Т. Комплексное применение и интерпретация аналитических методов при контроле качества руд и продуктов обогащения. Тезисы докл. совещания "Современные аналитические методы и приборы в геологии и окружающей среде". Ташкент, 2002.
57. Чантурия Е.Л. Флотационное фракционирование золотосодержащего пирита. Москва Семинар №24 с.339 ;
58. Бочаров В. А., Игнаткина В.А., Лапшина Г.А., Хачатрян Л.С. Особенности извлечения золота из золотосодержащих сульфидных руд, 2004, с 297-301
59. Бочаров В.А., Рыскин М.Я. Технология кондиционирования и селективной флотации руд цветных металлов. – М.: Недра, 2003.
60. Прогрессивные методы обогащения и технологии глубокой переработки

руд цветных, редких и платиновых металлов (Плаксинские чтения):
Материалы международного совещания. Красноярск, ГОУ ВПО «ГУЦМиЗ»,
ИХХТ СО РАН, 02-08 октября 2006 г. - Красноярск, 2006-322 с.

61. Чантурия В.А. Современное состояние и основные направления
переработки упорных золотосодержащих руд / В.А. Чантурия, Г.В.
Сидельников // Прогрессивные методы обогащения и технологии глубокой
переработки руд цветных, редких и платиновых металлов
(Плаксинские чтения): Материалы международного совещания. Красноярск,
ГОУ ВПО «ГУЦМиЗ», ИХХТ СО РАН, октябрь 2006 г. - Красноярск, 2006. -
С. 9-11.

62. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический
анализ минералов и горных пород. – Л., «Недра», 2004. – 399 с.

63. Лапин В.В. Термический анализ минералов. – М.: Наука, 1978, – 142 с.

64. Топор Н.Д., Огородова Л.П., Мельчакова Л.В. Термический анализ
минералов и неорганических соединений. – М.: Издательство МГУ, 2007. —
190 с.)

65. Горбунова И.Е., Григорьева В.М. и др. Поведение халькопирита при
нагреве в различных средах // Металлы. – 2001. - №6. – С. 28-32.)

66. Ерцева Л.Н., Дьяченко В.Т., Сухарев С.В., Цемехман Л.Ш. Изучение
физико-химических закономерностей процесса термического обогащения
халькопиритовой руды // Цветные металлы. – 2001. - № 3. – С. 31-33.,

67. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Кинетическая модель термического
разложения пирита // Доклады академии наук МОН РК. – 2007.– № 5. – С. 76-
80.

68. Чепуштанова Т.А., Мамырбаева К.К., Луганов В.А. Изучение термического разложения халькопирита //Комплексное использование минерального сырья. – 2011. - №2(275). – С. 91-97.
69. Mardsen J., Hause I. The Chemistry of Gold Extraction.-Chichester (England): Ellis Horwood Limited, 2002.-597 p.
- 70.Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Механизм выщелачивания сульфидов металлов //Труды Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Сборник докладов. – Алматы, 2003, - С. 189-191.
- 71.Баймаханова С.Б., Шорман А.Т., Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Основы поведения сульфидов в гидрометаллургических процессах // Труды II Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии». Сборник докладов. - Темиртау, 2003, - С. 267 – 272.
- 72.Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Механизм бактериального выщелачивания пирротинов // Журнал Промышленность Казахстана.–2005.– №5.– С.91-93.
73. Луганов В.А., Чепуштанова Т.А. Магнитные свойства синтетических пирротинов // Вестник КазНТУ. – 2006. – № 4(54). – С. 99 – 103.
- 74.Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Кинетическая модель низкотемпературных фазовых переходов гексагонального пирротина // КИМС. – 2006, № 5. – С. 59-65.
- 75.Чепуштанова Т.А., Луганов В.А., Андерсон К.Д. Закономерности термического поведения пирротинов. // Труды II Международной научно-

практической конференции «Горное дело и металлургия в Казахстане. Состояние и перспективы». Том 2. – Алматы, 2006, – С. 220-222.

76. Луганов В.А., Сажин Е.Н., Килибаев Е.О., Чепуштанова Т.А. Термогравиметрия условно-отвальных арсенат-кальциевых продуктов. Труды II Международной научно-практической конференции «Горное дело и металлургия в Казахстане». Труды, том 2. – Алматы, 2006, – С. 165-168.

77. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Переработка пиритных концентратов. Труды VI Конгресса обогатителей стран СНГ. Материалы Конгресса, том 1. – Москва, 2007, – С. 156-157.

78. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Кинетическая модель и метод прогнозирования процесса окисления пирротинов. Труды Международной научно-практической конференции в рамках VI Сатпаевских чтений, 12-14 апреля. – Экибастуз, 2007, – С. 230-234.

79. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Закономерности твердофазного окисления пирротина // Вестник академии наук МОН РК. – 2007. – № 2. – С. 36-38.

80. Chepushtanova T.A., Luganov V.A. Processing of the pyrite concentrates to generate sulfurous anhydride for sulfuric acid production. – USA: Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, – Vol. 6. – № 2. – 2007, – pp. 103-107.

81. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Кинетическая модель термического разложения пирита // Доклады академии наук МОН РК. – 2007. – № 5. – С. 76-80.

82. Chepushtanova T.A., Luganov V.A. The Magnetizing Roasting of Pyrite Bearing Concentrates. – China. IMPCXXIV. Congress. - 2008, – С. 1132-1136.
83. Луганов В.А., Чепуштанова Т.А. Теория металлургических процессов. Методическое указание к лабораторным работам (для студентов специальностей 05.16.02 «Металлургия»). – КазНТУ. – 2006, С. 43.
84. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Термический анализ. Методическое указание к лабораторным работам (для студентов специальностей 05.16.02 «Металлургия»). – КазНТУ. – 2006. – С. 45.
85. Инновационный патент на изобретение № 20508, 15.12.08, бюл. № 12. Способ магнетизирующего обжига пиритсодержащего сырья / Луганов В.А., Чепуштанова Т.А.
86. Намазбаев Ш.Н., Шарипов Х.Т., Туресебеков А.Х., Гуро В.П., Ткаченко Е. Технологическая минералогия и формы нахождения золота в упорных рудах месторождения западного Узбекистана// Материалы международной конференции Усть-Каменогорск, 2015 г. ,Стр.92-99.
87. Шарипов Х.Т., Туресебеков А.Х., Аллабергенов Р.Д., Жураев И.Э. Нетрадиционное металлоносное сырьё: органогенно-сульфидно-мышьяковистые черные и горючие сланцы Узбекистана// Материалы международной конференции Усть-Каменогорск, 2015 г. ,Стр.273-278
88. Шарипов Х.Т., Туресебеков А.Х., Гуро В.П., Борбат В.Ф. Платина Узбекистана// Материалы VII Международного конгресса «Цветные металлы и минералы» Иркутск , 2015 г.
89. Шарипов Х.Т., Туресебеков А.Х., Гуро В.П., Камолов Т.О. Нетрадиционные виды сырья редкоземельных металлов// Материалы международной конференции «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ-2015»,

Москва -2015

90. А.Х.Турсебеков, Х.Т.Шарипов,Е.Ткаченко ,М. .Ким, Ш.Н.Намазбаев
Минералого-геохимические особенности руд золоторудных месторождений ,
залегающих в графитизированных толщах
Узбекистана//Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные
технологии освоения недр. Бишкек-2015

91. Эгамкулов Б.А., Эрназаров М., Шарипов Х.Т, НамазбаевШ.НТехнология
переработки хвостов гравитации//Материалы Республиканской научно-
технической конференции НГМК НГГИ «Горно-металлургический
комплекс: проблемы и их решений. Алмалык-2015

92. Эгамкулов Б.А., Эрназаров М., ШариповХ.Т,НамазбаевШ.Н. Технология
переработки композитных хвостов гравитации// Материалы
Республиканской научно-технической конференции. Ташкент-2015 г.

93. Намазбаев Ш.Н., ШариповХ.Т.,Мирходжаев Б.И.,Турсебеков
А.Х.,Бакиев С.А., Жураев И.Э. Автоклавное выщелачивание сульфидных
углистых упорных золотосодержащих руд и концентратов// Материалы
республиканской научно-практической конференции «Современное
состояние и перспективы развития коллоидной химии и нанохимии в
Узбекистане» Ташкент, с.148-148.

