

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

ОЛИМОВ ТОЛМАС ФАРХОДОВИЧ

**ОКМК ДА МИС ИШЛАБ ЧИҚАРИШДАГИ ПИРИТ
КОНЦЕНТРАТИНИ АВТОКЛАВДА ИШҚОРЛАШ
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ ВА ҚОНУНИЯТЛАРИ**

02.00.13-Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар
технологияси (техника фанлари)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент - 2020

Фалсафа (PhD) доктори диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Content of the abstract dissertation of doctor of philosophy (PhD)

Олимов Толмас Фарходович

ОКМК да мис ишлаб чиқаришдаги пирит концентратини автоклавда
ишқорлаш технологиясини яратиш ва қонуниятлари. 3

Олимов Толмас Фарходович

Закономерности и разработка технологии автоклавного
выщелачивания пиритного концентрата медного производства АГМК... 21

Olimov Tolmas Farkhodovich

Regularities and development of an autoclave leaching technology of pyrite
concentrate of copper production of the АММС. 41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works. 44

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

ОЛИМОВ ТОЛМАС ФАРХОДОВИЧ

**ОКМК ДА МИС ИШЛАБ ЧИҚАРИШДАГИ ПИРИТ
КОНЦЕНТРАТИНИ АВТОКЛАВДА ИШҚОРЛАШ
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ ВА ҚОНУНИЯТЛАРИ**

02.00.13-Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар
технологияси (техника фанлари)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент - 2020

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.1.DSc./K2 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент кимё-технология институтида бажарилган.

Диссертация автореферати учта тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.ionx.uz) ва «ZiyoNET» ахборот таълим порталида (www.ziyo.net.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Шарипов Хасан Турабович
кимё фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Гуро Виталий Павлович
кимё фанлари доктори, профессор

Нурмуродов Тўлқин Исамуродович
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

Мирзо Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети

Диссертация химояси Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «04» декабрь соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улугбек кўчаси, 77-а уй. Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionxanuz@mail.ru).

Диссертация билан Умумий ва ноорганик кимё институтининг Ахборот ресурс марказида танишиш мумкин (№__ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улугбек кўчаси, 77-а уй. Тел.: (+99871) 262-56-60).

Диссертация автореферати 2020 йил «20» ноябрь куни тарқатилди.
(2020 йил «20» ноябрьдаги 20 рақамли реестр баённомаси).



Б.С. Закиров
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, к.ф.д., профессор

Д.С. Салиханова
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д. профессор

С.А. Абдурахимов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фан доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Бугунги кунда жаҳон амалиёти оғир саноатнинг, шу жумладан Ўзбекистоннинг рангли металлургиясининг муҳим вазифаси бу саноат чиқиндилари ва техноген хом ашёни утилизация қилиш бўлиб, у бугунги кунда давлат миқёсда ўткир иқтисодий ва технологик муаммо ҳисобланади, чунки у давлатнинг иқтисодий фаолияти ресурсларини тежаш, экологик ва диверсификация қилиш чораси сифатида кўриб чиқилмоқда. Шу сабабли чиқиндиларни утилизация қилиш ва улардан қимматбаҳо металлларни ажратиб олиш каби масалалар катта аҳамиятга эгадир.

Ҳозирга вақтда жаҳонда техноген чиқиндиларни қайта ишлаш бўйича замонавий тадқиқотлар инновацияларни, энг янги технологияларни ва модернизацияни ривожлантириш бўйича қуйидаги илмий ечимларни асослаш: металлургия саноати чиқиндиларини кимёвий таркибини аниқлаш; саноат чиқиндилари таркибидан қимматбаҳо ва нодир металлларни ажратиб олиш; пирит концентрати ва уни қайта ишлаш маҳсулотларининг кимёвий таркибини физик-кимёвий тадқиқот усуллари ёрдамида аниқлаш; пирит концентратини юқори ҳарорат ва босимда нитрат кислотаси билан эритиш жараёнининг термодинамик ва кинетик қонунларини аниқлаш зарур.

Республикада хусусан, “Олмалиқ КМК” АЖ базасида рангли металлургия мис саноатининг ривожланиши билан пирит полиметалл концентратининг ҳосил бўлиш ҳажми ўсмоқда, улардан фойдаланишнинг бўйича муайян илмий ва амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Ҳаракатлар стратегиясининг учинчи йўналишида «юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини, энг аввало, маҳаллий хом-ашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш»¹ каби муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, жумладан пирит концентратини чиқур комплекс қайта ишлашнинг самарали усулини ишлаб чиқиш, улардан кимёб хомашёни ажратиб олишга қаратилган технологияни яратиш корхонада иқтисодий ва экологик муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони, 2019 йил 23 июлдаги «Ер қаърини геологик жиҳатдан ўрганишни янада такомиллаштириш ва 2020-2021 йилларда минерал-хом ашё базасини ривожлантириш ва қайта тиклаш давлат дастурини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида» ПҚ-4401-сон Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПҚ-4947 «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги қарори

хужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти натижалари муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республикаси фан ва технологиясини ривожлантиришнинг VII. «Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммони ўрганиганлик даражаси. Дунёда тоғ-кон ва металлургия ҳамда металлургия саноатидаги саноат чиқиндиларини комплекс қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш бўйича катта ҳажмда тадқиқотлар олиб боришга Зеликман А.И., Николский Б.П., Сефт А.Л., Акопян К.Э., Хчеян Г.Х., Язиков В.Г., L. Alfoldi, J.S. Anderson, K.A. Matis, M.J. Ritchie, J.D. Salter, N.P. Wyatt, J.C. Yannopoulos, C.P. Young Zaporozec, A.P. Kundler ва бошқа машҳур олимларнинг илмий изланишлари бағишланган.

Хозирги кунда дунёда олиб борилаётган илмий изланишлар, асосан, сулфидли хом ашёни қайта ишлаш учун технологик шароитларни яратиш билан чекланган бўлсада, сулфидли олтингугуртни элементар шаклга айлантириш имкониятидан қатъий назар, рангли металлургияда техноген хом ашёнинг катта ресурсларини комплекс ва чиқиндисиз қайта ишлаш имкониятларини қидириш борасида ҳам қатор ишлар амалга оширилган.

Республикамизда камёб металларни ўз ичига олган саноат чиқиндиларини комплекс қайта ишлашни ўрганишда фан ва амалиётнинг ривожланишига А.А.Юсупходжаев, К.С.Санакулов, Г.С.Сагтаров, А.С.Хасанов, Х.Р.Исмаев, Л.М.Богачева, Р.Д.Аллабергенов, Х.Т. Шарипов, Э.А.Толстов каби олимлар катта ҳисса қўшганлар. ЎзР ФА Умумий ва ноорганик кимё институти ва САИГИМС институти ходимлари томонидан олиб борилган тадқиқотлар натижасида, пирит концентратлари рангли металлургия учун минерал-хом ашё базаси сифатида ишлатилиши мумкин бўлган технологик жихатдан қийин қайта ишланадиган полиметалл хом ашё эканлиги аниқланди. Бироқ бугунги кунга қадар ушбу техноген хом ашёни олтингугурт, темир ва нодир металларни қазиб олишда ишлатиш муаммоси этарлича ўрганилмаган. Шу билан бирга, минерал хом ашёни қайта ишлашнинг мураккаблиги ва тўлиқлигини ошириш учун муҳим захираларга эга бўлган гидрометаллургия технологиялари (автоклав, оксидловчи технологиялар) мутахассислар эътиборини тобора кўпроқ жалб қилмоқда.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент кимё-технология институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг ППИ-13-18 «Олмалик кон-металлургия комбинатининг мис ва кўрғошин бойитиш заводлари чиқиндиларини қайта ишлаб, қимматли металларнинг ярим маҳсулотларини олиш бўйича комплекс технологияни ишлаб чиқиш ва портландцемент ишлаб чиқариш» (2016-2017 йй.) мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ОКМК да мис ишлаб чиқаришдаги пирит концентратини автоклавда ишқорлаш технологиясини яратиш ва қонуниятлари аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

пирит концентрати ва уни қайта ишлаш маҳсулотларининг кимёвий таркибини физик-кимёвий тадқиқот усуллари ёрдамида аниқлаш;

пирит концентратини юқори ҳарорат ва босимда нитрат кислотаси билан эритиш жараёнининг термодинамик ва кинетик қонунларини аниқлаш;

жараённинг оптимал шароитини аниқлаш мақсадида, шунингдек элементар олтингугурт, темир ва қимматбаҳо металлларни ажратиш билан олинадиган маҳсулотларни қайта ишлаш шароитини яратиш учун нитрат кислота эритмалари билан пирит концентратини автоклавда очиш бўйича технологик тадқиқотлар олиб бориш;

пирит концентратини самарали қайта ишлаш технологиясини дастлабки техник-иқтисодий баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти Олмалик кон-металлургия комбинати" АЖ мис ишлаб чиқаришдаги пирит концентрати - полиметал хом ашёнинг қийин қайта ишланадиган техноген хом ашёси бўлиб, унинг асосий қимматли таркибий қисмлари темир ва олтингугурт, шунингдек қўшимчалар сифатида нодир ва рангли металллар (Au, Ag, Cu, Ni, Co, Zn) фойдаланилган.

Тадқиқотнинг предмети элементар олтингугурт, ғовак темир, қимматбаҳо ва рангли металлларнинг ярим маҳсулотларини ажратиб олиш билан пирит концентратларини чуқур қайта ишлаш автоклав технологиясини ишлаб чиқиш йўли билан Ўзбекистон минерал ресурсларини тўлдириш истиқболлари баҳолашдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда рентген фазовий таҳлил (РФА, ДРОН-2.0), ИҚ-спектроскопия (Specord IR-75), термик таҳлил (ДТА Q-1000), микрозонд таҳлил каби замонавий физик-кимёвий усуллар, компьютер дастурлари, технологик эритманинг муҳитини ўлчаш учун рНметр, оксидланиш-қайтарилиш редокс потенциали (ОҚП) П-5827 потенциостатдан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

пирит хом ашёсини кислотали автоклав ишқорлаш қонуниятлари аниқланди, юқори ҳарорат ва босимда пирит концентратининитрат кислотаси билан ишлаш жараёнининг термодинамик ва кинетик параметрлари аниқланган;

“Fe-S-N-H₂O” системасида кислоталик муҳит (рН) ва оксидланиш-қайтарилиш потенциалига (ОҚП) боғлиқ ҳолда, “ОҚП–рН” режимини бошқариш мумкинлиги, бу эса қимматбаҳо хом ашё таркибий қисмларини танлаб ажралишини таъминлаши аниқланган;

хом ашёни тўлиқ қайта ишлашга эришиш учун оптимал технологик омиллар асосида пирит хом ашёсини гидрокимёвий қайта ишлашнинг технологик харитаси тузилди ва технологиянинг алоҳида операцияларининг

моддий ва элемент баланслари шароитида таклиф этилаётган усул омиллари ва кўрсаткичларининг оптимал қийматлари ишлаб чиқилган;

темир сулфидини нитрат кислотаси билан ишқорлаш кимёвий кинетикасини ўрганилган, жараён диффузия режими билан лимитланганлиги ва унинг бошланғич босқичи ташқи диффузия омиллари, жараённинг ўз вақтида ривожланиши билан ички диффузия омиллари билан белгиланиши исботланган;

пирит концентратини гидрокимёвий муҳитда, 298, 383 ва 433К температуралда парчаланиш жараёни термодинамикаси асосланган, «FeS₂-HNO₃-H₂O» системасида Гиббс энергияси ва мумкин бўлган реакцияларнинг мувозанат константалари ҳисоблаш натижасида аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

пирит концентратларини қайта ишлаш учун нитрат кислотали янги автоклав усули ишлаб чиқилган;

“ОҚП-рН” режимини тартибга солиш усули ишлаб чиқилган ва ушбу усул асосида хом ашёнинг қимматбаҳо таркибий қисмларини танлаб ажратиб олинган;

пирит концентратларини қайта ишлаш технологиясининг харитаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижалар замонавий тадқиқот усулларини қўллаш билан асосланган ва тажриба-саноат синовлари билан тасдиқланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти технологик омилларнинг (ҳарорат, вақт, концентрация, кимёвий реагентнинг меъёри ва бошқалар) пирит концентратини автоклавда танлаб эритмага ўтказиш жараёни кўрсаткичларига таъсири, пирит концентратини нитрат кислотаси билан ишлаш жараёнининг термодинамик ва кинетик параметрлари аниқлашда асос бўлади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти пирит концентратини қайта ишлаш технологиясининг харитаси ишлаб чиқилганлиги, мис ишлаб чиқаришда пирит концентратини автоклав ишқорлаш технологиясини қўллаб хом ашёдаги қимматли таркибий қисмларни ажратиш, бу усулда олтингугурт, темир ва хом ашёнинг бошқа таркибий қисмларини танлаб ажратиш, шунингдек исталмаган ён иккиламчи кимёвий реакцияларни бартараф қилиб мақсадли жараёнларни амалга оширишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Мис ишлаб чиқаришдаги пирит концентратини автоклавда ишқорлаш қонуниятларини аниқлаш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

пирит концентратини автоклавда нитрат кислота билан ишқорлаш технологияси «Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖ да амалиётга жорий этилган («Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖ нинг 2020 йил 17 сентябрдаги 63-326-сон маълумотномаси). Натижада элементар

олтингургурт қаттиқ қолдиққа 83-85% гача ажралиш, сульфат шаклидаги эритмага 15% гача ўтиш имконини берган;

пирит концентратини чуқур қайта ишлаб, таркибида Au, Ag, SiO₂ бўлган силикат оралиқ маҳсулотидан гидроксимевий услуби билан олтин кукуни, кумуш хлоридни ажратиб олиш усули «Олмалиқ кон-металлургия комбинати» АЖ да амалиётга жорий этилган («Олмалиқ кон-металлургия комбинати» АЖ нинг 2020 йил 17 сентябрдаги 63-326-сон маълумотномаси). Натижада ушбу технология ёрдамида хом ашёнинг қимматбаҳо таркибий қисмларини танлаб ажратиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 8 та, жумладан, 2 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилга.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 6 та илмий ишлар, жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 4 та мақола республика ва 2 та мақола хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертациянинг ҳажми 147 бетни ташкил этади.

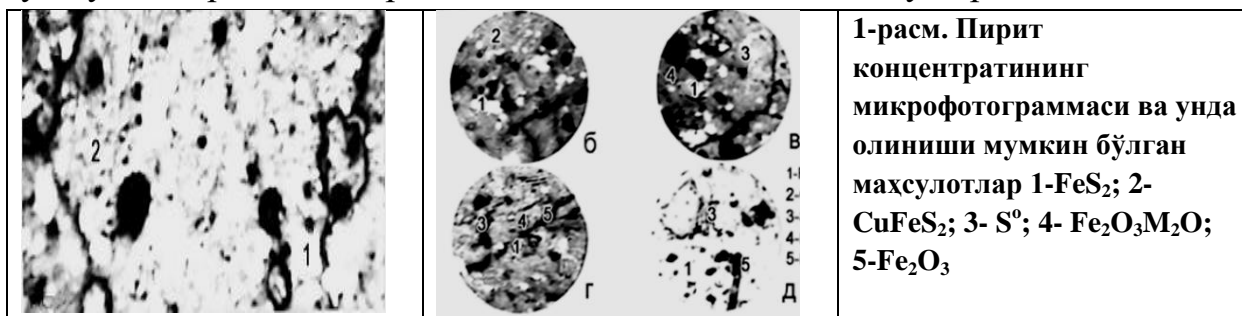
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурийлиги асосланган, мақсад ва вазифалар, тадқиқот объектлари ва предметлари берилган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, унинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этиш истиқболлари бўйича хулоса қилинган ҳамда чоп этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Пирит концентратини қайта ишлашнинг асосий муаммолари”** деб номланган **биринчи боби** пирит концентратини қайта ишлаш муаммоларига, уни эритмага ўтказиш ва олинган маҳсулотларни қайта ишлаш усуллари бўйича адабиётларни таҳлил қилиш, шунингдек, муаммонинг ечимини оптималлаштиришнинг назарий шарт-шароитларини кўриб чиқишга бағишланган. Шу муносабат билан, пирит хом ашёсини ишқорлаш босқичида ундан S⁰ нинг максимал ва барқарор ишлаб чиқарилиши масаласида, уни эримайдиган шаклда Fe юқори ажратишга эришишда ва танлаб эритмага ўтказишнинг қаттиқ қолдиғида нодир металлларнинг концентрацияси бўйича аниқ маълумотлар йўқлиги кўрсатилган.

Диссертациянинг “Ишқорлаш технологияси асосларини тадқиқ этиш” деб номланган **иккинчи боби** Ўзбекистондаги Қалмоқир конининг мис-молибден рудаларини флотацион бойитишдаги пирит концентратини қайта ишлаш технологиясининг асосий принципларини ўрганишга бағишланган. Қуйидаги 1-жадвалда хом ашёнинг таркиби, хусусиятлари ва тадқиқот усуллари берилган. Пирит концентратларининг шаклланиш шакли ва табиатига кўра сульфид кислотали хом ашё сифатида таснифланади, уларнинг минералогик таркиби асосан пирит ва халкопиритдан иборат. Ушбу хом ашёда нодир металлар майда қўшимчалар шаклида сульфидлар таркибига киради.

Микрозонд тадқиқотларига кўра (1-расм), кўриб чиқиладиган хом ашёнинг асосий минерали пирит- FeS_2 бўлиб, у мис-молибден конлари маъданлари ичидан энг кенг тарқалган минералдир. Ундаги пирит миқдори 3,5 дан 9,3% гача бўлиб, пиритнинг халкопиритга яъни ушбу хом ашёнинг асосий минералига нисбати 4,3 дан 17,2 гача. Пирит заррачаларининг ўлчами ушбу конларда кенг даражада $<0,001$ мм дан 5 мм гача ўзгаради.



1-жадвал

Хом ашёнинг таркиби, хусусиятлари ва тадқиқот усуллари

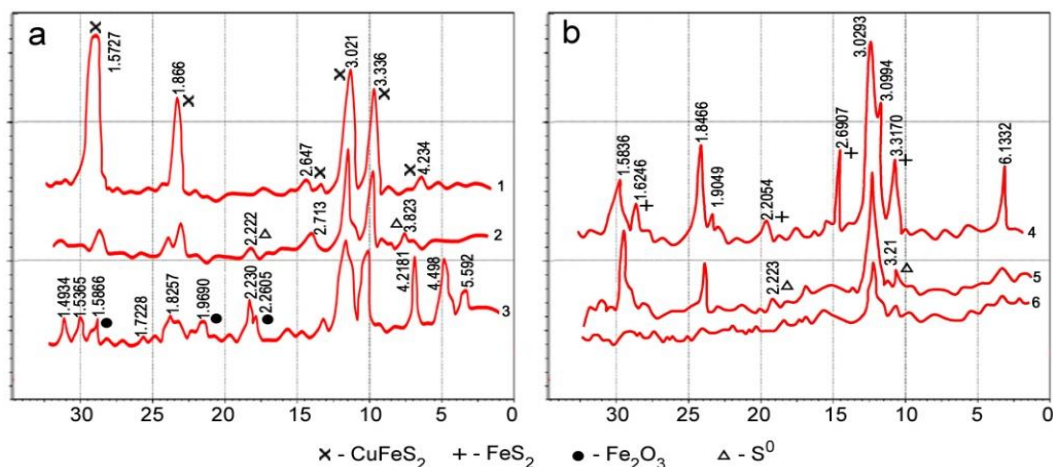
Элемент	Анализ натижалари (%)*			Изох
	Концентрат	Куйинди	Пирит	
Fe	25-26	36,3	45,55	1)*Концентрат ва куйинди кимёвий ва пробиркали усулларда, пирит эса микрозондли усулда таҳлил қилинди. 2) Шунингдек, пиритда 0,18% Те ва Se аниқланди. 3) Концентратда (% да): 0,48Са; 0,06 Mg; 0,8 Mn; 0,45 Pb; 0,4 Ti; 0,03 Ва; 0,015Zr ва 0,008 гача Cr мавжуд.
Собщ	26-27	1,3	53,37	
Si	10-12	30,4	-	
Al	0,95	1,35	-	
Cu	0,07-0,08	0,15	0,15	
Zn	0,05-0,06	0,79	0,05	
Ni	0,12-0,15	0,18	0,10	
Co	0,06-0,07	0,087	0,054	
As	0,15- 0,18	0,76	0,18	
Sb	0,03-0,05	0,09	0,07	
Au	4,5-4,6 г/т	6,59 г/т	0,29 г/т	
Ag	12,2-12,5г/т	17,82г/т	0,11 г/т	

Микрозондли ўрганиш натижалари пирит минералининг ўзига хос хусусиятини аниқлади, яъни бу минерал FeS_2 стехиометрик формуласига мос келмаслиги ва у аслида $(\text{Fe}_{0,98}\cdot\text{Cu}_{0,22}\cdot\text{S}_{2,0})$ формуласига эга эканлигини кўрсатди. Шунинг учун пиритда миснинг нисбатан юқори концентрацияда 0,15% бўлиши аниқланди. Ишқорлаш автоклавларда амалга оширилиб, у

сиғими 100 мл бўлган титандан ясалган “ампулалы бомба” бўлиб, ҳаво айланиш тезлиги 60 ай.мин⁻¹ ва электр ёрдамида иситиладиган ускуна ҳисболанади. Тажрибалар натижалари асосий ўзгарувчанлик технологик факторлар чегаралари аниқланди. Технологик омиллар кейинчалик 2000 ай.мин⁻¹ гача айланиш тезлигига эга механик аралаштиргичли 10 дм³ сиғимдаги автоклавда олиб борилди.

Жараёни эритмада мис, темир, кумуш ва олтингургуртни, кекларда эса умумий ва элементар олтингургурт, темир ва нодир металлларнинг таркибини назорат қилинди. Дастлабки хом ашё ва қаттиқ қолдиқлар рентгенфазавий, минералогик, термогравиметрик, хроматографик таҳлилдан ўтказилди (2-расм).

Концентратларнинг асосий минераллари, шу жумладан стехиометрик бўлмаганларни кислородсиз ва кислород иштирокида нитрат кислота билан ўзаро таъсири натижасида сувда турли эрувчанликка эга, қаттиқ ёки газсимон маҳсулотларнинг пайдо бўлиши қуйидаги умумий реакцияларда келтирилган (2-жадвал).



2-расм. Халкопирит (а) ва пирит концентрати (б) нитрат кислота билан ишқорлаш ўтказгандан сўнг қаттиқ фазаларнинг рентгенограммаси

2-жадвал

Пиритли хом ашёни ишқорлаш кимёвий модели

$2 \text{FeS}_2 + 8\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NO}_2\uparrow + 6\text{NO}\uparrow + \text{S}^0\downarrow + 4 \text{H}_2\text{O}$	(1)
$2 \text{FeS}_2 + 4\text{HNO}_3 + 3 \text{O}_2 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{NO}_2\uparrow + \text{S}^0\downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$	(2)
$\text{FeS}_2 + 6\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2\uparrow + 2\text{S}^0\downarrow + 3 \text{H}_2\text{O}$	(3)
$\text{FeS}_2 + 3\text{HNO}_3 + 0,75 \text{O}_2 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 2 \text{S}^0\downarrow + 1,5 \text{H}_2\text{O}$	(4)
$2 \text{FeS}_2 + 2 \text{HNO}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{S}^0\downarrow + 2 \text{NO}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	(5)
$2 \text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 + 1,25 \text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{S}^0\downarrow + \text{NO}_2\uparrow + 0,5 \text{H}_2\text{O}$	(6)
$6\text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 + 9\text{H}_2\text{O} + 10 \text{O}_2 = 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}\downarrow + \text{HNO}_2$	(7)
$\text{Fe}_{1,96}(\text{SO}_4)_{2,94} + \text{Cu}_{0,44}(\text{SO}_4)_{0,44} + 0,62\text{S}^0 + 8\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$	(8)
$2\text{Fe}_{0,84} \cdot \text{Ni}_{0,13} \cdot \text{Cu}_{0,09} \cdot \text{S}_{2,0} + 8\text{HNO}_3 + 0,16\text{O}_2 =$ $\text{Fe}_{1,68}(\text{SO}_4)_{2,52} + \text{Cu}_{0,18}(\text{SO}_4)_{0,18} + \text{Ni}_{0,26}(\text{SO}_4)_{0,26} + 1,04\text{S}^0 + 8\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	(9)
$\text{Fe}_{0,18}(\text{SO}_4)_{0,27} + \text{Cu}_{0,04}(\text{SO}_4)_{0,04} + \text{Ni}_{0,10}(\text{SO}_4)_{0,10} + 3,61\text{S}^0 + \text{NO}\uparrow + 0,5 \text{H}_2\text{O}$	(10)
$6\text{CuFeS}_2 + 22\text{HNO}_3 = 6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 12\text{S}^0\downarrow + 10\text{NO}\uparrow + 11\text{H}_2\text{O}$	(11)
$2\text{CuFeS}_2 + 6\text{HNO}_3 + 2\text{O}_2 = 2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{S}^0\downarrow + 2\text{NO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$	(12)

$6\text{CuFeS}_2 + 18\text{HNO}_3 + 16,5\text{O}_2 =$ $6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \downarrow + 8\text{S}^0 \downarrow + 6\text{NO}_2 \uparrow +$ $\text{S}^0 + 2\text{HNO}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NO} \uparrow$	(13) (14)
$2\text{FeS}_2 + 4\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5 \text{O}_2 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{NO} \uparrow + 2\text{S}^0 \downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	(15)
$\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5 \text{O}_2 = \text{FeSO}_4 + 2\text{S}^0 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$	(16)
$2\text{FeSO}_4 + 2\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{NO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	(17)
$6\text{Fe}^{3+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 14\text{H}_2\text{O} = 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \downarrow + 10\text{H}^+$	(18)
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$	(19)
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$	(20)
$\text{CuSO}_4 + \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O} = \text{CuS} \downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5 \text{O}_2 \uparrow$	(21)
$\text{CuS} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{S}^0 \downarrow + 2\text{NO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	(22)
$6\text{CuFeS}_2 + 18\text{HNO}_3 + 16,5\text{O}_2 =$ $6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \downarrow + 8\text{S}^0 \downarrow + 6\text{NO}_2 \uparrow + 9\text{H}_2\text{O}$	(23)
$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2 \uparrow$	(24)
$4\text{NO} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_2$	(25)
$2\text{NO} + 0,5 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_2$	(26)
$2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$	(27)
$3\text{HNO}_2 = \text{HNO}_3 + 2\text{NO} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$	(28)
$2\text{NO} + 4\text{H}^+ = \text{N}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	(29)

Ўрганилаётган жараённинг якуний натижаларига (1-13 реакциялар) турли хил иккиламчи реакциялар (14-23 реакциялар) таъсир кўрсатади, уларнинг энг муҳимларидан бири нитрат кислотали муҳитида элементар олтингугуртнинг сульфат шаклига ўтишидир. Ушбу шакллар рангли металлларнинг (мис, никел ва бошқалар) ва темирнинг сувда эрувчан сульфатлари, шунингдек мис сульфид, темирли ярозит, оксидлар ва гидроксидлари чўкмаларининг ҳосил бўлиши билан кетадиган иккиламчи жараёнларни ҳам келтириб чиқади. Кислород ва кислородсиз реакцияларда, кислород борлигида кислота сарфининг сезиларли камайиши (1-6 реакциялар) эътиборга сазовор. Бундан ташқари кислород иштирокида қуйи азот оксидлари юқори оксидларга қадар оксидланади, сўнгра кислота регенерацияси амалга оширилади (24-28 реакциялар). 24-28 реакциялар билан тавсифланган жараёнларга босим ва ҳароратнинг таъсирини аниқлаш учун 2, 3 ва 4 МПа автоклавдаги босимда ва 380 ва 433К (мос равишда 107 ва 160⁰С) ҳароратда нитрозали газларнинг парциал босими (p_i) ва мол таркиби (C_i) ҳисобланди.

Бундай ҳароратни танлаш элементар олтингугуртнинг ўзига хос хусусиятларидан келиб чиқади, у 385-388К да эрийди ва 428-433К да аномал даражада паст ёпишқоқликка эга. Ҳисоблаш натижалари 3-жадвалда келтирилган. Ушбу жадвалдан кўриниб турибдики, изотермик шароитда буғ-газ аралашмаси умумий босимининг ошиши билан аралашмада азот оксиди камаяди ва полимерланган шаклларнинг нисбати ошади.

Шунингдек 3-жадвалдан кўриниб турибдики, изобарик шароитда (доимий газ босимида) автоклавда гидрокимёвий система ҳароратнинг кўтарилишида қуйи азот оксидларининг юқори оксидларга полимерланиш даражаси қисман пасаяди. Пирит концентратини гидрокимёвий муҳитда парчаланиш жараёнининг термодинамик асосланиши 298, 383 ва 433К да

«FeS₂-HNO₃-H₂O» системасида Гиббс энергияси ва мумкин бўлган реакцияларнинг мувозанат константаларини ҳисоблаш натижасида аниқланди. S⁰, Fe₂O₃ и Cu⁺² нинг нафақат ҳосил бўлиш реакцияларининг юқори термодинамик эҳтимоли ва қайтарилмаслиги, балки сульфатнинг ҳосил бўлишининг иккиламчи жараёнлари таъсири ҳам кўрсатилган.

Fe-S-N-O-H системаси учун юқори ҳароратли «потенциал (φ)-рН» диаграммалардан турли кислотали муҳитда ҳароратга боғлиқ ҳолда φ қийматлари S⁰ нинг максимал чиқишига мос келиши аниқланди: 298К да φ=0÷0.4В; 383К да φ=-0.1÷0.4В ва 433К да φ=-0.15÷0.4В.

Сулфид хом ашёсини нитрат кислота билан оксидланиши электрохимий механизм бўйича содир бўлади, унга кўра водород ёки азотнинг катодлик қайтариш реакциялари кислотанинг NO, NO₂ и O⁻²га парчаланиши билан амалга оширилади, сўнгра S⁰ ва бошқа маҳсулотларнинг пайдо бўлиши билан сульфидларнинг анодлик оксидланиши амалга оширилади.

3-жадвал

Кислород ва HNO₃ концентрацияси 25 масса% га тенг бўлган ҳароратда (Т,К) ва босимга (Р,МПа) боғлиқ ҳолда азотли газларнинг парциал босими (р_i) ва моляр таркиби (С_i)

Р, Мпа	Т,К	р _i				С _i			
		NO	NO ₂	N ₂ O ₄	N ₂ O ₃	NO	NO ₂	N ₂ O ₄	N ₂ O ₃
2,0	380	18,33	198,77	2,41	9,61	0,89	9,68	0,11	0,41
	433	19,97	199,09	2,05	9,00	0,93	9,69	0,09	0,39
3,0	380	20,34	298,00	4,43	17,85	0,65	9,76	0,11	0,52
	433	23,85	299,2	3,72	16,71	0,74	9,78	0,10	0,49
4,0	380	23,00	396,6	8,11	34,46	0,06	9,63	0,19	0,81
	433	26,07	397,4	5,74	24,07	0,54	9,67	0,11	0,54

Пиритдан S⁰ ниетарлича юқори даражада ажратиб олиш учун (76% гача) бошланғич жараённи ушлаб туриш куйидаги режимда амалга оширилади: φ⁰0,60 ÷ 0,74В ва рН⁰ = -1,5 ÷ -1.0 оралиғида.

Автоклавда темир сульфидли хом ашёни нитрат кислотаси билан ишқорлаш кинетикасини ўрганиш натижасида ўрганилаётган жараён диффузия режими билан лимитланганлиги ва унинг бошланғич босқичи ташқи диффузия омиллари, жараённинг ўз вақтида ривожланиши билан ички диффузия омиллари билан белгиланиши кўрсатилди.

Диффузия режими, шунингдек, элементар олтингугурт ва темир оксиди ҳосил бўлиш реакцияси учун ҳисобланган Пиллинг-Бедвордс мезони билан тасдиқланади: КП-Б = 1.06, бу маҳсулотлар сульфид хом ашёси доналари юзасида етарлича зич қобик ҳосил бўлишини кўрсатади, унинг экранлаш эффекти жараённинг диффузия механизмини аниқлайди. Қобик таркиби ва ўтказувчанлиги эксперимент шароитига ва сульфид хом ашёсининг табиатига боғлиқ эканлиги кўрсатилган (4-жадвал).

φ⁰-рН⁰ нининг бошланғич режими φ⁰=0.60÷0.74В ва рН⁰=-1.5÷-1.0 бўлганда ишқорлаш жараёни охирида эса уларнинг қиймати φ⁰- 0,38В ва рН⁰ -

1,8 гача ўзгаради. Ушбу тажрибаларда технологик майдон омили, технологик ва термодинамик хулосаларга асосланиб, қуйидаги режимлар билан чекланди:

- а) ҳарорат (X_1) 358 дан 388К гача; б) давомийлик (X_2) 60-90 дақиқа;
- в) HNO_3 (X_3) концентрацияси 15-25%мас. г) С:Қ нисбати (X_4) 2-4 тенг.

Тажрибалар натижасида пирит концентратидан элементар олтингугуртни олиш жараёнининг регрессия коэффицентлари аниқланди: $b_0 = 46,69$; $b_1 = 11,84$; $b_2 = 9,54$; $b_3 = 2,74$; $b_4 = 2,64$; $b_{12} = 0,74$; $b_{13} = 0,14$; $b_{14} = -0,11$, бу технологик омилларнинг жараён кўрсаткичларига таъсир кучини тавсифлайди.

Ушбу коэффицентларни ҳисобга олган ҳолда, юқорида кўрсатилган омилларга қараб, пирит концентратидан элементар олтингугурт олишнинг математик статистик моделининг тенгламаси

$$Y_S = 46,69 + 11,84X_1 + 9,54X_2 + 2,74X_3 + 2,64X_4$$

кўринишга эга. Ушбу тенгламанинг таҳлили шуни кўрсатадики, ўрганилаётган жараёнда ҳам ҳарорат ($b_1 = 11,84$), ҳам концентрация омиллари ($b_3 = 2,74$) элементар олтингугурт ажратиб олишга таъсир қилади. Худди шу тарзда, темир ва мисни эритмага ўтказиш моделлари юқорида кўрсатилган омилларга қараб пирит концентратини ишқорлаб эритмага ўтказиш жараёни тенгланмаси қуйидагича:

$$Y_{\text{Fe}} = 59,34 + 9,05X_1 + 1,44X_2 + 2,74X_3 + 2,64X_4$$

$$Y_{\text{Cu}} = 81,48 + 3,69X_1 + 9,78X_2 + 9,13X_3 + 3,58X_4$$

Пирит хом ашёсини танлаб эритмага ўтказиш жараёнининг кинетик қонуниятлари электрохимий механизм билан изоҳланади, унга кўра S^0 ва Fe_2O_3 нинг ҳосил бўлиши водород ёки азотни катодда қайтарилиш реакцияси, анодда атомар кислороднинг ажралиб чиқиши билан тушунтирилади. Ажралиб чиққан кислород анод ва катод бўлмалари ўртасида шунингдек HNO_3 ни парчаланиши найжасида “хом ашё ↔ эритма” чегарасида ҳосил бўлади. Кислород кучли электрон қабул қилувчи бўлиб, сульфидлар юзасидаги фаол марказлар билан алоқада бўлиб, сульфид хом ашёсини кўрсатилган маҳсулотларга қадар осон оксидлайди.

Пирит концентратини нитрат кислота билан танлаб эритмага ўтказиш кинетикасини ўрганиш натижалари қуйидаги хулосаларни чиқаришга имкон беради:

а) кислород борлигида автоклавда ишқорлашни ўтказиш автоклавнинг реакцион муҳитида кислота регенерацияси ва кислороднинг кам сарфланишида S^0 ни максимал ажратиб олиш учун зарур шароит яратади;

б) HNO_3 эритмаларининг тавсия этилган концентрацияси 4М дан юқори бўлмаслиги керак, юқори концентрацияли кислота эритмаси қумушни қисман эришига, шунингдек олтингугуртни сульфат шаклига ўтишига сабаб бўлади;

в) олтингугуртни S^0 кўринишида ва Fe_2O_3 шаклида олиш жараёни учун ўртача ҳарорат (383-388К) ва кислота миқдори стехиометрик нисбатдан ошмайдиган ёки биров пастроқ тавсия этилади.

Диссертациянинг **“Пирит концентратини автоклавда ишқорлашни тадқиқ этиш натижалари ва уларни муҳокамаси”** деб номланган учинчи бобида технологик тадқиқотлар натижалари келтирилган. Элементар

олтингугурт ва гематитни максимал олиш учун нитрат кислотаси иштирокида пирит концентратини автоклав усулда очиш учун оптимал шароитлар келтирилган. Темирни эритмага ўтказиш ва сульфид ҳолидаги олтингугуртни элементар олтингугурт ёки сульфат шаклига қадар оксидлаш юқорида айтиб ўтилганидек, нитрат кислотанинг концентрацияси 1,66-5,60 М (105-354 г/л) оралиғида, технологик жиҳатдан пульпани оптимал иситиш ҳарорати 383 дан 433К гача (110-160⁰С) бўлади.

Ҳарорат 383К да нитрат кислотанинг 105-223 г/дм³ концентрацияли эритмасидан фойдаланиш натижасида сульфид ҳолидаги олтингугуртни сульфатга қадар оксидланиши эритманинг кислотали муҳити ошиши билан, шунингдек автоклавда пулпани ушлаб турилиши вақтини ортиши билан барқарор ўсиб боришига олиб келади. Шу билан бирга, кислотали ишқорлашдан кейин эритмаларнинг оксидланиш потенциали анча юқори бўлади: $\varphi_{\text{кон}} = 0.71-0.76\text{В}$.

Кучли концентрацияли кислотали эритмаларда (354 г/дм³) бу қонуният сақланмайди: вақт ўтиши билан сульфат олтингугуртнинг ҳосил бўлиши (61,5 дан 62,6% гача) 20 дан 60 дақиқагача амалда деярли ўзгармайди. Жараён ҳароратини 433К га оширилганда, 105-223 г/дм³ HNO₃ оралиғида олтингугуртнинг сульфатга қадар оксидланиши пулпани 20 дақиқагача автоклавда ушлаб турилганда кучаяди. Узокроқ ушлаб туриш ва дастлабки кислота концентрациясининг ошиши (354 г/дм³) натижасида эритмадаги сульфат ҳолидаги олтингугурт миқдорининг бир оз камайишига олиб келади, шунингдек рН нинг ўзгариши ва $\varphi_{\text{кон}}-0,69\text{ В}$ гача пасайиши кузатилади. Шундан келиб чиқадики, бу таркибда олтингугурт чиқиши билан бирга камроқ сувда эрийдиган ноорганик тузлар ҳосил бўлиши ҳамкузатилади. Пиритли концентратларнинг нитрат кислота иштирокида автоклавда қайта ишлаш жараёнида эркин ҳолдаги олтингугурт S⁰ ҳосил бўлиш жараёни бошланғич босқичда 383К да пулпа кислоталигининг ортиши ва вақт ўтиши билан унинг аста-секин пасайиши билан тавсифланади.

Жараён бошида S⁰ ҳосил бўлиш даражасининг сезиларли пасайиши HNO₃ концентрациясининг Т-433К да 105 дан 354 г/дм³ гача ошиши, шунингдек, кислота концентрациясида 105 г/дм³ дан ошмайдиган жараён давомийлиги билан боғлиқ.

Ўртача кислота концентрацияси 223-354 г / дм³ га Т-433К га кўтарилиши вақт ўтиши билан элементар олтингугурт ажратиб олишнинг бироз ортишига имкон беради (3-расм).



3-расм. Пирит концентратидан S⁰ ни ажраллиши: HNO₃ 223-354 г/дм³, 383К, Қ:С=1:4, 60 дақиқа.

Тажриба натижалари ушбу жараённи вақт бўйича ривожланиши билан S⁰нинг ҳосил бўлиш шартларига

ушбу жараёнинг назарий тавсияларига мувофиқ мос келадиган қийматлар атрофида эритмаларнинг оксидланиш-қайтарилиш потенциалларининг кескин сакраши ва кийик йўқлигини таъкидлашга имкон беради (4-жадвал). Такдим этилган маълумотлар ўрганилаётган жараённинг оптимал технологик режимини тавсия қилишимизга имкон беради: HNO_3 концентрацияси 15-20 масс. %, Т-383-385К, Қ:С = 3:4, кислород сарфи эса 0,64-0,65 г/т темир, давомийлиги 1,5-2,0 соат, хомашёнинг силлиқланганлиги -63+40 мкм, автоклавдаги босим 1,5 Мпа дан ошмади. Кислотадан фойдаланиш коэффициенти уни автоклавдан олиб ташланган газ фазасидан регенерациясини ҳисобга олмаганда, 0,7 -0,8тенг эди.

4-жадвал

Кислород иштирокида пирит концентратини автоклавли нитрат кислота билан танлаб эритмага ўтказиш кўрсаткичлари: HNO_3 15 мас.%, 383К, С:Қ=3, кислород сарфи 0,66 г/т темир учун, $\phi^0=0.638\text{В}$, рН=-1.0

Жараённинг давомийлиги, соат	Эритманинг хусусияти		Ажратиш, %		
			кекда		эритмада
	$\phi_{\text{кон}}$	$\text{pH}_{\text{кон}}$	S^0	Fe^{+3}	Cu^{+2}
0,5	0,440	1,34	48,7	86,6	93,4
1,0	0,325	1,62	61,3	90,8	98,3
1,5	0,245	1,68	70,6	96,3	98,8
2,0	0,280	1,72	78,0	97,0	99,6

Танлаб эритмага ўтказишнинг оптимал режими: концентратнинг оғирлиги 1000 г, ажралган намкек миқдори 1040 г, қуруқ кекнинг миқдори - 830 г; эритма ҳажми - ювиш сувисиз филтрат - 2,1 дм^3 ; концентрацияси 170 г / дм^3 - 3 дм^3 эга бўлган HNO_3 эритмасининг сарфи, кислород сарфи 163 г (0.130 дм^3); ҳарорат 383К, вақт - 2 соат (6-жадвал).

6-жадвал

Танлаб эритмага ўтказиш жараёнининг лаборатория режимида усулнинг оптимал асосий технологик параметрлари

№	Элем.	Таркиби						
		1000 г концентратда		қуруқ кекда (830г)		Ювиш сувисиз эритмада (2,1 дм^3)		
		%	г	г	%	г	г/ дм^3	Ажратиш даражаси, %
1	Fe^{+3}	-	-	237,3	28,6	7,55	3,59	2,96
2	Fe_2O_3	-	-	339,0	40,8	-	-	-
3	S^0	-	-	205,1	24,7	-	-	-
4	S^{+6}	-	-	-	-	59,0	28,1	22,43
5	Al^{+3}	0,95	9,5	1,34	0,20	8,16	3,88	86,0
6	Cu^{+2}	0,077	0,77	0,02	0,0026	0,75	1,57	97,4
7	Zn^{+2}	0,056	0,56	0,06	0,0078	0,50	0,24	90,9
8	Ni^{+2}	0,13	1,3	0,09	0,012	1,21	0,58	93,7
9	Co^{+2}	0,065	0,65	0,02	0,0026	0,63	0,30	96,9

10	As ⁺⁵	0,17	1,7	1,33	0,17	0,37	0,17	21,7
11	Sb ⁺³	0,04	0,4	0,02	0,0026	0,38	0,18	96,1
12	Mo	0,18	1,8	0,68	0,088	1,11	0,52	61,6
13	Ca	0,48	4,8	0,6	0,078	4,2	2,0	87,5
14	Mg	0,06	0,6	0,06	0,0078	0,54	0,26	91,0
15	Au	4,55 г/т	4,55мг	4,55мг	5,90г/т	-	-	-
16	Ag	12,3г/т	12,3мг	12,3мг	15,97г/т	-	-	-

Асосий кўрсаткичлар куйидагилар:

1. Нам кекнинг миқдори концентратнинг дастлабки тортилган қисмининг 104% (кекни намлиги 20,2%) ёки қуруқ кек 830 г (оғирлиги 1 кг бошланғич хом ашёнинг миқдоридан 83%). Шу билан бирга, қуруқ кек таркибидаги асосий элементларнинг ажралиши 93,1% Fe (237,3 г); 77,9 % S⁰ (205,1 г) ва 100% нодир металлар (4,55 мг Au (6,79 г/т) ва 12,3 мг Ag (18,36 г/т). Бундай маҳсулот эркин олтингугурт, темир ва нодир металларни ажратиб олиш учун хом ашё ҳисобланади.

2. Таркибида асосий элементларнинг куйидаги миқдори бўлган, г/л: 3,59Fe; 3,88 Al; 1,57 Cu; 0,24 Zn; 0,58Ni; 0,30 Co(d =1,19 г/см³, рН=1,61) эритмаларнинг утилизацияси ушбу элементларнинг гидролитик чўктириши билан амалга оширилади. Пирит концентрати ишқорлангандан сўнг бойитилган ярим маҳсулот таркиби қуруқ қисмига ҳисоблаганда 24,7% S⁰; 40,8% Fe₂O₃; Au 5,90 г/т, Ag 15,97 г/т ва 27,4% SiO₂ эга.

Эркин олтингугуртни олиш учун қаттиқ қолдиқлар сульфатли флотация билан бойитилади, таркибида 79% олтингугурт бўлган бойитилган концентрат - ярим тайёр маҳсулот олинади. Жараён ҳарорат 313К, рН = 9-10, коллектор қўшимчаларининг (эмулсия шаклида керосин) сарфи 200 г / т вақўпикловчи восита (Т-66) миқдори 140 г/т, флотация вақти 40 дақиқа мин. шароитида амалга оширилади. Ушбу оралик силикат маҳсулотнинг таркиби, қуруқ оғирлиги 100 г: ва 35,7г -Fe₂O₃ (25,0 г Fe); 0,59 мг- Au; 1,59 мг- Ag и 37,9- г SiO₂.

Темирни ажратиб олиш. а) фракцияси 1,0 мм дан ошмайдиган 100 г кек 45 мл H₂SO₄ (зичлиги 1,84 г/см³) билан аралаштирилади ва намлиги билан оғирлиги 174 г ва катталиги 3-5 мм бўлган гранулалар олинади. Нам гранулалар сульфатизация қилинади, яъни печда 320-330⁰С ҳароратда 2.0-2.5 соат давомида куйдирилади. Ҳосил бўлган куйинди - 160 г оғирликдаги сульфат маҳсулоти 0.4-1.0 мм фракцияга қадар майдаланади.

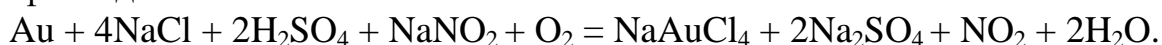
б). Ушбу жараённинг қаттиқ маҳсулоти қуруқ вазни 43,3 г бўлган кек бўлиб, унда 37,9 г SiO₂ (87,5%), 0,59 мг Au (13,62г/т) ва 1,59 мг Ag (36,72г/т) бўлади.

в) қуруқ оғирлиги 36,1 г ва таркибида 66,2% Fe (23,9 г) бўлган темир оксиди чўкмасини олиш учун 0,4 л темир эритмаси рН=5-6 муҳитда 8 мл 25% NH₄ОН билан ишлов берилади. Темирдан тозалаш жараёнининг маҳсулоти силикат яриммаҳсулоти бўлиб, қуруқ оғирлиги бўйича таркиби: 87,5% SiO₂ ва нодир металлар 13,62 г/т Au ва 36,72 г/т Ag га мос келади.

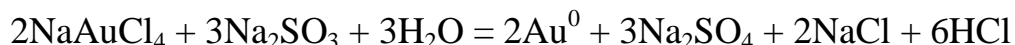
Силикат ярим маҳсулотдан нодир металларни олиш минус 630-710 мВ оралиғида пулпанинг оксидланиш-қайтарилиш потенциалида кумушни

нитрат кислота билан ишқорлаш орқали амалга оширилади. Кумуш эритмага тўлиқ ўтади ва олтин билан бойитилган қаттиқ қолдиқ (кек) олинади. Кумушнинг миқдори ишқорлашдан сўнг метал миқдори бўйича 0,01% ни ташкил қилади. Нитрат кислота эритмасидан кумушни чўктириш натрий хлориднинг тўйинган эритмаси билан реактор-аралаштиргичда амалга оширилади. Чўкмани конденсат билан ювиб, 110-300⁰С ҳароратда қуритгандан сўнг 74-76% кумуш хлориднинг кукунини олиш учунаффинажишлаб чиқариши учун хом ашё ҳисобланади.

Олтинни икки босқичли оксидловчи ишқорлаш жараёни герметик идишда вакуум остида сульфат-хлорид эритмасида оксидловчи модда сифатида кислород ва натрий нитритдан фойдаланиб амалга оширилади. Эритмадаги олтин комплекси ҳосил бўлишининг қуйидаги реакцияси билан тавсифланади:



Қайтарувчи сифатида натрий сульфит ОҚП = -580 - 620 мВ да ишлатилади. Ювиб бўлгандан кейин таркибида асосий металнинг 98% гача бўлган ярим хом ашё олтин кукуни олинади, бу аффинаж ишлаб чиқаришда хом ашё ҳисобланади. Олтин хлорид эритмасидан олтинни чўктиришнинг классик схемаси эритмани натрий сульфит иштирокида қайнатишни ўз ичига олади:



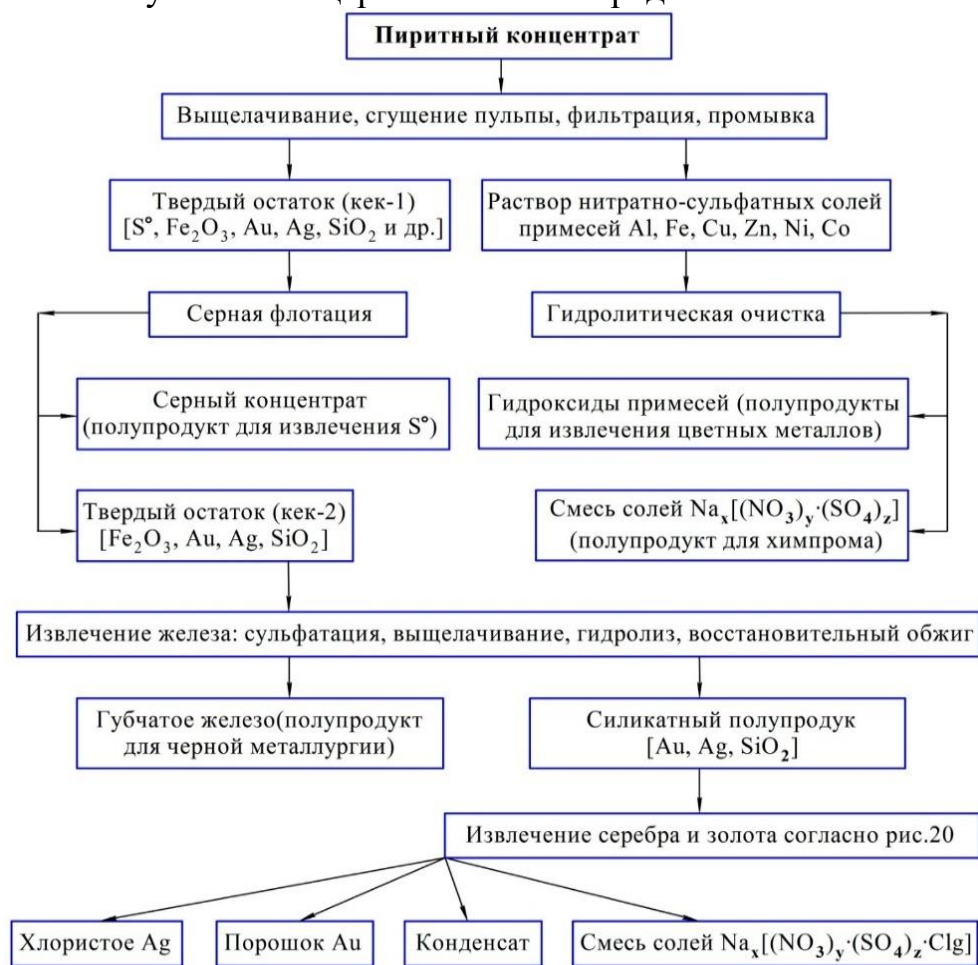
Олтин чўктирилгандан кейин натрийнинг хлорид-сульфатли тузлари бўлган эритмани утилизация қилиш учун эритма то нам тузлар қолғунига қадар буғлатилади, конденсат эса металл ва туз кукунларини ювиш учун ишлатилади. Шундай қилиб, ишлаб чиқилган гидрометаллургия схемасига кўра олтин кукуни, кумуш хлорид, силикат оралик маҳсулоти ва натрийнинг нитратли, хлоридли ва сульфатли тузларини олиш мумкинлиги кўрсатилган. Усул заҳарли моддаларнинг чиқишини ва қимматбаҳо элементларнинг чиқиндилар ва технологиянинг саноат маҳсулотлари билан йўқолишини олдини олади.

Диссертациянинг **“Пирит концентратини чуқур қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш”** номланган тўртинчи боби усулнинг технологик схемасини (4 – расм) оптималлаштириш бўйича технологик тадқиқотлар, аппарат схемасини ишлаб чиқиш ва технологиянинг иқтисодий самарадорлигини дастлабки баҳолашга бағишланган. Технологик тадқиқотлар қуйидагича хулоса қилишга имкон беради: олтингургурт, темир, рангли ва нодир металллар ҳамда юқори сифатли силикат аралашмаларининг олиниши, шунингдек, эритмаларнинг айланиши ва уларни натрий ва аммоний тузлари билан тўйинганидан кейин кимё саноатида ишлатилиши мумкинлиги ишлаб чиқилган комплекс технологияда пирит концентратларидан фойдаланишни 100% га яқин эканлигини кўрсатади. Схема бўйича технологик операцияларни лаборатория ва кенгайтирилган синовлари натижаларига кўра (4-расм), технологик харита ишлаб чиқилган бўлиб, у материал ва элемент баланси ва атроф-муҳитга зарарли чиқиндилар

йўқлиги шароитида технологиянинг иш режимлари ва кўрсаткичларини ақс эттиради.

Гидрометаллургия технологиясининг ускуна асосини блок типдаги «реактор системаси-фазани ажратувчи» ташкил қилади. Бундан ташқари ушбу схема пулпа тайёрлаш учун репульпаторлар, сарфланадиган ва оралик эритма коллекторлари, ўлчаш идишлари, кимёвий насослар ва бошқалар билан тўлдирилади.

Яратилган технологиянинг иқтисодий кўрсаткичлари (ТИК) самарадорлигини баҳолаш. Ўтказилган техник иқтисодий кўрсаткич таҳлили асосий хулосани чиқаришга имкон беради.



4-расм. Пирит концентратини қайта ишлашнинг технологик схемаси

Ишлаб чиқилган усул нитрат кислота саноати ривожланган, муҳим хом ашё базаси мавжуд бўлган Ўзбекистон учун долзарб бўлиб, атроф-муҳит ифлосланишини олдини олиш каби муҳим муаммони ҳал қилади, эркин олтингугурт, темир ва қимматбаҳо металлларни ажратиш олиш имконини беради (9-жадвал).

7-жадвал

Ишлаб чиқилган технологиянинг асосий ТИК

Кўрсаткичлар	Маблағ	Миқдори
1. Хом ашёни йиллик қайта ишлаш ҳажми	минг.т	100,0
1.1. Олтингурт концентрати	минг.т	22, 88
1.2. Темир метали	минг.т	20, 48
1.3. Кумуш хлорид	т	1640

1.4. Олтин кукуни ЖАМИ	кг минг..т	492 45, 0
3.Жами капитал қўйилмаларнинг суммаси	минг. \$	6254,0
4.Йиллик эксплуатация харажати	минг. \$	21643,52
5. Аниқ капитал қўрилмалар:	\$	62,54
7.Маҳсулотнинг тан нархи	тыс. \$	27 680,0
8.Олинадиган фойда(п.7-п.4)	тыс. \$	6 036,48
9.Рентабеллик (п.8/п.4)	%	27,89
10. Кап.харажатларни оқлаш муддати (п.3/п.8)	йил	1,5

ХУЛОСА

1. Пирит хомашёсини автоклавда кислотали ишқорлаш қонуниятлари, юқори ҳарорат ва босимда пирит концентратини нитрат кислота билан очилиши жараёнининг термодинамик ва кинетик параметрлари аниқланилди ва шу асосда пирит концентратини чуқур қайта ишлаш технологияси таклиф этилди.

2. Турли хил кислоталик мухитда Fe-S-N-O-H системаси учун “потенциал (ϕ) –pH” юқори ҳароратли диаграммаларнинг назарий таҳлили олиб борилди ва ҳароратга боғлиқ ҳолда ϕ қийматларининг S^0 нинг максимал унумига мос келадиган шароитлари кўрсатиб ўтилди: $T=298K$ $\phi=0\div 0.4V$; $T=383K$ $\phi=-0.1\div 0.4V$ ва $T=433K$ $\phi=-0.15\div 0.4V$.

3. “ОҚП-pH” режимини тартибга солиш усули ишлаб чиқилди ва ушбу усул асосида хом ашёнинг қимматбаҳо таркибий қисмларини танлаб ажратишга эришилди. Бунда рангли металллар қўшимчалари эритмада концентрланиши, темир, олтингугурт ва нодир металллар эса қаттиқ қолдиқда ажралиши билан изоҳланди.

4. Сульфидли хом ашёни нитрат кислота билан оксидлашнинг электрохимёвий механизми тадбиқ этилди, унга кўра катодда водород ёки нитрат кислотанинг NO , NO_2 ва O^{2-} га қадар қайтарилиши, анодда сульфидларнинг ёки бошқа маҳсулотларнинг S^0 га қадар оксидланиши содир бўлиши кўрсатиб берилди.

5. Темир сульфидли хом ашёни нитрат кислота билан ишқорлаш кинетикаси аниқланди. Жараён диффузия режими билан лимитланганлиги, бошланғич босқич ташқи диффузия омиллари, жараённинг кейинги вақт бўйича ривожланиши эса ички-диффузия омиллари билан белгиланиши кўрсатилди.

6. Хом ашёни тўлиқ очишга эришиш учун оптимал технологик омиллар аниқланди, унинг асосида пирит хом ашёсини гидрохимёвий қайта ишлашнинг технологик харитаси тузилди ва технологиянинг индивидуал операциялари моддий ва элемент баланслари шароитида тавсия этилган усулнинг омиллари ва кўрсаткичларининг оптимал қийматларини миқдорий баҳолаш ва кенгайтирилган лаборатория миқёсида синовлар иш ҳажми 18 дм^3 бўлган автоклавда амалга оширилди. Бу атроф-мухитни муҳофаза қилиш

ва хом ашёни чуқур қайта ишлаш талабларига жавоб берадиган усулнинг самарадорлигини тасдиқлади.

7. Йилига 100 минг тонна пирит концентратини қайта ишлаш бўйича ишлаб чиқилган технологияни техник-иқтисодий баҳолаш ушбу хом ашёни ишқорлаш жараёнининг кенгайтирилган синовлари натижалари бўйича ўтказилган тахминий техник-иқтисодий ҳисоб-китоблар асосида амалга оширилди, натижада ушбу технологияни тўлиқ қоплаш муддати 1,5 йилни ташкил этиши кўрсатилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ И
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ОЛИМОВ ТОЛМАС ФАРХОДОВИЧ

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ И РАЗРАБОТКА АВТОКЛАВНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПИРИТНОГО КОНЦЕНТРАТА МЕДНОГО
ПРОИЗВОДСТВА АГМК**

02.00.01-Технология неорганических веществ и материалов на их основе

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ
(PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2017.1.DSc./К2.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском химико-технологическом институте
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.ionp.uz и информационно-просветительском «ZiyoNET» (www.ziyo.net).

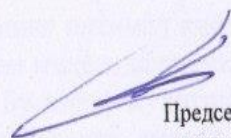
Научный руководитель:	Шарипов Хасан Турабович доктор химических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Гуро Виталий Павлович доктор химических наук, профессор Нурмуродов Тулкин Исамуродович доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Национальный университет Узбекистан им М. Улугбек

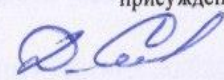
Защита диссертации состоится 04 декабрь 2020 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 при Институте Общей и неорганической химии (Адрес: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбек, 77-а, Тел.: (+99871) 262-56-60. Факс: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionxanuz@mail.ru).

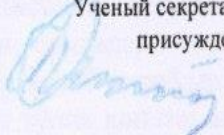
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за № 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбек, 77-а, Тел.: (+99871) 262-56-60.

Автореферат диссертации разослан 20 ноябрь 2020 года.
(протокол рассылки № 20 от 20 ноябрь 2020 года).




Б.С. Закиров
Председатель Научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.х.н., профессор


Д.С. Салиханова
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор


С.А. Абдурахимов
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

ВЕДЕНИЕ [аннотация диссертации доктора наук (PhD)]

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мировой практике известна важнейшая проблема тяжелых отраслей промышленности, в том числе, цветной металлургии Республики Узбекистан, заключающаяся в необходимости утилизации промышленных отходов и техногенного сырья, которая сегодня представляет собой острую экономическую и технологическую проблему государственного масштаба, поскольку рассматривается как ресурсосберегающее, природоохранное и диверсификационное мероприятие экономической деятельности государства. В связи с этим, вопросы утилизации отходов и извлечение из них ценных металлов является актуальной задачей.

На сегодняшний день в мире необходимо обоснование следующих научных решений по исследованию переработки и рациональной использованию техногенных отходов основаны на развитии инноваций, новейших технологий и модернизаций, в частности определение химических составов промышленных отходов металлургии; получение редких и благородных металлов из промышленных отходов; изучение вещественного и химического состава проб пиритного концентрата и продуктов его переработки методами физико-химических методов исследований; установление термодинамических и кинетических закономерностей процесса вскрытия пиритного концентрата азотной кислотой при повышенных температурах и давлениях.

В нашей Республике достигнуты научно-практические результаты частности, на базе АО «Алмалыкский ГМК» с развитием медной отрасли цветной металлургии растут объёмы образования пиритного полиметаллического концентрата и его переработки. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан указано на «дальнейшую модернизацию и диверсификацию промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов»². В этой сфере, в том числе, имеют важное значение научные исследования по разработке эффективного способа глубокой комплексной переработки пиритных концентратов, направленная на полное извлечение всех ценных компонентов сырья, является актуальной и востребованной с точки зрения экономики предприятий и экологии

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан УП-49-47 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по

¹Указ президента республики узбекистан УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 23 июля 2019 года №4401 «О мерах по дальнейшему совершенствованию геологического изучения недр и реализации государственной программы развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы на 2020-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: VII. Химические технологии и нанотехнологии.

Степень изученности проблемы. В мире научным исследованиям по разработки технологии комплексной переработки техногенных отходов горно-металлургической и металлургической отрасли были посвящены работы выдающихся учёных как А.И. Зеликмана, Б.П. Никольский, А.Л.Цефт, К.Е.Акопян, Г.Х. Хчяян, В.Г.Язикова, L.Alfoldi, J.S.Anderson, К.А.Matis, M.J.Ritchie, J.D.Salter, N.P.Wyatt, J.C. Yannopoulos, С.Р. Young Zaporozec, А.Р.Kundler и др.

В республике значительный вклад в развитие науки и практики в изучение комплексной переработки техногенных отходов, содержащих редкие металлы внесли научная школа А.А. Юсупходжаева, К.С.Санакулова, Г.С.Саттарова, А.С. Хасанова, Х.Р. Исматоав, Л.М.Богачевой, Р.Д.Аллабергенова, Х.Т. Шарипова, Е.А. Толстова. В результате проведенных исследований сотрудниками Института общей и неорганической химии и Института САИГИМС установлено, что пиритные концентраты представляют собой упорное полиметаллическое сырьё, которое может быть использовано в качестве минерально-сырьевой базы цветной металлургии. Однако до настоящего времени, проблема использования этого техногенного сырья для извлечения серы, железа и благородных металлов, изучена недостаточно. В то же время внимание специалистов все больше привлекают гидрометаллургические технологии (автоклавные, окислительные технологии), которые имеют значительные резервы для повышения уровня комплексности и полноты переработки минерального сырья.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского химико-технологического института по проекту ППИ -13-18 «Разработка комплексной технологии переработки отходов обогащения медно и свинцово обогатительных фабрик Алмалыкского горно-металлургического комбината с получением черного промпродукта ценных металлов и производство портландцемента» (2016-2017 гг).

Цель исследования является установление закономерности и

разработка технологии автоклавного выщелачивания пиритного концентрата медного производства АГМК.

Задачи исследования:

изучение вещественного и химического состава проб пиритного концентрата и продуктов его переработки методами физико-химических методов исследований;

установление термодинамических и кинетических закономерностей процесса вскрытия пиритного концентрата азотной кислотой при повышенных температурах и давлениях;

технологические исследования по вскрытию пиритного концентрата в автоклаве азотнокислыми растворами с целью определения оптимальных условий осуществления процесса, а также по разработке условий переработки продуктов вскрытия с извлечением элементарной серы, железа и благородных металлов;

предварительная технико-экономическая оценка эффективной технологии переработки пиритного концентрата.

Объектами исследования являются пиритный концентрат медного производства АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (АГМК) Узбекистана - техногенное сырье, представляющее собой упорный вид полиметаллического сырья, основными ценными компонентами которого являются железо и сера, а также, в качестве примесных элементов, благородные и цветные металлы (Au, Ag, Cu, Ni, Co, Zn).

Предметом исследования является оценка перспектив пополнения минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана за счет установления закономерностей и разработки автоклавной технологии глубокой переработки пиритных концентратов с извлечением элементарной серы, губчатого железа, благородных металлов и полупродуктов цветных металлов.

Методы исследования. В диссертации использованы рентгенофазовый анализ (РФА, ДРОН-2.0), ИК-спектроскопия (Specord IR-75), термический анализ (ДТА Q-1000), микронзондовый анализ и комплекс технологических исследований растворов с использованием рН-метрии потенциостата марки П-5827 для измерения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

установлены закономерности кислотного автоклавного выщелачивания пиритного сырья, определены термодинамические и кинетические параметры процесса вскрытия пиритного концентрата азотной кислотой при повышенных температурах и давлениях;

определено что, в системе «Fe-S-N-H₂O» в зависимости от кислотности (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), можно регулировать режим «ОВП – рН», обеспечивающий селективное разделение ценных компонентов сырья;

разработано оптимальные технологические факторы для достижения полного вскрытия сырья, на основании которых составлена технологическая карта гидрохимической переработки пиритного сырья и количественной оценкой оптимальных значений факторов и показателей предлагаемого способа в условиях материального и элементного балансов отдельно взятых операций технологии;

химическая кинетика выщелачивания сульфидного сырья железа азотной кислотой в автоклаве доказывает, что процесс лимитируется диффузионным режимом, начальная стадия, которой определяется внешне-диффузионными факторами, а с развитием процесса во времени – внутри-диффузионными;

процесс вскрытия пиритного концентрата в гидрохимической среде термодинамический обосновано теоретическими расчетами значений энергии Гиббса и констант равновесия возможных реакций в системе «FeS₂ - HNO₃-H₂O».

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан новый азотнокислый автоклавный способ переработки пиритных концентратов;

разработана математическая модель автоклавного выщелачивания пиритного концентрата азотной кислотой, которая показывает наиболее значимые технологические факторы и их уровни для оптимизации процесса;

разработана технологическая карта технологии переработки пиритного концентрата.

Достоверность полученных результатов обосновывается тем, что экспериментальные результаты получены с применением современных методов исследований и подтверждены данными опытно-промышленного испытания.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость работы заключается в создании научных основ в установлении влияния технологических факторов (температурных, временных, концентрации и дозировки химического реагента и др.) на показатели процесса автоклавного выщелачивания пиритного концентрата, определены термодинамические и кинетические параметры процесса вскрытия пиритного концентрата азотной кислотой при повышенных температурах и давлениях.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке технологической карты технологии переработки пиритного концентрата, с разделением ценных компонентов сырья с использованием технологии автоклавного выщелачивания пиритного концентрата медного производства, позволяющий селективно извлекать элементарную серу, железо и др. компоненты сырья, а также осуществлять целее направленный процесс, исключаящие нежелательные побочные вторичные химические

реакции.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов научного исследования по установлению закономерностей автоклавного выщелачивания пиритового концентрата при производстве меди внедрена:

технология автоклавного выщелачивания пиритового концентрата азотной кислотой (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 17 сентября 2020 г. №63-326), В результате чего удается на 83-85% элементарной серы перевести на твердый остаток и до 15% - в раствор сульфата;

гидрохимическая переработка силикатного полупродукта автоклавного выщелачивания пиритового концентрата, содержащего Au, Ag, SiO₂, с получением «чернового» золотого порошка и хлорида серебра внедрена в АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 17 сентября 2020 г. № 63-326). В результате этого появилась возможность разделить с помощью этой технологии из сырья ценных компонентов.

Апробация результатов исследования. Результаты работы доложены и обсуждены на 8 конференциях, из них 2 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 6 научных работ. Из них 4 научных статей, в том числе 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией РУз для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 147 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении сформулированы актуальность, востребованность, цель и задачи работы, показаны объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, обоснованы научная новизна, практические результаты и достоверность результатов исследований, приводятся сведения по опубликованным работам и структуре диссертации, и внедрению в практику результатов исследования.

В первой главе диссертации под названием «**Основные проблемы переработки пиритного концентрата**» проведён обзор литературы по проблеме переработки пиритных концентратов, способам его выщелачивания и переработке получающихся при этом продуктов, а также обзору теоретических предпосылок для оптимизации решения проблемы. В этой связи, для стадии выщелачивания пиритного сырья, нет ясности ни в вопросе

максимального и стабильного получения S^0 из него, ни в том, каким путем можно сочетать его с достижением высокого извлечения Fe в нерастворимой форме и концентрированием благородных металлов в твердом остатке выщелачивания (кеке).

Вторая глава диссертации «**Исследование фундаментальных основ технологии выщелачивания**» посвящена изучению фундаментальных основ технологии переработки пиритного концентрата флотационного обогащения медно-молибденовых руд Кальмакырского месторождения Узбекистана, а также приведены характеристика сырья и методика исследования, состав которых приведен в табл.1.

По форме нахождения и характеру пустой породы пиритные концентраты относятся к сульфидному кислому сырью, минералогический состав которого состоит, в основном из пирита и халькопирита. Благородные металлы, в этом сырье, содержатся в составе сульфидов в виде тонких вкраплений.

По данным микронзондовых исследований (рис.1) основной минерал рассматриваемого сырья - пирит FeS_2 , является самым распространенным минералом руд медно-молибденовых месторождений: содержание пирита в них колеблется от 3,5 до 9,3%: отношение пирита к халькопириту – основному минералу этого сырья колеблется от 4,3 до 17,2.

Таблица 1

Содержание основных элементов в пиритном концентрате, огарке, получающемся по базовой технологии и минерале пирите

Элемент	Результаты анализов (в %)*			Примечания
	Концентрат	Огарок	Пирит	
Fe	25-26	36,3	45,55	1)*Концентрат и огарок анализировали химическим и пробирным методами, а пирит – микронзондовыми исследованиями. 2) В пирите также обнаружены по 0,18% Te и Se. 3) В концентрате присутствуют также (в %): 0,48 Ca; 0,06 Mg; 0,8 Mn; 0,45 Pb; 0,4 Ti; 0,03 Ba; 0,015 Zr и до 0,008 Cr
Собщ	26-27	1,3	53,37	
Si	10-12	30,4	-	
Al	0,95	1,35	-	
Cu	0,07-0,08	0,15	0,15	
Zn	0,05-0,06	0,79	0,05	
Ni	0,12-0,15	0,18	0,10	
Co	0,06-0,07	0,087	0,054	
As	0,15- 0,18	0,76	0,18	
Sb	0,03-0,05	0,09	0,07	
Au	4,5-4,6 г/т	6,59 г/т	0,29 г/т	
Ag	12,2-12,5г/т	17,82г/т	0,11 г/т	

Размерность зерен пирита варьирует в этих месторождениях в широких пределах: от <0,001 мм до 5 мм. Результатами микронзондовых исследований

выявлена особенность минерала пирита, которая заключается в том, что этот минерал по составу отклоняется от стехиометрической формулы FeS_2 и представляется как $(\text{Fe}_{0,98} \cdot \text{Cu}_{0,22} \cdot \text{S}_{2,0})$.

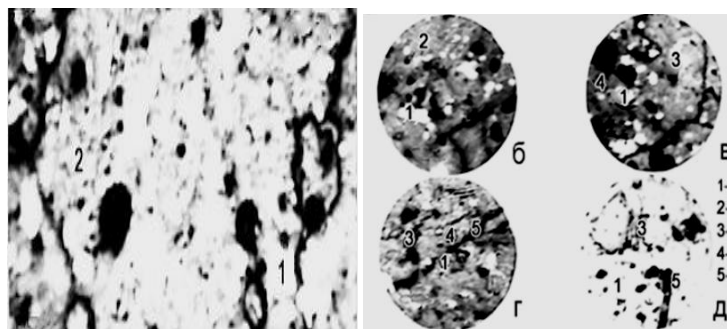


Рис. 1
Микрофотографии
пиритного
концентрата и
продуктов его
вскрытия 1- FeS_2 ; 2-
 CuFeS_2 ; 3- S^0 ; 4-
 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{M}_2\text{O}$; 5- Fe_2O_3

Поэтому, в пирите установлены значительные концентрации меди: в среднем 0,15%.

Выщелачивание проводили в автоклавах - «ампульных бомбочках», в титановом исполнении емкостью 100 мл, вращающихся на оси воздушного термостата со скоростью вращения 60 об. мин^{-1} и электрическим нагревом. Результаты опытов выявили пределы варьирования основных технологических факторов, которые затем уточнялись в автоклаве емкостью 10 дм^3 с механической мешалкой со скоростью вращения мешалки до $2000 \text{ об. мин}^{-1}$.

Процесс контролировали по содержанию в растворах меди, железа, серебра и серы, а в кеках: серы общей и элементарной, железа и драгметаллов. Исходное сырье и твердые остатки подвергались рентгенофазовому, минералогическому, термогравиметрическому, хроматографическому анализу (рис.2).

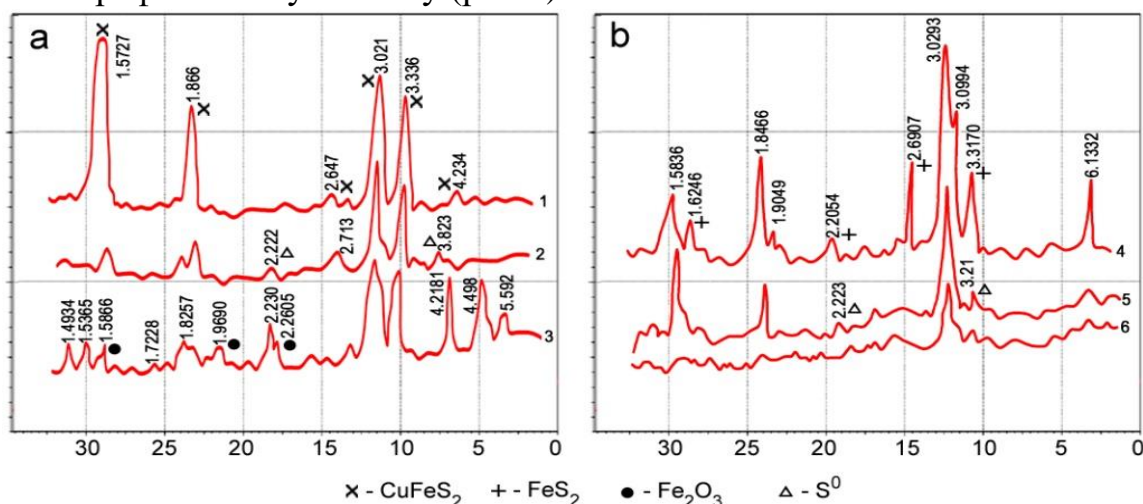


Рис. 2. Рентгенограммы твердых фаз после выщелачивания халькопирита (а) и пиритного концентрата (б) азотной кислотой концентрации

При азотнокислотном автоклавном выщелачивании пиритного концентрата протекают реакции окисления, восстановления, гидратообразования и др. Взаимодействие основных минералов концентрата,

в том числе, нестехиометрических, с азотной кислотой без кислорода и в его присутствие газообразных продуктов и состоит из следующих суммарных реакций газообразных продуктов (табл. 2).

На конечные результаты изучаемого процесса (реакции 1-13) влияние оказывают различные вторичные реакции (реакции 14-23), одним из важнейших которых является окисление элементарной серы в азотнокислой среде до сульфатной формы. Эти формы вызывают цепь вторичных процессов с образованием как водорастворимых сульфатов цветных металлов (меди, никеля и др.) и железа, так и осадков сульфида меди, железистого ярозита, оксидов и гидроксидов и др. В реакциях с участием кислорода и без него обращает внимание факт существенного уменьшения расхода кислоты в присутствие кислорода (реакции 1-6). Кроме этого, в присутствии кислорода низшие оксиды азота окисляются до высших оксидов с последующей регенерацией кислоты (реакции 24-28). Для определения влияния давления и температуры на процессы, характеризующиеся реакциями (24)-(28), были рассчитаны парциальные давления (p_i) и мольный состав (C_i) нитрозных газов при давлениях в автоклаве 2, 3 и 4 МПа и температурах 380 и 433К (соответственно, 107 и 160⁰С). Выбор таких температур обусловлен специфическими особенностями элементарной серы, которая плавится при 385-388К и имеет аномально низкую вязкость при 428-433К.

Результаты расчетов приведены в табл. 3, из которой очевидно, что с увеличением общего давления парогазовой смеси в изотермических условиях, доля оксида азота в смеси уменьшается, а полимеризованных форм возрастает. Это указывает на тот факт, что при осуществлении гидрометаллургического процесса в соответствующих оптимальных технологических условиях повышенные давления способствуют большей степени окисления низших оксидов азота в высшие, что создает благоприятные условия для регенерации кислоты в процессе автоклавного выщелачивания.

Таблица 2

Химическая модель выщелачивания пиритного сырья

$2 \text{FeS}_2 + 8\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NO}_2\uparrow + 6\text{NO}\uparrow + \text{S}^0\downarrow + 4 \text{H}_2\text{O}$	(1)
$2 \text{FeS}_2 + 4\text{HNO}_3 + 3 \text{O}_2 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{NO}_2\uparrow + \text{S}^0\downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$	(2)
$\text{FeS}_2 + 6\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2\uparrow + 2\text{S}^0\downarrow + 3 \text{H}_2\text{O}$	(3)
$\text{FeS}_2 + 3\text{HNO}_3 + 0,75 \text{O}_2 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 2 \text{S}^0\downarrow + 1,5 \text{H}_2\text{O}$	(4)
$2 \text{FeS}_2 + 2 \text{HNO}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{S}^0\downarrow + 2 \text{NO}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	(5)
$2 \text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 + 1,25 \text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{S}^0\downarrow + \text{NO}_2\uparrow + 0,5 \text{H}_2\text{O}$	(6)
$6\text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 + 9\text{H}_2\text{O} + 10 \text{O}_2 = 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}\downarrow + \text{HNO}_2$	(7)
$\text{Fe}_{1,96}(\text{SO}_4)_{2,94} + \text{Cu}_{0,44}(\text{SO}_4)_{0,44} + 0,62\text{S}^0 + 8\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$	(8)
$2\text{Fe}_{0,84} \cdot \text{Ni}_{0,13} \cdot \text{Cu}_{0,09} \cdot \text{S}_{2,0} + 8\text{HNO}_3 + 0,16\text{O}_2 =$	(9)
$\text{Fe}_{1,68}(\text{SO}_4)_{2,52} + \text{Cu}_{0,18}(\text{SO}_4)_{0,18} + \text{Ni}_{0,26}(\text{SO}_4)_{0,26} + 1,04\text{S}^0 + 8\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	
$\text{Fe}_{0,18}(\text{SO}_4)_{0,27} + \text{Cu}_{0,04}(\text{SO}_4)_{0,04} + \text{Ni}_{0,10}(\text{SO}_4)_{0,10} + 3,61\text{S}^0 + \text{NO}\uparrow + 0,5 \text{H}_2\text{O}$	(10)

$6\text{CuFeS}_2 + 22\text{HNO}_3 = 6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 12\text{S}^0\downarrow + 10\text{NO}\uparrow + 11\text{H}_2\text{O}$	(11)
$2\text{CuFeS}_2 + 6\text{HNO}_3 + 2\text{O}_2 = 2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{S}^0\downarrow + 2\text{NO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$	(12)
$6\text{CuFeS}_2 + 18\text{HNO}_3 + 16,5\text{O}_2 =$ $6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}\downarrow + 8\text{S}^0\downarrow + 6\text{NO}_2\uparrow +$	(13)
$\text{S}^0 + 2\text{HNO}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NO}\uparrow$	(14)
$2\text{FeS}_2 + 4\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5\text{O}_2 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{NO}\uparrow + 2\text{S}^0\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	(15)
$\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5\text{O}_2 = \text{FeSO}_4 + 2\text{S}^0\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	(16)
$2\text{FeSO}_4 + 2\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	(17)
$6\text{Fe}^{3+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 14\text{H}_2\text{O} = 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}\downarrow + 10\text{H}^+$	(18)
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$	(19)
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$	(20)
$\text{CuSO}_4 + \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O} = \text{CuS}\downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5\text{O}_2\uparrow$	(21)
$\text{CuS} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{S}^0\downarrow + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	(22)
$6\text{CuFeS}_2 + 18\text{HNO}_3 + 16,5\text{O}_2 =$ $6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}\downarrow + 8\text{S}^0\downarrow + 6\text{NO}_2\uparrow + 9\text{H}_2\text{O}$	(23)
$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2\uparrow$	(24)
$4\text{NO} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_2$	(25)
$2\text{NO} + 0,5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_2$	(26)
$2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$	(27)
$3\text{HNO}_2 = \text{HNO}_3 + 2\text{NO}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	(28)
$2\text{NO} + 4\text{H}^+ = \text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	(29)

Из табл.3 видно также, что неблагоприятным в этой связи является увеличение температуры гидрохимической системы в автоклаве в изобарных условиях (при постоянном давлении газов): степень полимеризации низших оксидов азота в высшие несколько уменьшается.

Термодинамическое обоснование процесса вскрытия пиритного концентрата в гидрохимической среде выполнено в результате расчета значений энергии Гиббса и констант равновесия возможных реакций в системе « $\text{FeS}_2 - \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ » при 298, 383 и 433К.

Таблица 3

Парциальные давления (p_i) и мольный состав (C_i) оксидов азота в зависимости от температуры (Т, К) и давления (Р, Мпа) в присутствии кислорода и HNO_3 концентрации 25 масс. %

Р, Мпа	Т, К	p_i				C_i			
		NO	NO ₂	N ₂ O ₄	N ₂ O ₃	NO	NO ₂	N ₂ O ₄	N ₂ O ₃
2,0	380	18,33	198,77	2,41	9,61	0,89	9,68	0,11	0,41
	433	19,97	199,09	2,05	9,00	0,93	9,69	0,09	0,39
3,0	380	20,34	298,00	4,43	17,85	0,65	9,76	0,11	0,52
	433	23,85	299,2	3,72	16,71	0,74	9,78	0,10	0,49
4,0	380	23,00	396,6	8,11	34,46	0,06	9,63	0,19	0,81
	433	26,07	397,4	5,74	24,07	0,54	9,67	0,11	0,54

Показана большая термодинамическая вероятность и необратимость не только реакций образования S^0 , Fe_2O_3 и Cu^{+2} , но и вторичных процессов сульфатообразования. Из высокотемпературных диаграмм «потенциал (φ)-

pH» для системы Fe-S-N-O-H при различной кислотности определены значения φ , отвечающие максимальному выходу S^0 при температурах: 298K $\varphi=0\div 0.4В$; 383K $\varphi= -0,1\div 0.4В$ и 433K $\varphi= -0,15\div 0.4В$.

Окисление сульфидного сырья азотной кислотой происходит по электрохимическому механизму, согласно которому, осуществляются реакции катодного восстановления водорода или азота с разложением кислоты на NO, NO₂ и O⁻² с последующей анодной реакцией окисления сульфидов с образованием S⁰ и др. продуктов.

Для достаточно высокого извлечения S⁰ (до 76%) из пирита процесс осуществляется в режиме поддержания начала процесса: φ^0 на уровне 0.60÷0.74В и pH⁰ = -1.5÷ -1.0.

В результате изучения химической кинетики выщелачивания сульфидного сырья железа азотной кислотой в автоклаве показано, что изучаемый процесс лимитируется диффузионным режимом, причем, начальная его стадия определяется внешне-диффузионными факторами, а с развитием процесса во времени – внутри-диффузионными.

Диффузионный режим подтверждается также рассчитанным критерием Пиллинга-Бедвордса для реакции образования элементарной серы и оксида железа: КП-Б = 1,06, который показывает, что эти продукты формируют достаточно плотную оболочку на поверхности зерен сульфидного сырья, экранирующее действие которой и определяет диффузионный механизм процесса. Показано, что состав и проницаемость этой пленки зависит от условий опыта и природы сульфидного сырья.

Начальный режим, обеспечивающий φ^0 -pH⁰ на уровне значений φ^0 = 0.60÷0.74В и pH⁰= -1.5÷ -1.0. и, по мере выщелачивания, конечных значений φ до 0,38В и pH до 1,8.

Область факторного технологического пространства в этих опытах, на основании технологических соображений и термодинамических выводов, была ограничена следующими режимами:

а) температуры (X₁) от 358 до 388K; б) продолжительности (X₂) 60-90 мин; в) концентрации HNO₃ (X₃) 15-25 % масс. и г) отношения Ж:Т (X₄) 2-4.

Результатами опытов определены коэффициенты регрессии процесса извлечения элементарной серы из пиритного концентрата: b₀ =46,69; b₁ =11,84; b₂= 9,54; b₃=2,74; b₄=2,64; b₁₂= 0,74; b₁₃= 0,14; b₁₄=-0,11, которые характеризуют силу влияния технологических факторов на показатели процесса. С учетом этих коэффициентов уравнение математической статистической модели извлечения элементарной серы из пиритного концентрата в зависимости от выше указанных факторов приобретает вид Y_S=46,69+ 11,84X₁+9,54X₂+2,74X₃+2,64X₄. Анализ этого уравнение показывает, что в изучаемом процессе на извлечение элементарной серы влияют как температурные (b₁ =11,84), так и концентрационные (b₃ =2,74) факторы. Аналогичным образом были выведены модели извлечения железа и

меди в раствор в зависимости от выше указанных факторов при выщелачивании пиритного концентрата:

$$Y_{\text{Fe}}=59,34+9,05X_1+1,44X_2+2,74X_3+2,64X_4$$

$$Y_{\text{Cu}}=81,48+3,69X_1+9,78X_2+9,13X_3+3,58X_4.$$

Кинетические закономерности процесса выщелачивания пиритного сырья объясняются электрохимическим механизмом, согласно которому образование S^0 и Fe_2O_3 представляет собой результат совмещенной катодной реакции восстановления водорода или азота и анодной реакции выделения атомарного кислорода, который образуется между анодными и катодными участками поверхности сырья на границе «сырье↔раствор» при распаде HNO_3 . Кислород, являясь сильным акцептором электронов, в контакте с активными центрами на поверхности сульфидов легко окисляет сульфидное сырье до указанных продуктов.

Результаты изучения кинетики азотнокислого выщелачивания пиритного концентрата позволяют сделать выводы:

а) автоклавный режим выщелачивания в присутствии кислорода создает в реакционном объеме автоклава необходимые условия для регенерации кислоты и максимального извлечения S^0 при меньших расходах кислоты;

б) рекомендуемые концентрации растворов HNO_3 не выше 4М, более кислые растворы частично растворяют серебро, а также переводит серу, в её в сульфатную форму;

в) осуществление процесса с извлечением серы в виде S^0 и Fe_2O_3 рекомендуется при умеренных температурах (383-388К) и расходах кислоты, не превышающих или несколько ниже стехиометрических.

Третья глава диссертации “Результаты исследований автоклавного выщелачивания пиритного концентрата и их обсуждение” освещены результаты технологических условий вскрытия пиритных концентратов автоклавным азотнокислым способом по пути максимального получения элементарной серы, а также гематита. На извлечение железа в раствор и окисление сульфидной серы до элементарной или сульфатной формы значительное влияние оказывают, как было указано выше, концентрации азотной кислоты в пределах 1,66-5,60М (105-354 г/л), как технологически наиболее приемлемы и температура нагрева пульпы от 383 до 433К (110-160⁰С).

Использование азотной кислоты концентрации 105-223 г/дм³ при 383К приводит к тому, что степень окисления сульфидной серы до сульфатной неуклонно повышается как с ростом кислотности раствора, так и с увеличением выдержки пульпы в автоклаве. При этом окислительный потенциал растворов после выщелачивания достаточно высок: $\varphi_{\text{кон}}=0,71-0,76В$. В более кислых растворах (354 г/дм³) такая закономерность не сохраняется: степень образования сульфатной серы в этом случае со временем: от 20 до 60 мин, практически не изменяется: от 61,5 до 62,6 %.

При повышении температуры процесса до 433К окисление серы до сульфатной в пределах кислотности 105-223 г/дм³ HNO₃ увеличивается лишь при выдержке пульпы в автоклаве до 20 мин. При большем времени выдержки и повышенных начальных концентрациях кислоты (354 г/дм³) наблюдается незначительное уменьшение содержания сульфатной серы в растворах с одновременным изменением их рН и уменьшением φ_{кон} до 0,69В, из чего можно предположить, что при этом происходит выделение серы в составе, менее растворимых в воде, неорганических солей (табл.4).

Для процесса образования элементарной серы при азотнокислой автоклавной переработке пиритных концентратов характерно увеличение степени образования S⁰ с ростом кислотности пульпы при 383К в начальной стадии процесса с постепенным уменьшением по мере его протекания во времени.

Существенное уменьшение степени образования S⁰ в начале процесса связано с увеличением концентрации HNO₃ с 105 до 354 г/дм³ при 433К, а также с продолжительности процесса при концентрации кислоты не выше 105 г/дм³.

Повышение кислотности среды до 223-354 г/дм³ при 433К позволяет несколько увеличить извлечение элементарной серы во времени (рис.3)

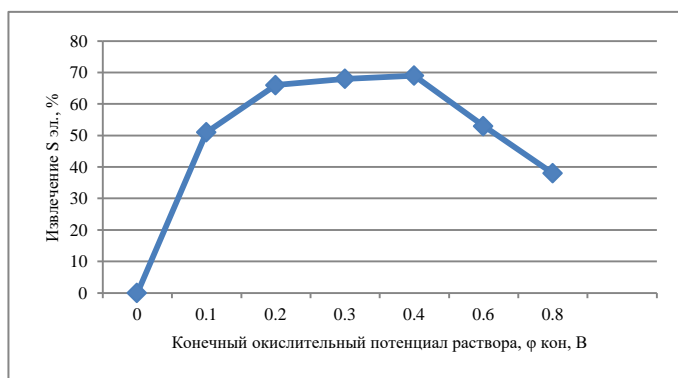


Рис.3. Извлечение S⁰ из пиритного сырья: HNO₃ 223-354 г/дм³, 383К, Т:Ж=1:4, 60 мин.

Экспериментальные данные позволяют констатировать, что с развитием процесса во времени, наблюдается отсутствие резких скачков и незначительные колебания редокс-потенциалов растворов около значений, отвечающих, согласно рекомендациям теоретического раздела данной работы, условиям существования S⁰ (табл.4). Представленные данные позволяют рекомендовать оптимальный технологический режим изучаемого процесса:

концентрация HNO₃ 15-20 масс. %, 383-385К, Ж:Т=3-4, расход кислорода 0,64-0,65г/г железа, продолжительность 1,5-2,0 часа, тонина помола сырья - 63+40 мкм, давление в автоклаве не превышало 1,5МПа, а коэффициент использования кислоты, без учета регенерации ее из газовой фазы, удаляемой из автоклава при его разгрузке, равнялся 0,7-0,8.

Таблица 4

Показатели автоклавного азотнокислого выщелачивания пиритного концентрата в присутствии кислорода: HNO₃ 15 масс. %, 383К, Ж:Т=3, расход кислорода 0,66г/г железа, φ⁰ = 0.638В, рН⁰ = -1.0

Продолжительность	Характеристика	Извлечение, %
-------------------	----------------	---------------

процесса, час	растворов		в кек		в раствор
	$\Phi_{\text{кон}}$	$\text{pH}_{\text{кон}}$	S^0	Fe^{+3}	Cu^{+2}
0,5	0,440	1,34	48,7	86,6	93,4
1,0	0,325	1,62	61,3	90,8	98,3
1,5	0,245	1,68	70,6	96,3	98,8
2,0	0,280	1,72	78,0	97,0	99,6

Оптимальный режим выщелачивания: навеска концентрата 1000 г, выход кек влажного 1040 г, сухого отмытого водой - 830 г; объём раствора – фильтрата без промывной воды- 2,1 дм³; расход раствора HNO₃ с концентрацией 170 г/дм³ - 3 дм³, расход кислорода 163 г (0,130 дм³); 383К, 2 часа (табл.5).

Таблица 5

Основные технологические показатели способа в оптимальном лабораторном режиме процесса выщелачивания

№ пп	Элемент	Содержание						
		в 1000 г концентрата		в сухом кеке (830г)		в растворе без промывной (2,1 дм ³)		
		%	г	г	%	г	г/дм ³	Изв-ние,%
1	Fe _{общ}	25,5	255	-	-	-	-	-
2	Fe ⁺³	-	-	237,3	28,6	7,55	3,59	2,96
3	Fe ₂ O ₃	-	-	339,0	40,8	-	-	-
4	S _{общ}	26,3	263	-	-	-	-	-
5	S ⁰	-	-	205,1	24,7	-	-	-
6	S ⁺⁶	-	-	-	-	59,0	28,1	22,43
7	Si	10,6	106,2	106,2	12,8	-	-	-
	SiO ₂	22,7	227,4	227,4	27,4			
8	Al ⁺³	0,95	9,5	1,34	0,20	8,16	3,88	86,0
	Al ₂ O ₃	1,79	17,9	2,53	0,33			
9	Cu ⁺²	0,077	0,77	0,02	0,0026	0,75	1,57	97,4
10	Zn ⁺²	0,056	0,56	0,06	0,0078	0,50	0,24	90,9
11	Ni ⁺²	0,13	1,3	0,09	0,012	1,21	0,58	93,7
12	Co ⁺²	0,065	0,65	0,02	0,0026	0,63	0,30	96,9
13	As ⁺⁵	0,17	1,7	1,33	0,17	0,37	0,17	21,7
14	Sb ⁺³	0,04	0,4	0,02	0,0026	0,38	0,18	96,1
15	Mo	0,18	1,8	0,68	0,088	1,11	0,52	61,6
16	Ca	0,48	4,8	0,6	0,078	4,2	2,0	87,5
	CaO	0,67	6,7	0,84	0,11	-	-	-
17	Mg	0,06	0,6	0,06	0,0078	0,54	0,26	91,0
	MgO	0,099	0,99	0,099	0,013	-	-	-
18	Au	4,55 г/т	4,55мг	4,55мг	5,90г/т	-	-	-
19	Ag	12,3г/т	12,3мг	12,3мг	15,97г/т	-	-	-

Основные показатели заключаются в следующем:

1. Выход влажного кека составляет 104% от исходной навески концентрата (влажность кека 20,2%) или сухого кека 830 г (83% от исходной загрузки сырья массой 1 кг). При этом, извлечение основных элементов в сухой кек составляет 93,1% Fe (237,3 г); 77,9 % S⁰ (205,1 г) и 100% благородных металлов (4,55 мг Au (6,79 г/т) и 12,3 мг Ag (18,36 г/т). Такой продукт является сырьем для извлечения серы элементарной, железа и благородных металлов.

2. Утилизации растворов, с содержанием основных элементов, в г/л: 3,59-Fe; 3,88 Al; 1,57 Cu; 0,24 Zn; 0,58 Ni; 0,30 Co, плотностью $d = 1,19 \text{ г/см}^3$, рН=1,61, осуществляется гидролитическим осаждением указанных элементов. Обогащенный полупродуктов после выщелачивания пиритного концентрата содержит основные компоненты, в расчете на их сухую массу, 24,7% S⁰; 40,8% Fe₂O₃; Au 5,90 г/т и Ag 15,97 г/т; 27,4% SiO₂.

Для извлечения элементарной серы проведено обогащение твердых остатков серной флотацией с получением серного концентрата, содержащего 79% серы элементарной - полуфабриката для производства элементарной серы. Процесс осуществляется при температуре 313К; рН среды = 9-10; расход добавок собирателя (керосин в виде эмульсии) 200 г/ти 140 г/т вспенивателя (Т-66); продолжительность флотации 40 мин. Эта стадия процесса позволяет получать силикатный остаток в виде хвостов флотации, обогащенный железом и благородными металлами. В составе этого полупродукта, сухой массой 100 г: 35,7г Fe₂O₃ (25,0 г Fe); 0,59 мг Au; 1,59 мг Ag и 37,9 г SiO₂.

Извлечение железа. а) 100 г кека, фракции не более 1,0 мм, смешивается с 45 мл H₂SO₄ (пл. 1,84 г/см³) с получением гранул размером 3-5 мм влажной массой 174 г; влажные гранулы подвергают сульфатации – прокаливанию в печи при 320-330⁰С в течение 2,0-2,5 часов; полученный огарок – сульфат продукт массой 160 г измельчают до фракции -0,4-1,0 мм.

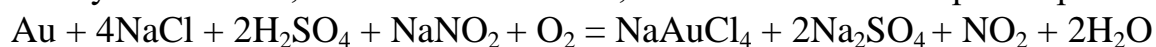
б) Огарок выщелачивают водой при рН = 3,0-3,5; Т:Ж= (160 г огарка: 400 мл воды), температуре 70-80⁰С в течение 2-3 часов; при этом в раствор извлекается 96% Fe(III), что составляет 24,0 г в 0,4 л раствора, то есть соответствует концентрации железа в продуктивном растворе 60,0 г/л; твердым продуктом данной операции является кек сухой массой 43,3 г, где концентрируется 37,9 г SiO₂ (87,5%) и 0,59 мг Au (13,62г/т); 1,59 мг Ag (36,72 г/т).

в) 0,4 л раствора железа обрабатывают с 8 мл 25%-ной NH₄OH при рН=5-6 для осаждения железоксидного осадка сухой массой 36,1 г и содержанием 66,2% Fe (23,9г); восстановительный обжиг этого осадка с получением металлизированного железа проведена по известному способу и не представляет трудностей. Продуктом операции очистки от железа является силикатный полупродукт, состава на сухой вес: 87,5% SiO₂ и благородных

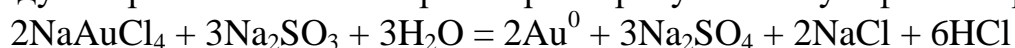
металлов 13,62 г/т Au и 36,72 г/т Ag. Этот полупродукт далее подвергается переработке с целью извлечения благородных металлов.

Извлечение благородных металлов из силикатного полупродукта осуществляется азотнокислотным выщелачиванием серебра при окислительно-восстановительном потенциале пульпы в диапазоне минус 630-710 мВ. После двух стадий серебро полностью извлекается в раствор и получается твердый остаток (кек), обогащенный золотом. Остаточное содержание серебра в твердом остатке выщелачивания составляет 0,01% от исходной загрузки металла. Осаждение серебра из азотнокислых растворов проводится в реакторе-мешалке насыщенным раствором хлорида натрия. После промывки осадка конденсатом и сушки при температурах 110-300⁰С получается белый 74-76%-ный творожистый осадок хлорида серебра – сырье для аффинажного производства с целью получения металлического порошка серебра. Маточные растворы после осаждения серебра представляют собой растворы натриевой селитры NaNO₃.

Двух стадийное окислительное выщелачивание золота реализуется в герметичном реакторе под разрежением в сульфатно-хлоридном растворе с использованием в качестве окислителя кислорода и катализатора – нитрита натрия. Химическая сущность каталитического действия нитрита натрия в совокупности с кислородом описывается следующей реакцией образования наиболее устойчивого, из известных солей, комплекса золота в растворе:



В качестве восстановителя используется сульфит натрия при ОВП = -580 - 620 мВ. После промывки получается черновой порошок золота с содержанием до 98% основного металла – сырье для аффинажного производства. Классическая схема осаждения золота из раствора хлорида золота предусматривает кипячение раствора в присутствие сульфита натрия:



Утилизация растворов после осаждения золота, представляющих собой смесь хлоридно-сульфатных солей натрия, осуществляется путем выпаривания до влажных солей, а конденсат используется в обороте для промывки порошков металлов и солей. Таким образом, показано, что по разработанной гидрометаллургической схеме можно получать черновой порошок золота, хлорид серебра, кремнеземистый промпродукт и нитратные, хлоридные и сульфатные соли натрия. Способ исключает выделение токсичных веществ и потери ценных элементов с отходами и промпродуктами технологии.

Четвертая глава диссертации **“Разработка технологии глубокой переработки пиритного концентрата”** посвящена технологическим исследованиям по оптимизации технологической схемы способа, разработке аппаратурной схемы и предварительной оценке экономической эффективности технологии (рис.4). Технологические исследования,

позволяют сделать вывод: комплексность использования пиритных концентратов в разработанной технологии близка к 100% за счет получения промпродуктов серы, железа, цветных и благородных металлов и высококачественного силикатного промпродукта, а также оборота растворов и их использования в химической промышленности после насыщения солями натрия и аммония.

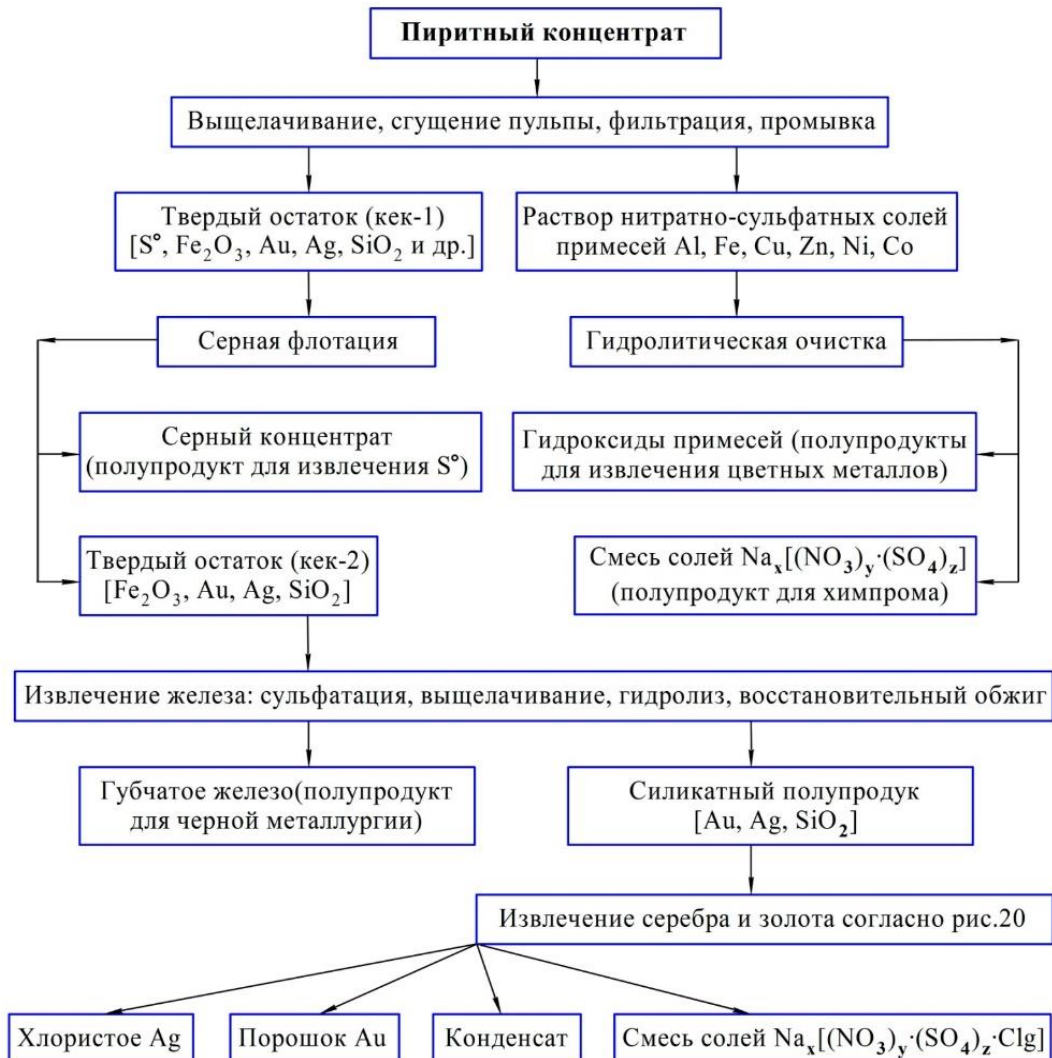


Рис 4. Принципиальная технологическая схема переработки пиритных концентратов

На основании результатов, выполненных лабораторных и укрупнённых испытаний технологических операций схемы (рис.4) разработана технологическая карта, которая отражает операционные режимы и показатели технологии в условиях материального и элементного балансов и отсутствия вредных выбросов в окружающую среду.

Основу аппаратного оформления гидрометаллургической технологии составляет блок типа «система реактор –разделитель фаз».

Дополнительно схема комплектуется репульпаторами для приготовления пульпы, расходными и промежуточными сборниками растворов, мерными ёмкостями, химическими насосами и пр.

В данном оформлении в качестве реактора используется герметичный аппарат – автоклав, а фазоразделительная система, в зависимости от физического состояния пульпы или суспензии, комплектуется отстойниками и аппаратами типа нутч-фильтр и фильтр-пресс.

Оценка экономической эффективности разработанной технологии. Сравнительный анализ проведенных ТЭП позволяет сделать главный вывод: разработанный способ может представлять интерес для Узбекистана, где развита азотная промышленность, имеется значительная сырьевая база и появляется возможность решения таких задач, как исключение загрязнения окружающей среды, получения элементарной серы, железа и благородных металлов, что делает проект рентабельным (табл.8).

Таблица 8

Основные ТЭП разработанной технологии

Показатели	Ед.изм.	Кол-во
1.Годовой объём по переработке сырья	тыс.т	100,0
2.Годовой выпуск продукции:		
1.1. Серный концентрат	тыс. т	22, 88
1.2. Железо металлизированное	тыс. т	20, 48
1.3. Серебро хлористое	т	1640
1.4. Золото, порошок	кг	492
ВСЕГО	тыс.т	45, 0
3.Общая сумма кап.вложений	тыс. \$	6254,0
4.Годовые эксплуатационные затраты	тыс. \$	21643,52
5.Удельные капитальные вложения на 1 т пиритного концентрата	\$	62,54
7.Стоимость суммы основной , без учета побочной, продукции	тыс. \$	27 680,0
8.Прибыль (п.7-п.4)	тыс. \$	6 036,48
9.Рентабельность (п.8/п.4)	%	27,89
10.Срок окупаемости кап.вложений (п.3/п.8)	лет	1,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлены закономерности кислотного автоклавного выщелачивания пиритного сырья, определены термодинамические и кинетические параметры процесса вскрытия пиритного концентрата азотной кислотой при повышенных температурах и давлениях и разработана на этой основе технология его глубокой переработки.

2. Выполнен теоретический анализ высокотемпературных диаграмм «потенциал (φ)-рН» для системы Fe-S-N-O-H при различной кислотности и определены значения φ, отвечающие максимальному выходу при температурах: 298К φ=0÷0.4В; 383К φ= -0,1÷0.4В и 433К φ= -0,15÷0.4В.

3. Разработан способ регулирования режима «ОВП – рН», обеспечивающий селективное разделение ценных компонентов сырья, минуя выделение сернистых газов, при котором примеси цветных металлов концентрируются в продуктивных растворах, а железо, сера и благородные металлы - в твердом остатке.

4. Установлен электрохимический механизм окисления сульфидного сырья азотной кислотой согласно которому осуществляются реакции катодного восстановления водорода или азота с разложением кислоты на NO , NO_2 и O^{-2} с последующей анодной реакцией окисления сульфидов с образованием S^0 и др. продуктов.

5. Исследована кинетика выщелачивания сульфидного сырья железа азотной кислотой и показано, что изучаемый процесс лимитируется диффузионным режимом, причем, начальная его стадия определяется внешне-диффузионными факторами, а с развитием процесса во времени – внутри-диффузионными

6. Определены оптимальные технологические факторы для достижения полного вскрытия сырья, на основании которых составлена технологическая карта гидрохимической переработки пиритного сырья и количественной оценкой оптимальных значений факторов и показателей предлагаемого способа в условиях материального и элементного балансов отдельно взятых операций технологии и проведены испытания в укрупнённо-лабораторном масштабе в автоклаве с рабочим объёмом 18дм^3 , которое подтвердило эффективность способа, удовлетворяющего требованиям охраны окружающей среды и глубокой переработки сырья; разработана технологическая карта технологии переработки пиритного концентрата.

7. Проведена технико-экономическая оценка разработанной технологии переработки 100 тыс.т/год пиритного концентрата на основании предварительных ориентировочных технико-экономических расчетов (ТЭР), выполненных по результатам укрупненных испытаний процесса выщелачивания этого сырья, срок окупаемости которой составляет 1,5 года.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSC.02/30.12.2019.K/T.35.01 ON THE
AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF
GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY AND TASHKENT
CHEMICAL-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

TASHKENT CHEMICAL-TECHNOLOGICAL INSTITUTE

OLIMOV TOLMAS FARKHODOVICH

**REGULARITIES AND DEVELOPMENT OF AUTOCLAVE LEACHING
OF PYRITE CONCENTRATE PRODUCED BY AMMIC**

02.00.13-Technology of inorganic substances and materials based on them

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

TASHKENT-2020

The title of the doctoral dissertation (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with registration numbers of B2018.2.PhD/K58

The dissertation has been carried out at the Tashkent Chemical-Technological Institute.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available on the website at www.ionx.uz and on the website of «ZiyoNET» information-educational portal www.ziynet.uz

Scientific advisor: **Sharipov Khasan Turabovich**
Doctor of Chemical Sciences, professor

Official opponents: **Guro Vitaly Pavlovich**
Doctor of Chemical Sciences, professor

Nurmurodov Tulkin Isamurodovich
Doctor of Technical Sciences, professor

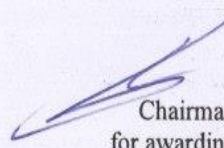
Leading organization: National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek

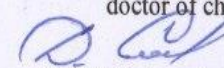
The defense of the dissertation will take place on «04» december 2020 at «14»⁰⁹ at the meeting of the Scientific Council DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 at the Institute of general and inorganic chemistry (Address: 100170, Tashkent, st. Mirzo Ulugbek, 77-a. Tel: (+99871) 262-56-60. Fax: 998(71)262-79-90, e-mail: ionxanuz@mail.ru).

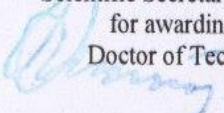
The dissertation has been registered at the Information Resource Centre of the Institute of general and inorganic chemistry under № _____. (Address: 100170, Tashkent, st. Mirzo Ulugbek, 77-a. Tel: (99871)262-56-60.

The abstract of the dissertation has been distributed on «20» november in 2020 year. Protocol at the register № 20 dated «20» november 2020 year




B.S. Zakirov
Chairman of the Scientific Council
for awarding of the scientific degrees,
doctor of chemical sciences, professor


D.S. Salikhanova
Scientific Secretary of the Scientific Council
for awarding of the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, professor


S.A. Abduraximov
Chairman of the Scientific Seminar under Scientific
Council for awarding of the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of research work to establish the regularity and development of autoclave leaching of pyrite concentrate, to determine the optimal modes of deep processing of pyrite concentrates with selective extraction of elemental sulfur, iron and precious metals in compliance with the optimal material and element balance of technological operations of the processing scheme.

The object of the research pyrite concentrate of copper production "Almalyk mining and metallurgical industrial complex" corp. of Uzbekistan is a technogenic raw material, which is a persistent type of polymetallic raw material, the main valuable components of which are iron and sulfur, as well as precious and non-ferrous metals (Au, Ag, Cu, Ni, Co, Zn) as impurity elements.

The scientific novelty of the consists in the following:

regularities of acidic autoclave leaching of pyrite raw materials are established, thermodynamic and kinetic parameters of the process of opening pyrite concentrate with nitric acid at elevated temperatures and pressures are determined;

it is shown that in the "Fe-S-N-H₂O" system, depending on the acidity (pH) and redox potential (RP), it is possible to regulate the "RP – pH" mode, which provides selective separation of valuable raw materials components;

the optimal technological factors to achieve a complete opening of the raw material on the basis of which is composed of a routing hydrochemical processing pyrite raw materials and quantitative estimation of optimal values of factors and indicators of the proposed method in terms of material and elemental balances of individual operations technology.

Implementation of research results. Based on the results of a scientific investigation by establish the regularities of autoclave leaching of pyrite concentrate in copper production, the following was introduced: technology of autoclave leaching of pyrite concentrate with nitric acid (certificate of JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Combine" dated September 17, 2020 No. 63-326), as a result of which it possible to divide elemental sulfur into 83-85% into a solid residue and up to 15% - into sulfate solution;

hydrochemical processing of silicate semi-product of autoclave leaching of pyrite concentrate containing Au, Ag, SiO₂, with the receipt of "rough" gold powder and silver chloride, has been introduced in JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Plant" (reference of JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Plant" dated September 17, 2020 No. 63-326). As a result, it became possible to separate valuable components from raw materials using this technology.

The structure and volume of the thesis. The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion and bibliography. The volume of the thesis is 127 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАРИ РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part 1)

1. Olimov T.F., Allabergenov R.D., Sharipov Kh.T. Analysis of the autoclaval leaching opportunity of pyrite concentrates // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India). -2020. -Vol. 7. -Issue 7, -P. 14308-14312. (05.00.00, №8)

2. Olimov T.F., Allabergenov R.D., Sharipov Kh.T. Regularities of Oxidative Autoclave Leaching of Pyrite Concentrates// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India). -2020. -Vol. 7. -Issue 7. -P.14349-14355. (05.00.00, №8)

3. Камолов Т.О., Рысбаков А., Акылбаев М., Ф.С.Ахмедова, Олимов Т.Ф., Бозоров А.Н. Проблемы комплексной переработки золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭС // Композиционные материалы. -2019. -№4. -С.33-36. (02.00.00. №14).

4. Камолов Т.О., Туресебеков А.Х., Негматов С.С., Наврузов Ф.М., Абдуллаев О.Х., Бозоров А.Н., Олимов Т.Н. Получение концентрата железа из отвальных шлаков медеплавильного завода Алмалыкского ГМК //Композиционные материалы. – 2019. -№4. - С.67-70. (02.00.00. №14).

5. Аллабергенев Р.Д, Олимов Т.Ф. Камолов Т.О., Шарипов Х.Т. Концепция глубокой переработки пиритных концентратов Алмалыкского ГМК //Композиционные материалы. – 2019. -№4. - С. -121-123. (02.00.00. №14).

6. Аллабергенев Р.Д., Ахмедов Р.К., Туресебеков А.Х., Шарипов Х.Т., Олимов Т.Ф. Технология комплексной переработки клинкера цинкового завода //Композиционные материалы. – 2020. -№1. -С.67-70. (02.00.00. №14).

II бўлим (II часть; part II)

7. Туресебеков А. Х., Баранова Т. Н, Шарипов Х.Т., Камолов Т.О. Олимов Т.Ф. Химизм пиритов эндогенных и техногенных месторождений потенциальных источников железа, благородных и редких элементов. Самарканд-2012.

8. Шарипов Х.Т., Туймонов Э.З, Туресебеков А.Х., Олимов Т.О. Уровень организации вещества руд высококомплексных золотоносных медно-молибденовых месторождений Алмалыкского рудного района // Сборник трудов научно-технической конференции «Актуальные проблемы инновационных технологий химической, нефтегазовой и пищевой промышленности». Ташкент, 22 ноября 2012 г. -С.288.

9. Туресебеков А.Х., Камолов Т.О., Абдукаримов М.М., Хасанов А.С., Шарипов Х.Т., Олимов Т.Ф. Минералогические характеристики железосодержащей руды рудопроявления Кампиртепа // O'zbekistonda geologiya fanlari: Muammolar, rivojlanishi, va innovatsion yo'nalishlari. Toshkent Davlat Texnika Universiteti. Respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari. Toshkent 2013 y.

10. Туресебеков А.Х., Шарипов Х.Т., Олимов Т.Ф. Технологическая минералогия в организации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья // Сб. Статьей докладов ВИИИ межд. конф. Российской минералогии, Петрозаводск, Россия. 2014., С/-202-205.

11. Шарипов Х.Т., Олимов Т.Ф., Туресебеков А.Х. Нетрадиционный сырьевой источник железа для черной металлургии Узбекистана // Сб. статей IV Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы аналитической химии» 2014 г., часть-1 г. Термез, стр. 212-214,

12. Ахтамов Ф.Э., Абдурахмонов С.А., Камолов Т.О., Алимов Ф.Х., Олимов Т.Ф. Исследование процесса извлечения меди, цинка и железа из растворов // Сб. статей IV Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы аналитической химии» 2014 г., часть-2, г. Термез. -С.163

13. Абдуллаева Д.Н., Камолов Т.О., Шарипов Х.Т., Артыков А.А., Юнусов Б.И., Олимов Т.Ф. Исследование возможности разделения макрокомпонентов ЗШО по разнице удельных весов // Республиканской научно-технической конференции «Современные технологии получения и переработки композиционных и нанокпозиционных материалов» 25-26 мая 2017 г. Ташкент. –С. .211-212.

14. Шарипов Х.Т., Камолов Т.О., Рысбаков А., Олимов Т.Ф. Исследование ЗШО –отходов ТЭС Южного Казахстана Материалы XXV-международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработка руд и техногенного сырья», Екатеринбург-2020 г. –С. 152-155.

Автореферат “Kimyo va kimyo texnologiyasi” таҳририятида таҳрир қилинди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 182.

Гувоҳнома № 10-3719
“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.