

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.17/30.12.2019.Т.06.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

ФУЗАЙЛОВ ОМОН УБАЙДУЛЛОЕВИЧ

**МИКРОТЎЛҚИНЛИ ЭНЕРГИЯНИ ҚЎЛЛАГАН ХОЛДА МУРАККАБ
ОЛТИН ТАРКИБЛИ ХОМАШЁНИ ҚАЙТА ИШЛАШНИНГ
САМАРАЛИ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ БЎЙИЧА
ТАДҚИҚОТЛАР**

04.00.14 – Фойдали қазилмаларни бойитиш

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Навоий – 2020

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Фузайлов Омон Убайдуллоевич

Микротўлқинли энергияни қўллаган ҳолда мураккаб олтин таркибли хомашёни қайта ишлашнинг самарали технологиясини яратиш бўйича тадқиқотлар..... 3

Фузайлов Омон Убайдуллоевич

Исследования по разработке эффективной технологии переработки упорного золотосодержащего сырья с применением микроволновой энергии..... 21

Fuzaylov Omon Ubaydulloevich

Research on the development of an efficient technology for processing refractory gold-bearing raw materials using microwave energy 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 42

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/30.12.2019.Т.06.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

ФУЗАЙЛОВ ОМОН УБАЙДУЛЛОЕВИЧ

**МИКРОТЎЛҚИНЛИ ЭНЕРГИЯНИ ҚЎЛЛАГАН ҲОЛДА МУРАККАБ
ОЛТИН ТАРКИБЛИ ХОМАШЁНИ ҚАЙТА ИШЛАШНИНГ
САМАРАЛИ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ БЎЙИЧА
ТАДҚИҚОТЛАР**

04.00.14 – Фойдали қазилмаларни бойитиш

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (phd) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/Т990 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Навоий давлат кончилик институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.ndki.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Санакулов Кувандик Санакулович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Мухиддинов Баходир Фахридинович**
кимё фанлари доктори, профессор

Худояров Сулейман Рашидович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот: **Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети**

Диссертация ҳимояси Навоий давлат кончилик институти ҳузуридаги DSc.17/30.12.2019.Т.06.01 рақамли илмий кенгашнинг 2020 йил 10 декабр соат 8⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шоҳ кўчаси, 127-уй. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com).

Диссертация билан Навоий давлат кончилик институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (61 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шоҳ кўчаси, 127-уй, Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66.

Диссертация автореферати 2020 йил 27 ноябр куни тарқатилди.
(2020 йил 27 ноябрдаги 22 рақамли реестр баённомаси)




Б.Р. Раимжанов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси в.в.б, т.ф.д., профессор


Ш.Ш. Заиров
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор


И.Т. Мислибоев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон амалиётида осон қайта ишланадиган рудалар мавжуд бўлган конлар захираларининг камайиши, мураккаб олтин таркибли рудалар тез суратлар билан қайта ишлашнинг кўпайишига олиб келди. Олтиннинг умумий ажратиб олишни ошириш ва хомашёдан комплекс фойдаланиш ишлаб чиқариш саноатининг асосий муаммоси бўлиб ҳисобланади. Шу билан бирга, ноанъанавий қайта ишлаш усулларидан фойдаланган ҳолда, олтиннинг ажралиш даражасини ошириш ва хом ашёдан комплекс фойдаланиш имконини берадиган, юқори самарадор технологияларни яратиш ва жорий этиш алоҳида аҳамият касб этади.

Бугунги кунда дунёда мураккаб олтин таркибли рудалар ва контцентратларни қайта ишлашга алоҳида эътибор берилмоқда. Маҳсулот таннархини пасайтириш учун асосий металлнинг умумий ажратиб олиш даражасини ошириш ва қайта ишлаш харажатларини камайтириш мақсадида янги усуллар ва технологик ечимлар ишлаб чиқилмоқда. Шунингдек, хом ашёлардан комплекс фойдаланиш ва қўшимча маҳсулотлар олишга ҳам алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу нуқтаи назардан, хом ашёлардан комплекс фойдаланган ҳолда қимматбаҳо компонентларни ажратиб олишни ошириш учун самарали технологияларни ишлаб чиқиш ва мавжуд қайта ишлаш схемаларини такомиллаштириш кон-металлургия саноати илм-фан ва амалиётининг долзарб вазифасидир.

Республикамизда кон-металлургия саноати, мамлакатнинг иқтисодий ривожланишининг муҳим соҳаларидан бири бўлиб, уни қимматбаҳо компонентларни ажратиб олиш учун минерал хом ашёни, хусусан полиметалл рудаларини қайта ишлашнинг такомиллаштирилган ва янги технологияларини ишлаб чиқмасдан ва амалга оширмасдан тасаввур қилиб бўлмайди. Мураккаб олтин таркибли хомашёни қайта ишлашнинг самарали технологиясини яратиш бўйича илғор илмий асосланган чора-тадбирларни жорий қилиб, бир қатор илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг қарорида «саноатни сифат жиҳатидан янги даражага кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини чуқур қайта ишлаш, тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулотлар ва технологияларни ўзлаштириш»¹ муҳим вазифалар белгиланган. Ушбу вазифалардан келиб чиққан ҳолда мураккаб олтин таркибли рудалар ва контцентратлардан ажратиб олиш даражаси юқори бўлган қимматбаҳо компонентларни комплекс равишда ажратиб олишнинг янги технологияларини такомиллаштириш ва ривожлантиришга қаратилган илмий тадқиқотлар катта илмий ва амалий аҳамият касб этади.

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони // Ўзбекистон Республикаси норматив ҳужжатлар тўплами. – Т., 2017. – 103 б.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 24 июлдаги ПФ-3145-сон «Фойдали қазилмалар конларини саноат йўли билан ўзлаштириш соҳасидаги лойиҳа-қидирув ва илмий тадқиқот ишлари бошқарувини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Фармонида, 2019 йил 17 январдаги ПҚ-4124-сон «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорида ҳамда 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» Фармони ҳамда мазкур соҳага тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика илм-фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги. Мазкур тадқиқот иши республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг VII. «Ер тўғрисидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология ва минерал хомашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси., Адамов Э.В., Плаксин И.Н., Чантурия В.А., Абрамов А.А., Годэн А.М., Лодейщиков В.В., Меретуков М.А, Санакулов К.С., Юсупходжаев А.А., Якубов М.М., Хасанов А.С., Шарипов Х.Т., Хасбулатов В.Ш., Саттаров Г.С., Эргашев У.А., Нақе К.Е., Afenya P.M., Brierly C.L., Emmet R.C.Ir., Marsden J. ва бошқалар каби жаҳон ва маҳаллий олимлар руда хомашёсидан шунингдек саноат чиқиндилврдан қимматбаҳо, рангли, ноёб ва ноёб ер металлларини ишлаб чиқаришни ривожлантириш соҳасига катта ҳисса қўшдилар.

Мавжуд ишларни таҳлил қилиш асосида шуни таъкидлаш керакки, таркибида олтин бўлган маъданларнинг мураккаблиги физикавий ва кимёвий турларга бўлинади. Физик мураккабликда олтин кварц ва бошқа сульфидли минераллар матричасида жойлашган бўлиб, натижада эритувчи олтин билан реакцион юзасига кира олмайди. Кимёвий мураккабликда эса, сульфид минералларидан ташқари, руда таркибида эриган олтинни ютадиган углеродли моддалар ва олтинни эритиш учун мўлжалланган циянид билан реакцияга киришишга қодир табиий аралашмалар мавжуд бўлиши мумкин. Одатда бу рудалар сульфид матритсасини парчалаш ва танлаб эритишдан олдин моддаларнинг репрессив таъсирини пассивлаштириш учун дастлабки ишлов беришни талаб қилади. Шу пайтгача рудани дастлабки қайта ишлаш бўйича комплекс тадқиқотлар ўтказилган. Бу ишлов бериш усуллари куйдириш, хлорлаш, автоклавда қайта ишлаш, биооксидлаш ва бошқаларни ўз ичига олади Шу билан бирга, олтиннинг маггемит ва магнетит шаклида темир билан бирикма ҳосил қилиши сабабли куйдиришдан фойдаланганда мураккаб таркибли рудалар ва концентратларни қайта ишлашда олтиннинг эрувчанлигининг пастлиги билан боғлиқ муаммолар мавжуд; бундан ташқари концентратдаги арсенопирит микдори юқори бўлганлиги сабабли куйдириш жараёнидан фойдаланиш имкони ҳам чекланиши мумкин. Бактериал оксидланиш жараёнида сульфидли олтин сиртининг тўлиқ бўлмаган

очилиши кузатилади. Автоклав оксидланиш жараёни катта ишлаб чиқариш ҳажмида паст унимдорликка ва мураккабликка эга; реактивлар ва ресурсларга сарфланадиган юқори харажатлар хлорлаш жараёнига хосдир. Сульфидли олтин юзасини очиш учун микротўлқинли нурланиш ёрдамида мураккаб таркибли олтин концентратларни қайта ишлаш муаммолари этарлича ўрганилмаган.

Ушбу диссертация иши мураккаб олтин таркибли концентратларда сульфидли минералларни структурасини бузиш учун микротўлқинли печларда (МТ) куйдириш технологиясини тадқиқ этиш ва ривожлантириш ва кейинчалик микротўлқинли куйдириш куйиндисини сульфат кислотада қайта ишлаш ва олтиннинг умумий ажратиб олишдаражасини оширишга бағишланган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилиқ институти илмий-тадқиқот режасининг №1-2013-сон «ГМЗ-3 чиқинди хўжалигида ҳар хил формали олтинни ҳажмий тақсимланишини тадқиқ қилиш» (2014-2015 йй.) ва 2-09/2020ПЗ-сон «Замонавий физик-кимёвий усуллар (ДТА, ИҚС, РА, ЭСМ) ёрдамида КЕМИКС қолдиқлари ва ГМЗ-3 олтин таркибли маҳсулотларини куйдириш жараёнидаги таркибий ва структура тузилишидаги ўзгаришларни тадқиқ қилиш» (2020 й.) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади олтинни умумий ажратиб олиш даражасини ошириш учун микротўлқинли энергиядан фойдаланган ҳолда, мураккаб олтин таркибли хом ашёни қайта ишлашнинг самарали технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

олтин таркибли концентратларнинг минералогик таркибини ўрганиш ва кейинчалик сорбцион цианлаш билан асосий металлни селектив ажратиб олиш учун олтиннинг реакцион сирт юзасини очишга мувофиқ усулларини аниқлаш;

комплекс термик усуллардан фойдаланган ҳолда флотоконцентратнинг термик хусусиятларини тадқиқ қилиш: термогравиметрия, дифференциал сканерловчи калориметрия, дифференциал термогравиметрия(ТГ, ДТГ,ДСК).

ҳарорат режими таъсирини ўрганиш ва оптимал параметрларни танлаш орқали концентратларни микротўлқинли куйдириш жараёнини тадқиқ қилиш;

олтинни ажратиб олиш даражасига микротўлқинли автоклавли қайта ишлаш жараёнининг таъсирини тадқиқ қилиш;

МТ куйдириш куйиндисини магнитли саралаш ва олтинни умумий ажратиб олиш даражасини ошириш учун магнитли фракцияни сульфат кислота билан қайта ишлашни тадқиқ қилиш ва қимматбаҳо компонентнинг ажралиш даражасини оширишга таъсир этувчи факторларни таҳлил қилиш, шунингдек концентратларни МТ қайта ишлаш, куйиндини магнитли саралаш

ва магнитли фракцияни сульфат кислота билан қайта ишлашни ўз ичига олувчи схемани яратиш;

мураккаб олтин таркибли концентратлардан олтинни ҳамда темир асосли пигмент ва анорганик ўғит – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ни йўлдош компонент ҳолида олишнинг комплекс технологик схемасини яратиш;

Тадқиқотнинг объекти сифатида «Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг мураккаб олтин таркибли концентратлари белгиланган.

Тадқиқотнинг предмети – олтинни ажратиб олиш даражасини ошириш имконини берадиган, микротўлқинли энергиядан фойдаланган ҳолда, мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлаш технологияси ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишини олиб боришда замонавий комплекс тадқиқот усуллари, жумладан рентгено-флуоресцентли, атомно-абсорбцион, ИК-спектрометрик, рентген фазалари тадқиқ усуллари, материалнинг иссиқлик хусусиятларини ўрганиш учун лаборатория тажрибалари, тажриба синовлари, шунингдек термогравиметрик таҳлил усули кенг қўлланилди; электрон микроскопия, рентген структуравий таҳлил, кимёвий ва фазали таҳлил усуллари ва лаборатория синовлари натижаларини қайта ишлашнинг математик усуллари фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

флотоконцентратни куйдиришда иссиқлик эффекти ҳисобланган, натижада куйдириш жараёни иссиқлик энергияси ажралиши билан бориши аниқланган;

мураккаб олтин таркибли концентратларни микротўлқинли куйдиришнинг оптимал параметрлари аниқланган;

янги технологик схема ва мураккаб олтин таркибли концентратларни микротўлқинли-автоклавли куйдиришни қўллаш орқали қайта ишлашнинг оптимал режими яратилган;

куйиндида маггемитнинг сезиларли миқдори мавжудлиги аниқланган ва маггемитга олтиннинг маълум миқдори боғланган ҳамда МТ куйиндисини сорбцион цианлашдан сўнг магнитли саралаш орқали эримай қолган олтиннинг асосий қисми маггемитда капсуляцияланиши аниқланган;

МТ куйдириш куйиндисини магнитли саралаш ва олтинни умумий ажратиб олиш даражасини ошириш учун магнитли фракцияни сульфат кислота билан қайта ишлаш жараёнини аниқлаш орқали концентратга МТ куйдириш ва куйиндини магнитли саралаш ва магнитли фракцияни сульфат кислота билан қайта ишлашни ўз ичига олувчи схема ва унинг оптимал параметрлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари куйидагилардан иборат:

куйдириш жараёнини автоген бориши учун иссиқлик эффектини ўз ичига олувчи флотоконцентратнинг термик хусусиятлари аниқланган;

сульфидли минералларни тўлиқ оксидлаш учун мураккаб олтин таркибли концентратларни микротўлқинли куйдиришнинг оптимал параметрлари яратилган;

олтинни умумий ажратиб олишни 4,8% га оширадиган ва кўшимча равишда темироксидли пигмент ва ноорганик ўғит – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ни олиш учун микротўлқинли куйдириш ва магнитли саралашни қўллаш орқали мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлаш технологияси ишлаб чиқилган;

мураккаб олтин таркибли концентратларни микротўлқинли куйдириш-автоклавланган усули билан қайта ишлашнинг янги технологияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги кенг миқёсда ўтказилган лаборатория ва ярим-саноат тажрибалари қимматбаҳо компонентларни ажратиб олиш даражасини оширишда ишнинг асосий мазмунининг қониқарли мос келадиган ва миқдор жиҳатдан ўз тасдиғини топгани, микротўлқинли куйдириш ва МТ куйиндисини магнитли саралашни қўллаш натижасида олтиннинг эриш даражаси ва асосий метални умумий ажратиб олиш даражасини оширишда ўз тасдиғини топадиган сезиларли ижобий натижалар, шунингдек ижобий лаборатория ва кенгайтирилган лаборатория синовларининг актлари билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти мураккаб олтин таркибли концентратлардан олтинни ажратиб олиш даражасини оширишга таъсир этувчи омилларни аниқлаш, концентратларни микротўлқинли куйдириш жараёнини мақсадга мувофиқлигини назарий асослаш, микротўлқинли куйдириш куйиндиларига магнитли саралаш жараёнини қўллаш, магнитли фракцияга сульфат кислота ёрдамида ишлов бериш, кейинги сорбцион цианлашда олтинни эритмага ўтиш даражасини ошириш ва олтиннинг умумий ажратиб олиш даражаси ошириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган янги технологик схема натижасида мураккаб олтин таркибли концентратлардан қимматбаҳо компонентларни ажратиб олиш даражасини оширишга билан боғлиқ бўлиб бу минерал хом-ашёлардан комплекс фойдаланиш ва асосий металлни умумий ажратиб олиш даражасини юқорилиги билан тавсифланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Мураккаб олтин таркибли концентратларни микротўлқинли куйдириш технологиясини яратиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

яратилган микротўлқинли куйдириб автоклалда ишлов бериш орқали мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг янги технологияси «Навой кон-металлургия комбинати» ДКда амалиётга жорий этилган («Навой кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2020 йил 16 октябрдаги 02-06-07/10876-сон маълумотномаси). Натижада, яратилган технологияни қўллаш олтин юзасини очилиши ва асосий металлни умумий ажратиб олиш даражасини 4% гача ошириш имконини берган;

мураккаб таркибли концентратларни микротўлқинли куйдириш ва магнитли саралаш кейинчалик сульфат кислотали қайта ишлаш технологияси

«Навоий кон-металлургия комбинати» ДКда амалиётга жорий этилган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2020 йил 16 октябрдаги 02-06-07/10876-сон маълумотномаси). Натижада, олтиннинг умумий ажратиби олиш даражасини 4,8%га ошириш ва қўшимча равишда темироксидли пигмент ва анорганик ўғит – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ олиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқотларнинг натижалари 4 та республика ва 2 та халқаро илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 10 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 4 та, жумладан Республика нашрларида 3 та ва хорижий журналларда 1 та мақола нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги асосланган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси баён этилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазибалари, объекти ва предмети аниқланган, тадқиқот ишининг фан ва технологияларни ривожлантиришнинг муҳим йўналишларига мослиги кўрсатилган ҳамда тадқиқотнинг илмий янгилиги, натижаларнинг ишончлилиги, назарий ва амалий аҳамияти, натижаларнинг амалиётга жорий этилиши, эълон қилинганлиги, ишнинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

«Мураккаб олтин таркибли концентратларнинг ҳозирги аҳволи ва уларни қайта ишлаш учун микротўлқинли энергиядан фойдаланиш» деб номланган биринчи бобда мураккаб олтин таркибли флотоконцентратларни қайта ишлаш бўйича комплекс ёндашув ва уларни қайта ишлаш учун микротўлқинли энергиядан фойдаланиш тадқиқ қилинган.

Мураккаб таркибли руда ва концентратларни қайта ишлаш бўйича бойитиш фабрикаларининг мамлакатимиз ва хориж амалиёти таҳлили шуни кўрсатадики, сульфидлар матрицасини емириш, танлаб эритишдан олдин уларни оксидлаш ва углеродли моддани пассивлаштириш мақсадида дастлабки қайта ишлаш усуллари билан ишлов берилади. Дастлабки ишлов бериш усуллари куйдириш, хлорлаш, автоклавли ишлов бериш ва биооксидлашни ўз ичига олади.

Мураккаб таркибли концентратларни қайта ишлашда оксидловчи куйдириш кенг тарқалган, қайсики у оғир-рангли ва нодир металл таркибли материалларга олдиндан ишлов бериш ҳамда сульфат кислота ишлаб чиқариш учун олтингугурт икки оксидини ҳосил қилиш билан темир сульфидларини оксидлаш учун кенг қўлланилади. Куйдириш реакцияси,

одатда, 450-820 °C ораликда, кўпроқ 550 °C яқин бўлади. Куйдириш усулидан ўнлаб йиллар мобайнида мураккаб таркибли рудалардан ва концентратлардан олтинни ажратиш олиш учун қўлланиб келинмоқда. Ўта мураккаб олтин таркибли рудалар учун бу дастлабки ишлов беришнинг эксклюзив жараёни ҳисобланади, ва мос равишда, уни ишлаб чиқиш бутун рудаларни оксидловчи куйдиришнинг янги технологияси билан яқунланиб, батафсил тақдим этилади.

Концентратларни автоклавли қайта ишлаш масалалари кўриб чиқилди, жараёнларнинг кўп сонли тадқиқотлари ўтказилган, уларда рудалардан ва иккиламчи материаллардан металлларни ажратиш олиш учун юқори ҳарорат ва босимда оксидловчи, нейтрал ёки тиклаш шароитларида танлаб эритмага ўтказишдан фойдаланилади.

Шунингдек, концентратларга ишлов беришнинг биотехнологик усуллари ўрганилди. Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатдики, бактериал танлаб эритишни қўллаш қуйидаги техник-иқтисодий афзалликларга эга: реагентларнинг оз сарфланиши; реакцияга киришишнинг юқорилиги ва бактериал эритмаларда қаттиқ моддалар чўктирилишининг (бактериясиз эритмаларга қараганда) юқори даражали тезлиги; ҳосил бўладиган элементар олтингугурт оксидланишининг тезланиши; хизмат кўрсатишнинг осонлиги; фойдаланиш ва асосий харажатларнинг пастлиги ва б.

Биооксидлаш жараёни қатор афзалликларга эга бўлса-да, айрим камчиликларини ҳам санаб ўтиш лозим: жараённинг узоқ давомийлиги ва сорбцияли-актив кўмирли модданинг кўп таркибили рудаларни қайта ишлашнинг самарасизлиги.

Шундай қилиб, мураккаб таркибли концентратларни қайта ишлашнинг ҳозирги аҳволи шуни кўрсатадики, мураккаб таркибли концентратлардан олтин ажратиш олиш фан ва техниканинг долзарб вазифаси бўлиб ҳисобланади.

«Тадқиқот объекти ва усуллари» деб номланган иккинчи бобда тадқиқот объекти ўрганилган, бу «Навий кон-металлургия комбинати» ДК 3-гидрометаллургик заводнинг ўта мураккаб олтин таркибли флотоконцентрати ҳисобланади, шунингдек, тадқиқотларни ўтказиш усуллари ва лаборатория тажрибаларини ўтказиш тавсифлари келтирилган.

Ушбу концентрат, шубҳасиз ўта мураккабдир. У цианлаш ва сорбциялашнинг стандарт жараёнлари ёрдамида олтин ажратиш олишга барқарордир. Концентрат таркибида сульфидли минераллар ва органик углерод мавжуд, бу уни ўта мураккаблигига сабаб бўлади. Сульфидли минераллар- бу реагентни ўтказмайдиган минераллардир, қайсики олтиннинг танлаб эритмага ўтказилишига қаршилик қилиб, олтин зарраларини инкапсуляциялайди. Концентратда мавжуд бўлган органик углерод эриган олтин-цианидли комплексларни деярли активлаштирилган кўмир каби адсорбциялаши мумкин.

$S_{\text{умум}}$, $S_{\text{орг}}$, $S_{\text{умум}}$, S_s , As ва темир микдори 1-жадвалда келтирилган.

Флотоконцентрат таркибидаги асосий элементларнинг миқдорий таҳлили

Намуналар номланиши	Миқдори, %					
	$C_{\text{умум}}$	$C_{\text{орг}}$	$S_{\text{умум}}$	S_s	As	Fe
Флотоконцентрат	2,2	1,5	18,5	16,2	1,01	20,2

Органик углерод (~1,5%), сульфидли олтингугурт миқдори (16,2%) ва сорбцияли цианлаш натижалари ($\mathcal{E}=29,3\%$) ушбу концентратнинг мураккаб таркиблигини тасдиқлайди. Рентген-структуралар таҳлил натижаларининг кўрсатишича, олтингугурт ва мышьяк, асосан, пирит ва арсенопирит кўринишида бўлиб ҳисобланади.

Намуналарнинг ярим миқдорий таҳлили шуни кўрсатдики (2-жадвал), кам миқдорда арсенопирит (3,41%), клинозоизит (4,47%), стибнит(0,75%), анкерит (4,43%), хлорит (4,97%) ва шайерит (2,9%) мавжуддир.

Минераллар миқдори бўйича ярим миқдорий рентгенофаза таҳлил натижалари

Минерал	Кварц	Пирит	Арсенопирит	Мусковит	Анортит	Клино-зоизит	Стиб-нит	Анке-рит	Хлорит	Шайерит
Миқдор,%	19,6	21,09	3,41	29,4	8,94	4,47	0,75	4,43	4,97	2,9

Тадқиқот ишларини олиб боришда намуналарнинг морфологик, элементли хусусиятлари ўзгариши асосий минерал ва элементларнинг юқорида кўрсатилган миқдорли концентрат билан бажарилган.

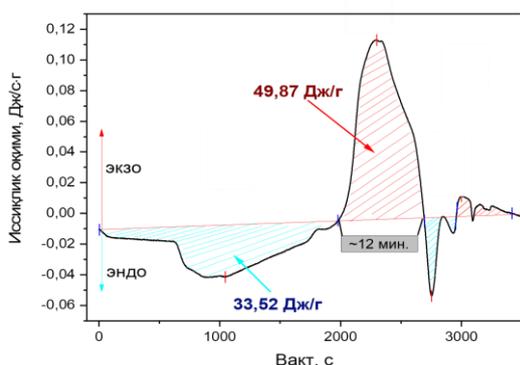
Флотоконцентрат хусусиятини ўрганиш учун таҳлилнинг пробирли, рентгено-флуоресцентли, атомно-абсорбцияли, ИК-спектрометрик, рентген-фаза таҳлиллари усуллари ўз ичига олган тадқиқотнинг комплекс усуллари қўлланилди, шунингдек, материалнинг термик хоссаларини таҳлил қилиш учун термогравиметрик усулдан фойдаланилди.

«Бойитилган технологик мураккаб таркибли руда маҳсулотларидан олтинни ажратиш олишга микроўлқинли ишлов бериш таъсирининг назарий асосларини тадқиқ қилиш» номли учинчи бобда мураккаб таркибли концентратлардан олтинни умумий ажратиш олиш даражасининг ошишига микроўлқинли ишлов бериш таъсири тадқиқ қилинган.

Майин тарқалган сульфидли мураккаб таркибли концентратдаги олтин юзасини очишнинг муҳим усулларида бири термик ишлов бериш ҳисобланади. Флотоконцентратнинг термик парчаланиш хусусиятларини аниқлаш учун ҳаво муҳитида дериватографик таҳлил ўтказилди ва дериватограмма олинди.

50°C дан 900°C гача ҳарорат чегарасида масса ўзгаришини аниқлаштириш учун рақамли далиллар кўринишида термик таҳлил натижалари олинди ва ҳарорат чегарасининг белгиланган қисмлари бўйича масса камайишининг жуда аниқ тавсифини олиш учун қўшимча ишлов берилди.

Худди шу мақсадда 1-расмда флотоконцентратнинг 1 г учун вақт бўйича



1-расм. Вақт функцияси бўйича флотоконцентратнинг ДСКси

иссиқлик оқимининг ўзгариши ўрганилган. Очик кўк ранг билан белгиланган соҳалар иссиқлик энергияси ютилиши билан боғлиқ жараёнлар энтальпиясини билдиради, бунда қизил ранг билан белгиланган соҳалар иссиқлик энергияси ажралиб чиқилиши билан боғлиқ жараёнлар энтальпиясини кўрсатади.

3-жавалда флотоконцентратга термик ишлов беришда иссиқлик эффектларини ҳисоблашнинг якуний

натижалари тақдим этилган.

Иссиқлик эффектлари натижалари шуни кўрсатдики, термик ишлов беришда ажралиб чиқадиган энергия миқдори ютилган энергиядан анча юқори бўлди.

Ушбу минераллардан олтинни самарали ажратиш олиш мақсадида сульфидларни ва углеродли моддаларни оксидлаш йўли билан олтин юзасини очиш учун 3-ГМЗ мураккаб олтин таркибли флотоконцентратга олдиндан микротўлқинли ишлов бериш қўлланилди.

Флотоконцентратга 30 дақиқа давомийлигида микротўлқинли ишлов беришда 70% яқин органик углерод йўқотилди, 45 дақиқа давомийлигида эса углероднинг йўқолиш даражаси 75,5% ташкил этди. Ишлов беришнинг 45 дақиқаси ичида ҳаммаси бўлиб 24% мишьяк йўқотилди, қолган қисми эса куйиндида қолади. Бу шундай изоҳланадики, арсенопиритдаги мишьяк пирротин ва сўнгра магнетит ҳосил қилиш билан 450-550°C ҳароратда атмосферада кислород танқислиги билан As_2O_3 учувчан оксидгача оксидланади, кислород мўл бўлганда эса учувчан бўлмаган As_2O_5 , ҳосил бўлишига олиб келади, қайсики у 315°C ҳароратда эрийди.

3-жадвал.

Флотоконцентратга термик ишлов беришнинг иссиқлик эффектларини ҳисоблаш натижалари

Флотоконцентратни қиздиришда иссиқлик ютилиши кўлами		Намунани қиздириш учун ютиладиган энергия	Флотоконцентратни қиздиришда иссиқлик ажралиши кўлами		Экзотермик реакциялар ҳисобидан ажралиб чиқадиган энергия
$T_{\text{бошл.}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{туғаш.}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{\text{эндо}}, \text{Дж/г}$	$T_{\text{бошл.}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{туғаш.}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{\text{экзо}}, \text{Дж/г}$
50	390	33,52	390	560	- 49,87

Лаборатория тадқиқотида аниқланишича, ишлов беришнинг 45 ва 60 дақиқа давомийлигида сульфидли олтингугурт оксидланиш фоизи мос равишда 95,6 ва 97,8 % ташкил этди.

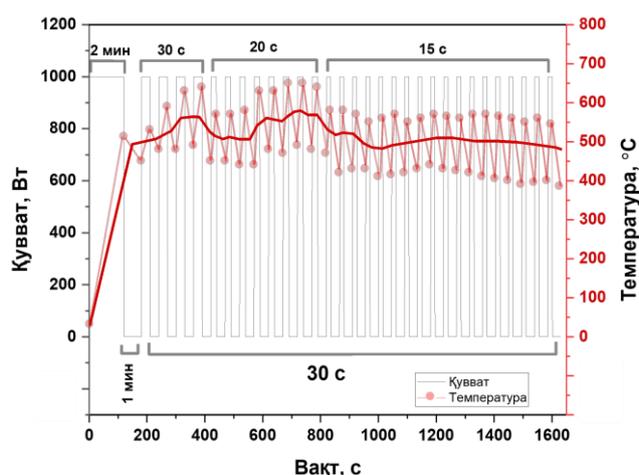
Олтин ажратиб олиш даражасини аниқлаш учун микротўлқинли печда ишлов берилган намуналар 3 г/л тенг бўлган NaCN концентрациясида ва 3 % кўмирни юклашда 24 соат давомида сорбцияли цианлаш билан қайта ишланади.

Натижалар шуни кўрсатдики флотоконцентратга олдиндан микротўлқинли ишлов бериш кейинги сорбцияли цианлашда олтин ажратиб олишнинг ошишига ёрдам берди. Концентратга 45 дақиқа давомида ишлов бериш олтин ажратиб олишни 29,8% дан 73,2% гача ошириш, ишлов бериш вақтининг кейинчалик 60 дақиқাগача ошишида ажратиб олишнинг қўшимча яна 1,3% ошиши имкониятини кўрсатилган.

Куйдириш жадаллигига қувватнинг таъсирини аниқлаш учун 1000 Вт микротўлқинли қувватда куйдириш ўтказилди. Юқори қувватнинг кўрсатишича, ишлов беришнинг 2 дақиқасида ҳарорат 510 °С гача кўтарилди ва бу 700 Вт. қувватга қараганда 2,5 марта тезроқ кечди. Аралаштириш вақтида, магнетрон ўчириб қўйилганда, ҳарорат 450 °С гача тушиб кетди. 700 Вт да ишлов беришдаги 30; 20 ва сўнгра 15 секунд даврий нурланишдан фарқли равишда, 30 секунд даврий аралаштиришнинг давомийлигида куйдириш ҳароратини сақлаб туриш етарли бўлди. 3-расмда 1000 Вт қувватда нурланишли ва аралаштиришли ишлов бериш вақтида намуна ҳароратининг ўзгариши берилган. 2-расмдан кўриниб турибдики, жараён бошланишида ишлов беришнинг икки дақиқаси ичида ҳарорат 510 °С гача кўтарилди, сўнгра даврий нурланишли ва аралаштиришли тартибда ҳарорат ўртача 540 °С гача ошиб борди. Ишлов беришнинг бешинчи дақиқасида ҳарорат ўсиб бориши тезлашиб, 650 °С га етганча ошиб борди, бу

экзотермик реакциялар билан боғлиқдир.

Ҳароратни 450 –550 °С ораликда сақлаб туриш учун даврий нурланиш вақти 20 секундгача қисқартирилди. Ҳарорат барқарорлашди, бироқ сўнгра яна 650 °С гача ошди, бу экзотермик реакциялардан ташқари, магнетит ҳосил бўлиши билан боғлиқдир, чунки магнетит МТ нурланишда жуда жадал иссиқлик чиқаришни намоён ыилади, у ҳароратнинг ўсиб бориши тезлиги ошишига ёрдам берди. Шу сабабли ишлов



2-расм. 1000 Вт қувватда ишлов бериш вақтида намуна ҳарорати ўзгариши

беришнинг 13-дақиқасида даврий нурланиш вақти 15 секундгача

қисқартирилди, бунинг натижасида ҳарорат барқарорлашди ва жараён охиригача 450-550 °С. чегараларда бўлди, бунда куйдиришнинг умумий вақти 27 дақиқани ташкил этди.

Ушбу куйиндининг кимёвий таҳлили натижалари шуни кўрсатдики, олтингургртнинг ва органик углероднинг йўқотилиш даражаси мос равишда 95,3% ва 74,6% бўлди. Сорбцияли цианлашда олтин ажратиб олиш даражаси 74,7% ташкил этди.

Микротўлқинли куйдириш конвекцион усулларга қараганда жиддий равишда жадалликни кўрсатди, худди ўшандай технологик кўрсаткичларда нурланиш қувватини 1000 Вт ошириш куйдириш вақтини 18 дақиқага қисқартириш имконини берди. Натижаларнинг кўрсатишича, етарлича аэрацияда куйдириш давомийлиги 9 дақиқадан кўра кўриши мумкин, бу жараён жадаллашиши бўйича юқори даражада самарали натижа ҳисобланади.

Шунингдек, флотоконцентратга куйдиришгача ва куйдиришдан сўнг микротўлқинли автоклави ишлов бериш тадқиқ қилинди. Натижада, олтин ажратиб олиш даражасининг жиддий яхшиланганлиги намоён бўлди. Микротўлқинли автоклави ишлов бериш бўйича тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, рН=2, 200 °С да 60 дақиқа давомида куйдирилган флотоконцентратга микротўлқинли автоклави ишлов берганда олтин ажратиб олиш даражасини қўшимча ~15% га ошириш мумкин.

Флотоконцентратни микротўлқинли куйдиришдан сўнг ўтказилган минералогик тадқиқотлар пирит ва арсенопиритнинг ғовак гематитга ва етарлича ғовак бўлмаган магнетитга тўлиқ айланишини кўрсатди.

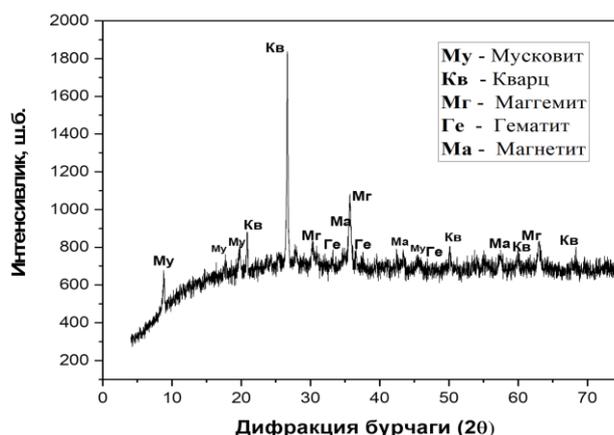
Намунанинг рентген тузилишли таҳлили натижалари магнетитнинг юқори миқдорини тасдиқлади. 3-расмда МВ ишлов берилган флотоконцентрат дифрактограммаси тақдим этилган. Бунда, МТ куйдиришдан сўнг темирнинг асосий оксидлари магнетит, магнетит ва гематит кўринишида намоён бўлиши кўрсатилган. 4-жадвалда рентген тузилишли таҳлилнинг ярим миқдорий натижалари берилган. Жадвалдан кўришиб турибдики, темир оксидлари ўртасида магнетит энг юқори миқдорга (12,6%) эгадир.

4-жадвал

МВ куйдирилган флотоконцентратнинг ярим миқдорий рентгенотузилишли таҳлили натижалари

Минерал номланиши	Мусковит	Кварц	Магнетит	Гематит	Магнетит	Анортит	Эпидот	Хлорит
Миқдори, %	34,2	26,5	12,6	3,57	4,36	12,2	3,66	2,5

Маггемит қийин ажратиб олинадиган олтиннинг асосий ташувчиси эканлигини исботлаш учун сорбцияли цианлашдан сўнг МТ куйиндининг магнитли сепарацияси ўтказилди. 5-жадвалда магнитли сепарация натижалари келтирилган. Кўрсатилишича, магнитли фракцияга олтин ажратиб олиш ~70% ташкил этади, қуйидаги микдорларда: Fe-50,9%; S_s-0,2%; C_{орг} -0,54%; As -0,46%.



3-расм. МВ ишлов берилган флотоконцентрат дифрактограммаси

Таҳлил натижаларидан кўриниб турибдики, олтин ва углерод ўртасида ёки олтин ва мишьяк ўртасида боғланиш мавжуд эмас, чунки олтиннинг катта қисми магнитли фракцияга ўтганда, бу элементларнинг асосий қисми номагнитли фракцияга ўтади.

5-жадвал

Сорбцияли цианлашдан сўнг МТ куйиндининг магнитли сепарацияси натижалари

№	Маҳсулот номланиши	Au(г/т)	ε, %	γ	Fe,%	S _s %	S _{общ} , %	C _{об} , %	C _{орг} , %	As,%
1.	Сорбциядан сўнг МВ куйинди	5,47	100	100	22,8	0,2	0,5	1,3	0,8	0,64
2.	Магнитли фракция	10,1	70,05	38,6	50,9	< 0,2	0,2	0,22	0,54	0,46
3.	Номагнитли фракция	2,6	29,95	61,4	4,9	0,2	0,37	1,66	1,3	0,72

Магнитли фракция дифрактограммаси кўрсатганидек (4-расм), асосий фазалар маггемит фазалари ҳисобланади, шунингдек, кварц, магнетит ва гематит фазаларининг кучсиз жадаллашув чўққилари мавжуд. 6-жадвалда ярим микдорий рентгенотузилмали таҳлил натижалари тақдим этилган. Жадвалдан кўриниб турибдики, магнитли фракцияда темир оксидлари микдори 4 мартага ошди, кварц микдори эса 11% камайди.

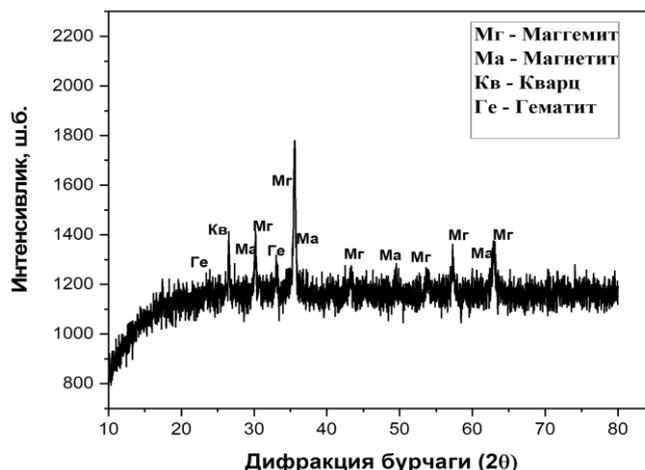
6-жадвал

МТ куйдирилган флотоконцентрат магнитли фракциясининг ярим микдорий рентгенотузилмали таҳлили натижалари

Минералнинг номланиши	Кварц	Маггемит	Гематит	Магнетит
Микдори, %	15,7	48,7	16,1	19,5

МВ куйиндининг магнитли сепарацияси сорбциягача магнитли фракциянинг 40% чиқишида олтиннинг магнитли фракцияга 80% ажратиб олинишини кўрсатди.

Темир оксидлари билан ассоциацияланган олтинни ажратиш мақсадида кекни кейинги сорбцияли цианлаш билан магнитли фракциядан темир оксидларини сульфат кислотали танлаб эритмага ўтказиш ўтказилди. 6,5 г/т олтин миқдори номагнитли фракция ҳам сорбцияли цианлашга юборилди



4-расм. МТ ишлов берилган

Натижалар шуни кўрсатдики, магнитли фракцияни сульфат кислотали танлаб эритишдан сўнг қолган кекни сорбцияли цианлашда, олтин ажратиб олиш даражаси ~96% ни ташкил этди. Номагнитли фракциядан олтин ажратиб олиш даражаси ~65% ни ташкил қилди.

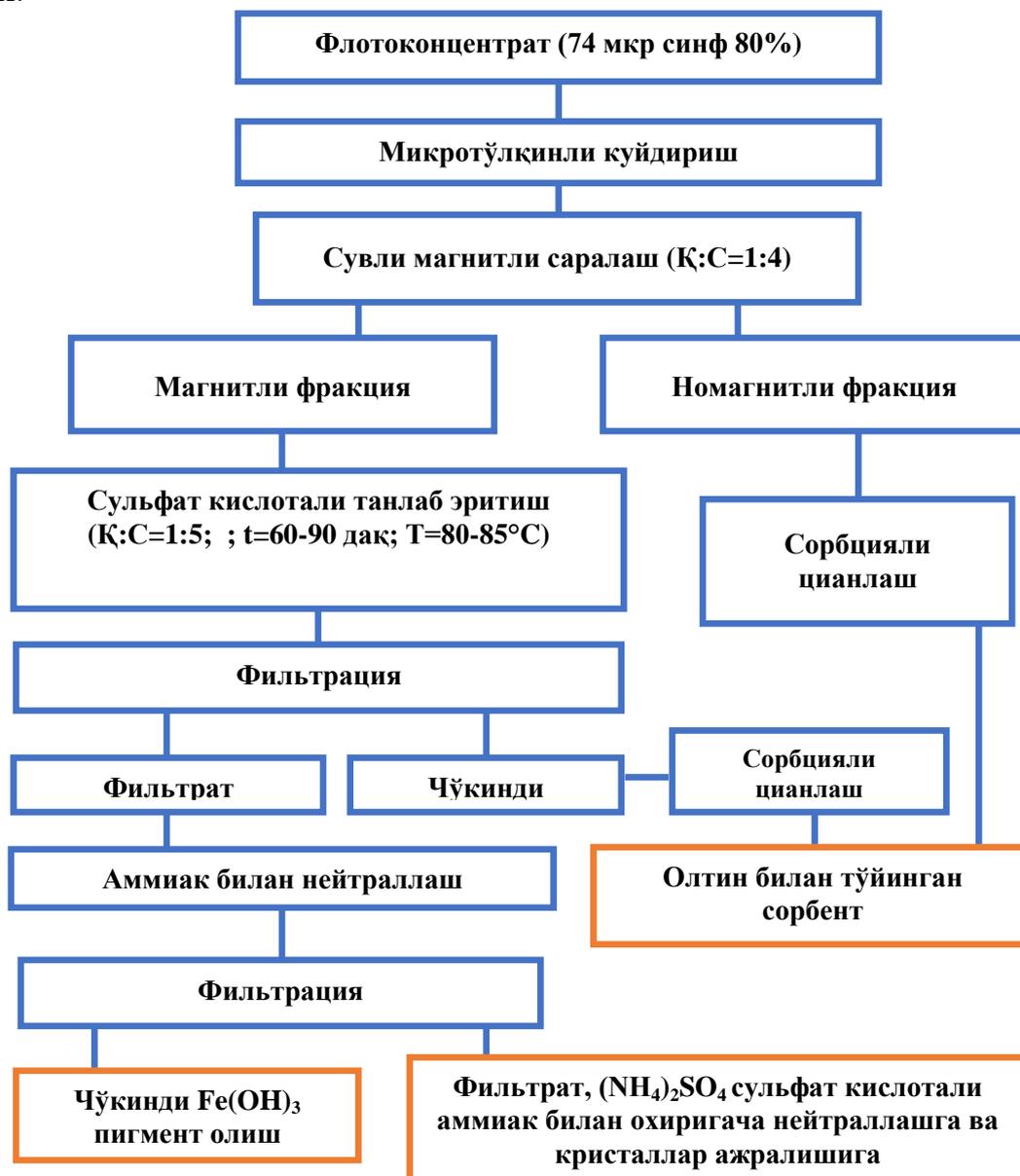
Шундай қилиб, рентген структурали таҳлиллар куйиндида олтиннинг маълум миқдори боғланган маггемитнинг сезиларли миқдори мавжудлигини кўрсатди. Сорбцияли цианлашдан сўнг МТ куйиндининг ўтказилган магнитли саралаш шуни тасдиқладики, маггемит қийин ажратиб олинадиган олтиннинг асосий ташувчиси ҳисобланади. Олинган натижаларнинг кўрсатишича, магнитли фракцияга олтиннинг ажралиши 75~80% ни ташкил этади, куйидаги миқдорларда: Fe-50,9%; S_s-0,2%; C_{орг} -0,54%; As -0,46%. Темир оксидларини эритиш мақсадида магнитли фракцияни сульфат кислотали танлаб эритиш магнитли фракциядан олтин ажратиб олиш даражасини ~20% га ошириш имконини берди, бу қийин ажратиб олинадиган олтиннинг катта қисми маггемит билан ассоциацияланганлигининг яна бир исботи бўлиб ҳисобланади.

«Микротўлқинли энергиядан фойдаланган ҳолда мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг тавсия этиладиган технологик схемани ишлаб чиқиш ва асослаш» номли тўртинчи бўлимда микротўлқинли энергияни қўллаш билан мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг янги технологияси ишлаб чиқилди.

Ўтказилган тадқиқотлар асосида мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг асосий (умумий) технологик схемаси ишлаб чиқилди.

Таҳлил натижаларидан билиш мумкинки, куйдиришдан сўнг флоконцентратда темир миқдори ~22% етади. Рентген-структур тадқиқотлар шуни кўрсатдики, куйиндида темирнинг асосий қисми маггемит, магнетит ва гематит кўринишида бўлади. Магнитли фракция натижалари темир ва олтиннинг магнитли фракцияга концентранлигини

(концентрацияланганлигини) кўрсатди. Тажриба йўли билан қийин ажратиб олинадиган олтиннинг темир оксидлари билан, асосан маггемит билан ассоциацияланганлиги исбот қилинди. Олтиннинг катта қисми магнитли фракцияга тўпланганлигини ва унда 50 % дан ортиқ темир мавжудлигини ҳисобга олиб, ушбу маҳсулотдан комплекс фойдаланишга қизиқиш пайдо бўлади.



5-расм. Темир асосида пигментни ва ноорганик ўғит – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ни йўлдош маҳсулот сифатида олиш билан мураккаб олтин таркибли концентратлардан олтин ажратиш олишнинг тавсия этилаётган технологик схемаси

Сульфат кислотали ишлов бериш тажрибалари шуни кўрсатдики, сульфат кислотали эритмада темир оксидларининг эриши 17~22% миқдорли $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ эритмасини олиш ва магнитли фракциядан олтин ажратиш олиш даражасини ~96% гача ошириш имконини беради.

Ўтказилган тажриба синовлари асосида темир ва ноорганик ўғит– $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ асосида пигментни йўлдош маҳсулот сифатида олиш билан мураккаб таркибли концентратларни қайта ишлашнинг тавсия этилаётган технологик схемаси (5-расм) ишлаб чиқилди. Схема қуйидагиларни ўз ичига олади:

– микротўлқинли куйдириш операцияси, бунда концентрат аэрация усулига боғлиқ равишда 10~25 дақиқа давомида оксидланади;

– олинган куйинди суяқ магнитли сепарацияга билан қайта ишланади. Магнитли сепарация 4-босқичли тозалаш билан амалга оширилади, бунда биринчи босқичда олинган магнитли концентрат соф магнитли фракция олиш учун уч босқичли қайта тозалашга боради;

– магнитли сепарациянинг биргаликдаги чиқиндилари, яъни, темирдан тозаланган маҳсулот сорбцияли цианлашга юборилади. 45-51% темир миқдорили магнитли фракция эса, темирни танлаб эритиш ва оксидлар билан ассоциацияланган олтиннинг юзасини очиш учун $T=80\sim 85^\circ\text{C}$; $Q:C=1:6$ да; $T=60\sim 90$ дақиқада сульфат кислотали ишлов беришга жўнатилади;

– сульфат кислотали ишлов бериш маҳсулоти филтрланади ва олтин билан бойитилиб олинган чўкинди олтинни ажратиб олиш учун сорбцияли цианлашга юборилади;

– $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 17~22% миқдорли филтрат маълум технология бўйича темир асосида пигмент олиш ва ноорганик ўғит- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ олиш жараёнига жўнатилади.

Шундай қилиб, тажриба ва ҳисоблаш натижалари шуни кўрсатадики, мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг ушбу технологик схемаси темир ва ноорганик ўғит– $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ асосида пигментни йўл-йўлакай олиш билан олтин ажратиб олиш даражасини 89,8% гача ошириш имконини беради.

5-расмда тавсия этилаётган темир ва ноорганик ўғит– $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ асосида пигментни йўл-йўлакай олиш билан мураккаб олтин таркибли концентратлардан олтин ажратиб олишнинг технологик схемаси НКМК ДК МИТЛда яхлитлаштирилган-лабораторияли ва ярим саноатли синовдан ўтган ва ишлаб чиқаришга жорий этиш учун тавсия этилган.

ХУЛОСА

«Микротўлқинли энергияни қўллаган ҳолда мураккаб олтин таркибли хомашёни қайта ишлашнинг самарали технологиясини яратиш бўйича тадқиқотлар» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотларга асосланган ҳолда, назарий ва амалий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Ўтказилган термик таҳлил асосида флотоконцентратга термик ишлов беришдаги иссиқлик эффектлари ҳисоблаб чиқилди. Термик ишлов беришда ажралиб чиқадиган энергия миқдори ютилган энергиядан анча кўп эканлиги аниқланди, бу флотоконцентратни куйдиришда жараённинг автогенли бориши имкониятини исботлайди.

2. Ўтказилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, микротўлқинли куйдириш конвекцион усулларга қараганда жиддий жадаллашувни намоён қилади. Нурланиш қувватининг 1000 Вт гача ошиши куйдириш вақтини 45 дан 27 дақиқাগача қисқартириш имконини берди. Натижаларнинг кўрсатишича, етарлича аэрацияда худди шу технологик кўрсаткичларда куйдириш давомийлиги 9 дақиқাগача қисқариши мумкин.

3. Микротўлқинли куйдириш бўйича тадқиқотларда аниқландики, куйдириш операцияси камида 500°C ҳароратда олиб борилиши лозим. 550-650°C даги жуда юқори ҳароратли тартиб олтин ажратиш олиш даражасида сезиларли фарқни кўрсатмади.

4. Аниқландики, флотоконцентратга микротўлқинли ишлов беришда пирит миқдори қиздириш жадаллашувининг асосий омили ҳисобланади. Жараён давомида пирит, темир оксидларини, магнетит, маггемит ва гематитни ҳосил қилиб оксидланади. МТ нурланишда пиритга қараганда магнетитнинг яхши қизишини ҳисобга олиб, у жараён якунлангунича куйдириш ҳароратини сақлаб туради.

5. Ўтказилган тажрибалар асосида МТ куйиндига автоклавли ишлов бериш учун мақбул шароитлар аниқланди. Натижалар шуни кўрсатдики, рН=2, 200 °С да 60 дақиқа давомида куйдирилган флотоконцентратга қўшимча автоклавли ишлов беришда олтин ажратиш олиш даражаси қўшимча равишда ~15% га ошади.

6. Таҳлил натижаларидан кўринадики, олтин ва углерод ёки олтин ва мишьяк ўртасида боғланиш мавжуд эмас, чунки ушбу элементларнинг асосий қисми номагнитли фракцияга ўтади, бунда олтиннинг катта қисми магнитли фракцияга ўтади.

7. Ўтказилган тадқиқотларда шу нарса аниқландики, МТ куйиндини сорбциялашда эримаган олтиннинг асосий қисми маггемитда қапсулаланган. МТ куйиндининг магнитли сепарациясидан сўнг магнитли фракция таҳлили кўрсатдики, маггемит қийин ажратиш олинган олтиннинг асосий ташувчиси ҳисобланади. Олтинни темир оксидларидан ажратиш мақсадида магнитли фракцияни сульфат кислотали танлаб эритиш магнитли фракциядан олтин ажратиш олиш даражасини 20% га ошириш имконини беради.

8. Ўтказилган тадқиқотлар натижалари асосида кейинги микротўлқинли-куйдиришли-автоклавли ишлов бериш билан МТ куйдиришни қўллаш ёрдамида мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг асосий (умумий) ишлаб чиқилган технологик схемаси келтирилади.

9. Кейинги магнитли сепарациялаш ва магнитли фракцияга сульфат кислотали ишлов бериш билан МТ куйдиришни қўллаш ёрдамида мураккаб олтин таркибли концентратларни қайта ишлашнинг янги технологик схемаси ишлаб чиқилди ва тавсия этилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.17/30.12.2019.Т.06.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАВОЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ГОРНОМ ИНСТИТУТЕ**

НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

ФУЗАЙЛОВ ОМОН УБАЙДУЛЛОЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ЭФФЕКТИВНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНОГО
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МИКРОВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ**

04.00.14 – Обогащение полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Навои - 2020

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мировой практике снижение запасов месторождений с легкоперерабатываемыми рудами стало причиной роста переработки упорных золотосодержащих руд стремительными темпами. Повышение сквозного извлечения золота и комплексное использование исходного сырья является основной проблемой перерабатывающей промышленности. При этом особое значение приобретает разработка и внедрение высокоэффективных технологий переработки руд и концентратов с применением новых нетрадиционных методов обработки, позволяющих увеличить извлечение золота и комплексность переработки минерального сырья.

В мире, на сегодняшний день уделяется особое внимание переработке упорных золотосодержащих руд и концентратов. Для снижения себестоимости продукта, увеличения сквозного извлечения основного металла и уменьшения затрат на переработку разрабатываются новые методы и технологические решения. А также уделяется особое внимание на комплексное использование сырья и получение дополнительной продукции. В связи с этим разработка эффективных технологий и совершенствование существующих для повышения извлечения ценных компонентов с комплексным использованием сырья является актуальной задачей для науки и практики горно-металлургической промышленности.

В Республике горно-металлургическая промышленность является одной из важных отраслей развития экономики страны, которая немыслима без разработки и внедрения усовершенствованных и новых технологий для переработки минерального сырья, в частности полиметаллических руд, с целью комплексного извлечения ценных компонентов. Выполняется ряд научно-практических работ по разработке эффективной технологии переработки упорного золотосодержащего сырья. В Указе Президента Республики Узбекистан¹ определены важные задачи по «повышению промышленности на качественно новый уровень, глубокой переработки местных источников сырья, ускорению производства готовой продукции, освоению новых видов продукции и технологий». В связи с этим становится актуальным решение задач по совершенствованию и разработке новых технологий для комплексного извлечения ценных компонентов с высокой степенью извлечения из упорных золотосодержащих руд и концентратов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-3145 от 24 июля 2017 года «О мерах по совершенствованию управления научно-исследовательскими и проектно-изыскательскими работами в сфере промышленного освоения

¹ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» // Сборник правовых документов Республики Узбекистан. – Т., 2017. – 103 с.

месторождений рудных полезных ископаемых», в Указе Президента Республики Узбекистан УП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли», в Указе Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действия по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

Степень изученности проблемы. В области развития производства драгоценных, цветных, редких и редкоземельных металлов из рудного сырья, а также техногенных отходов, внесли свой значительный вклад такие зарубежные и отечественные ученые: Адамов Э.В., Плаксин И.Н., Чантурия В.А., Абрамов А.А., Годэн А.М., Лодейщиков В.В., Меретуков М.А., Санакулов К.С., Юсупходжаев А.А., Якубов М.М., Хасанов А.С., Шарипов Х.Т., Хасбулатов В.Ш., Саттаров Г.С., Эргашев У.А., Naque K.E., Afenya P.M., Brierly C.L., Emmet R.C.Ir., Marsden J. и др.

Исходя из анализа существующих работ, надо отметить, что упорность золотосодержащих руд делится на физическую и химическую. При физической упорности золото инкапсулировано в кварцевую и иную сульфидную матрицу, вследствие чего выщелачивающий раствор не может проникать в реакционную поверхность золота, а в химической упорности в породе кроме сульфидных минералов, может содержаться углистое вещество поглощающее растворённое золото, и породные примеси способные реагировать с цианидом доступным для растворения золота. Обычно такие руды требуют предварительной обработки, чтобы разрушить матрицу сульфидов, а также пассивировать репрессивные действия веществ перед выщелачиванием. Ранее проведены комплексные исследования по предварительной обработке руды, которые включают обжиг, хлорирование, автоклавная обработка, биоокисление и др. Вместе с тем, существуют проблемы низкой степени растворимости золота при переработке упорных руд и концентратов с использованием обжига из-за образования соединения золота с железом в виде магемита и магнетита, кроме того применение процесса обжига ограничивается из-за высокого содержания арсенопирита в концентрате. При бактериальном окислении наблюдается не полное раскрытие поверхности сульфидного золота. Процесс автоклавного окисления имеет низкую производительность и сложность осуществления при больших объемах производство, высокие расходы на реагенты и ресурсы присущи при хлорировании. Проблемы переработки упорных

золотосодержащих концентратов с применением микроволнового излучения для раскрытия поверхности сульфидного золота не достаточно изучены.

Настоящая диссертационная работа посвящена на исследование и разработку технологии микроволнового (МВ) обжига для деструкции сульфидных минералов в упорных золотосодержащих концентратах с дальнейшей магнитной сепарацией МВ огарка и сернокислотной обработкой магнитной фракции для повышения сквозного извлечения золота.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Навоийского государственного горного института на темы: №1-2013 – «Исследование объемного распределения различных форм золота в хвостохранилище ГМЗ-3» (2014-2015 гг.) и № 2-09/2020 ПЗ – «Исследование изменения состава и структуры хвостов КЕМИКС и золотосодержащих потоков ГМЗ-3 в процессе обжига современными физико-химическими методами (ДТА, ИКС, РА, СЭМ)» (2020 г.).

Целью работы является разработка эффективной технологии переработки упорного золотосодержащего сырья с применением микроволновой энергии для повышения сквозного извлечения золота.

Задачи исследования:

изучение минерального состава золотосодержащего концентрата и определение соответствующей методики раскрытия реакционной поверхности золота для селективного извлечения основного металла при дальнейшем сорбционном цианировании;

исследование термических свойств флотоконцентрата с использованием комплекса термических методов (термогравиметрия, дифференциальная термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия (ТГ, ДТГ, ДСК);

исследование процесса микроволнового обжига концентрата с изучением влияния температурного режима и разработкой оптимальных параметров процесса;

исследование влияния микроволновой автоклавной обработки на степень извлечения золота;

исследование процесса магнитной сепарации огарка, полученного после МВ обработки с последующей сернокислотной обработкой магнитной фракции для повышения степени извлечения золота и анализ влияющих факторов на степень извлечения ценного компонента, а также разработка схемы включающее МВ обработку концентратов, магнитную сепарацию огарка и сернокислотную обработку магнитной фракции;

разработка комплексной технологической схемы извлечения золота из упорных золотосодержащих концентратов с попутным получением пигмента на основе железа и неорганического удобрения – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Объектом исследования являются упорные золотосодержащие концентраты ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат».

Предметом исследования является технология переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволновой энергии.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы широко применены современные комплексные методы исследований, включающий пробирный, рентгено-флюоресцентный, атомно-абсорбционный, ИК-спектрометрический, рентгенофазный методы анализа, также был использован термогравиметрический метод анализа для изучения термических свойств материала, лабораторные эксперименты, опытно-промышленные испытания; электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, химический и фазовый методы анализа, математические методы обработки результатов лабораторных испытаний.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определены тепловые эффекты при обжиге флотоконцентрата, в результате которого доказано, что процесс обжига протекает с выделением тепловой энергии;

установлены оптимальные параметры микроволнового обжига упорного золотосодержащего концентрата;

разработана новая технологическая схема и определены оптимальные параметры переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволново-обжигово-автоклавной обработки;

определено наличие в огарке значительного количества маггемита, в котором может быть ассоциировано существенное количество золота. Проведенная магнитная сепарация МВ огарка после сорбционного цианирования подтвердила, что основная часть нерастворённого золота капсулировано в маггемите;

исследованием процессов магнитной сепарации огарка после МВ обжига с последующей сернокислотной обработкой магнитной фракции для повышения степени извлечения золота разработаны оптимальные параметры и схема, включающая МВ обжиг концентрата, магнитную сепарацию полученного огарка и сернокислотную обработку магнитной фракции;

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

определены термические свойства флотоконцентрата, включающие тепловые эффекты для установления условия автогенного протекания процесса обжига ;

разработаны оптимальные параметры микроволнового обжига упорных золотосодержащих концентратов для полного окисления сульфидных минералов;

разработана новая технология переработки упорных концентратов с применением микроволнового обжига и магнитной сепарации, позволяющая повысить сквозное извлечение золота на 4,8% с дополнительным получением железакисного пигмента и неорганического удобрения – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;

разработана новая технология переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволново-обжигово-автоклавной обработки.

Достоверность результатов исследования обоснована значительным объемом лабораторных и полупромышленных испытаний, удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по повышению извлечения ценных компонентов и результатами применения разработанных режимов микроволнового обжига и магнитной сепарации МВ огарка, значительными положительными результатами, подтверждающие повышение степени растворимости золота и повышения сквозного извлечения основного металла, а также положительными актами лабораторных и укрупненно-лабораторных испытаний.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обусловливается выявлением факторов, влияющих на повышение извлечение золота из упорных золотосодержащих концентратов, теоретическим обоснованием целесообразности применения микроволнового обжига концентрата, применением магнитной сепарации огарка МВ обжига и сернокислотной обработкой магнитной фракции, увеличением степени растворения золота при последующем сорбционном цианировании и повышением сквозного извлечения золота.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении степени извлечения ценного компонента из упорного золотосодержащего концентрата и разработке новой технологической схемы, обеспечивающей комплексность использования минерального сырья и высокую степень сквозного извлечения основного металла.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке технологии микроволнового обжига упорных золотосодержащих концентратов:

разработанная новая технология переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволново-обжигово-автоклавной обработки внедрена в ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» №02-06-07/10876 от 16 октября 2020 г). В результате вскрыта поверхность золота и увеличено сквозное извлечение основного металла на 4%;

разработанная технология переработки упорных концентратов с применением микроволнового обжига и магнитной сепарации с последующей сернокислотной обработкой внедрена в ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» №02-06-07/10876 от 16 октября 2020 г). В результате повышено сквозное извлечение золота на 4,8% и дополнительно получен железистый пигмент и неорганическое удобрение $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Апробация результатов исследования. Апробация результатов данного исследования проведена на 4 республиканских и 2 международных научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 10 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, опубликованы 4 статей, в том числе 3 из которых в республиканских и 1 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Современное состояние переработки упорных золотосодержащих концентратов и использование микроволновой энергии для их обработки»** исследован комплексный подход по переработке упорных золотосодержащих флотоконцентратов и использование микроволновой энергии для их обработки.

Анализ практики отечественных и зарубежных обогатительных фабрик по переработке упорных руд и концентратов показывает, что их подвергают предварительной обработке, в целях разрушения матрицы сульфидов, их окисления и пассивации углеродистого вещества перед выщелачиванием. Методы предварительной обработки включают обжиг, хлорирование, автоклавную обработку и биоокисление.

Наибольшее распространение для переработки упорных концентратов получил окислительный обжиг, который широко используется для предварительной обработки материалов, содержащих тяжелые-цветные и благородные металлы, а также для окисления сульфидов железа с образованием диоксида серы для производства серной кислоты. Реакции обжига обычно находятся в интервале 450-820 °С, а чаще всего около 550 °С. Для извлечения золота из упорных руд и концентратов обжиг широко используется в течение десятилетий. Для особо упорных золотосодержащих руд это был эксклюзивный процесс предварительной обработки, и, соответственно, его разработка представлена в деталях, заканчивая новейшей технологией окислительного обжига целых руд.

Рассмотрены вопросы автоклавной переработки концентратов, были проведены многочисленные исследования процессов, в которых используется выщелачивание в окислительных, нейтральных или восстановительных условиях при повышенной температуре и давлении для извлечения металлов из руд и вторичных материалов.

Также изучены биотехнологические методы обработки концентратов. Анализ литературы показывает, что применение бактериального выщелачивания имеет следующие технико-экономические преимущества: небольшой расход реагентов; более высокая реакционная способность и скорость осаждения твердых веществ в бактериальных растворах (по сравнению с растворами без бактерий); ускорение окисления образующейся элементарной серы; простота обслуживания; низкие эксплуатационные и капитальные затраты и т. д.

Хотя процесс биоокисления имеет ряд преимуществ, стоит перечислить некоторые недостатки: долгая продолжительность процесса и неэффективность при переработке руд с большим содержанием сорбционно-активного углистого вещества.

Таким образом, анализ современного состояния переработки упорных концентратов показывает, что повышение степени извлечения золота из упорных концентратов является актуальной задачей науки и техники.

Во второй главе «Объекты и методы исследований» исследован объект исследования, которым является особо упорный золотосодержащий флотоконцентрат гидрометаллургического завода №3 ГП НГМК, а также приведены методики проведения исследований и описание проведения лабораторных экспериментов.

Данный концентрат, несомненно, устойчив к извлечению золота с помощью стандартных процессов цианирования и сорбции. Концентрат содержит сульфидные минералы и органический углерод, что делает его особо-упорным. Сульфидные минералы - это непроницаемые минералы, которые инкапсулируют частицы золота, препятствуя выщелачиванию золота. Органический углерод, присутствующий в концентрате, может адсорбировать растворенные золото-цианидные комплексы почти так же, как активированный уголь.

Содержание $C_{\text{общ}}$, $C_{\text{орг}}$, $S_{\text{общ}}$, S_S , As и железа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количественный анализ основных элементов в составе флотоконцентрата

Наименование образца	Содержание, %					
	$C_{\text{общ}}$	$C_{\text{орг}}$	$S_{\text{общ}}$	S_S	As	Fe
Флотоконцентрат	2,2	1,5	18,5	16,2	1,01	20,2

Содержание органического углерода (~1,5%), сульфидной серы (16,2%) и результаты сорбционного цианирования ($\epsilon=29,3\%$) подтвердили упорность данного концентрата. Как показывают, результаты рентгеноструктурного анализа, сера и мышьяк в основном находятся в виде пирита и арсенопирита.

Полуколичественный анализ образцов показал (табл. 2), что в малом количестве присутствовали арсенопирит (3,41%), клинозоизит (4,47%), стибнит (0,75%), анкерит (4,43%), хлорит (4,97%) и шайерит (2,9%).

Таблица 2

Результаты полуколичественного рентгенофазного анализа по содержанию минералов

Минерал	Кварц	Пирит	Арсенопирит	Мусковит	Анортит	Клинозоизит	Стибнит	Анкерит	Хлорит	Шайерит
Содержание, %	19,6	21,09	3,41	29,4	8,94	4,47	0,75	4,43	4,97	2,9

Изменение функциональных, морфологических, элементных характеристик образцов при проведении исследовательских работ выполнены с концентратом, содержащим вышеуказанное количество основных минералов и элементов.

Для изучения характеристик флотоконцентрата применялись комплексные методы исследований, включающий пробирный, рентгено-флуоресцентный, атомно-абсорбционный, ИК-спектрометрический, рентгенофазный, атомно-эмиссионный методы анализа, также был использован термогравиметрический метод для анализа термических свойств материала.

В третьей главе «Исследование теоретических основ влияния микроволновой обработки на извлечение золота из продуктов обогащения технологически упорных руд» исследовано влияние микроволновой обработки упорных концентратов на повышении степени сквозного извлечения золота.

Один из актуальных способов раскрытия золота из тонкодисперсного сульфидного упорного концентрата является термическая обработка для высвобождения благородного металла. Для определения характеристик термического разложения флотоконцентрата, нами был проведен дериватографический анализ в среде воздуха и была получена дериватограмма.

Для уточнения изменения массы в диапазоне температур от 50 до 900°C были сняты данные термического анализа в виде цифровых данных и дополнительно обработаны для более точного определения потери массы по отмеченным частям температурного диапазона.

Для этой же целью изучено изменение теплового потока во времени

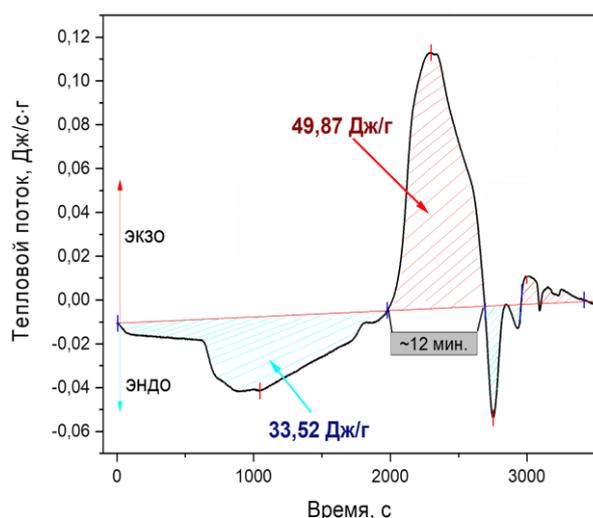


Рис.1. ДСК флотоконцентрата по функции времени

для 1 г флотоконцентрата (рис. 1). Области, отмеченные ярко синим цветом, представляют энтальпию процессов с поглощением тепловой энергии, тогда как области, отмеченные красным цветом, показывают энтальпию процессов с выделением тепловой энергии.

В табл. 3 представлены итоговые результаты вычислений тепловых эффектов при термической обработке флотоконцентрата.

Результаты тепловых эффектов показали, что количество

выделяемой энергии при термической обработке оказалось значительно больше поглощаемой.

С целью эффективного извлечения золота из этих минералов была применена предварительная микроволновая обработка упорного золотосодержащего флотокоцнтрата ГМЗ-3 для вскрытия поверхности золота путем окисления сульфидов и углеродистых веществ.

При микроволновой обработке флотоконцентрата продолжительностью 30 минут удалялось около 70% органического углерода, а при продолжительности 45 мин степень удаления углерода составляло 75,5%. За 45 минут обработки удаляется всего 24% мышьяка, остальная часть остается в огарке. Это объясняется тем, что мышьяк в арсенопирите окисляется в атмосфере с дефицитом кислорода при температуре 450-550°C до летучего As_2O_3 с образованием пирротина и далее магнетита, избыток кислорода приведет к образованию As_2O_5 , который нелетучий и плавится при 315°C.

Таблица 3

Результаты вычислений тепловых эффектов термической обработки флотоконцентрат

Диапазон поглощения теплоты при нагреве флотоконцентрата		Энергия, поглощаемая для нагревания образца $\Delta H_{\text{эндо}}$, Дж/г	Диапазон выделения теплоты при нагреве флотоконцентрата		Энергия, выделяемая за счет экзотермических реакций $\Delta H_{\text{экзо}}$, Дж/г
$T_{\text{нач.}}$, °C	$T_{\text{кон.}}$, °C		$T_{\text{нач.}}$, °C	$T_{\text{кон.}}$, °C	
50	390	33,52	390	560	- 49,87

Лабораторным исследованием определено что, при продолжительности процесса обработки в течение 45 и 60 минут процент окисления сульфидной серы составил 95,6 и 97,8 % соответственно.

Для определения извлечения золота образцы, обработанные в микроволновой печи, подвергались сорбционному цианированию в течение 24 часов, при концентрации NaCN равной 3 г/л и 3 % загрузке угля.

Результаты показывают, что предварительная микроволновая обработка флотоконцентрата способствует повышению извлечения золота при дальнейшем сорбционном цианировании. Показано, что обработка концентрата в течение 45 минут повышает извлечение золота с 29,8% до 73,2%, дальнейшее увеличение времени обработки до 60 минут дополнительно позволяет повысить извлечение еще на 1,3 %.

Для определения влияния мощности на интенсивность обжига был проведен обжиг при микроволновой мощности 1000 Вт. Высокая мощность показала, что за 2 минуты обработки температура поднималась до 510 °С и это было в 2,5 раза быстрее, чем при мощности 700 Вт. Во время перемешивания, когда магнетрон был отключен, температура упала до 450 °С. В отличие от обработки при 700 Вт, 30; 20 и затем 15 секунд периодического облучения было достаточно для поддержания температуры обжига при продолжительности периодического перемешивания 30 с. На рис. 2 представлено изменение температуры образца во время обработки с периодическим облучением и перемешиванием при мощности 1000 Вт. Как видно из рис. 3 в начале процесса за две минуты обработки температура поднималась до 510 °С, затем в режиме с периодическим облучением и перемешиванием температура умеренно возросла до 540 °С. В пятой минуте обработки скорость роста температуры увеличился достигая 650 °С, что связано с экзотермическими реакциями.

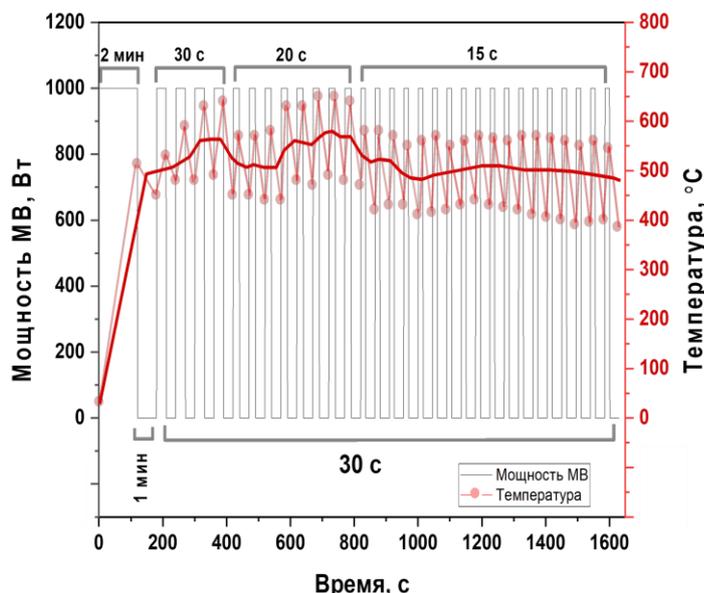


Рис. 2. Изменение температуры образца во время обработки при мощности 1000 Вт

Для поддержания температуры в интервале 450–550 °С. время периодического облучения было сокращено до 20 секунд. Температура стабилизировалась но затем снова увеличился до 650 °С, что было связано, помимо экзотермических реакций, с образованием магнетита, так как, магнетит дает более интенсивную теплоотдачу при СВ излучении, он способствовал увеличению скорости роста температуры. По этой причине в 13-й минуте обработки время

периодического облучения сократили до 15 секунд, в результате чего температура стабилизировалась и до конца процесса была в пределах 450-550 °С., при этом общее время обжига составила 27 минут.

Результаты химического анализа данного огарка показали, что степень удаления серы и органического углерода были 95,3% и 74,6% соответственно. Степень извлечения золота при сорбционном цианировании составило 74,7%.

Микроволновый обжиг показал существенную интенсивность по сравнению с конвекционными способами, повышения мощности излучения до 1000 Вт позволило сократить время обжига на 18 минут, при тех же технологических показателях. Результаты показали, что при достаточной аэрации продолжительность обжига может сокращаться до 9 минут, что является высокоэффективным результатом по интенсивности процесса.

Также, была исследована микроволновая автоклавная обработка флотоконцентрата до и после обжига, которая показала существенные улучшения в степени извлечения золота. Результаты микроволновой автоклавной обработки показали, что при дополнительной обработке обожженного флотоконцентрата в течении 60 минут при 200 °С, рН=2 можно увеличить степень извлечения золота дополнительно на ~15%.

Проведенные минералогические исследования флотоконцентрата после микроволнового обжига показали полное превращение пирита и арсенопирита в пористый гематит и недостаточно пористый маггемит.

Результаты рентгеноструктурного анализа образца подтвердили

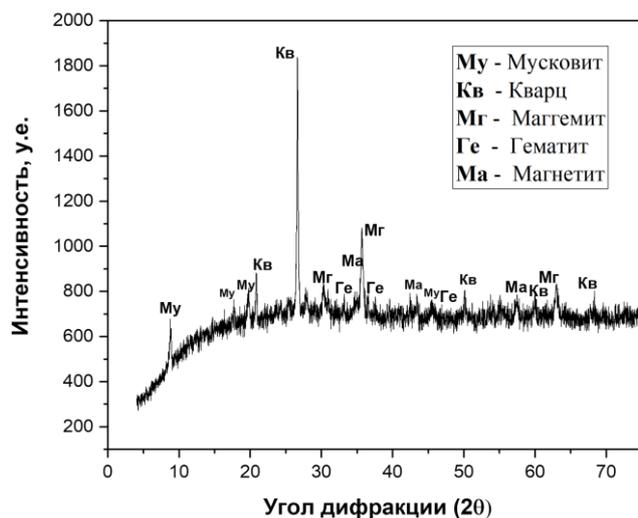


Рис. 3. Дифрактограмма МВ обработанного флотоконцентрата

большое содержание маггемита. На рис. 3 представлена дифрактограмма МВ обработанного флотоконцентрата. Показано, что основные оксиды железа после МВ обжига проявляются в виде магнетита, маггемита и гематита. В табл. 4

представлены

полуколичественные результаты рентгеноструктурного анализа. Как видно из таблицы самое большое содержание среди окислов железа имеет маггемит (12,6%).

Для уточнения подтверждения, что маггемит является основным носителем трудно-извлекаемого золота, была проведена магнитная сепарация МВ огарка после сорбционного цианирования. В табл. 5 представлены результаты магнитной сепарации.

Таблица 4

Результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа МВ
обоженного флотоконцентрата

Наименование минерала	Мусковит	Кварц	Маггемит	Гематит	Магнетит	Анортит	Эпидот	Хлорит
Содержание, %	34,2	26,5	12,6	3,57	4,36	12,2	3,66	2,5

Показано, что извлечение золота в магнитную фракцию составляет ~70%, при содержании: Fe-50,9%; Ss-0,2%; Сорг -0,54%; As -0,46%.

Таблица 5

Результаты магнитной сепарации МВ огарка после сорбционного
цианирования

№	Наименование продукта	Au(г/т)	ε, %	γ	Fe%	Ss%	Собщ %	Собщ %	Сорг %	As%
1.	МВ огарок после сорбции	5,47	100	100	22,8	0,2	0,5	1,3	0,8	0,64
2.	Магнитная фракция	10,1	70,05	38,6	50,9	< 0,2	0,2	0,22	0,54	0,46
3.	Немагнитная фракция	2,6	29,95	61,4	4,9	0,2	0,37	1,66	1,3	0,72

По результатам анализа видно, что корреляция между золотом и углеродом, или между золотом и мышьяком не имеется, так как основная часть этих элементов перешла на немагнитную фракцию, когда большая часть золота переходит в магнитную фракцию.

Как показывает дифрактограмма магнитной фракции (рис. 4) основными фазами являются фазы маггемита, также имеются пики слабой интенсивности фаз кварца, магнетита и гематита. В табл. 6 представлены результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа. Как видно из таблицы содержание оксидов железа в магнитной фракции увеличилось в 4 раза, а содержание кварца уменьшилось на 11%.

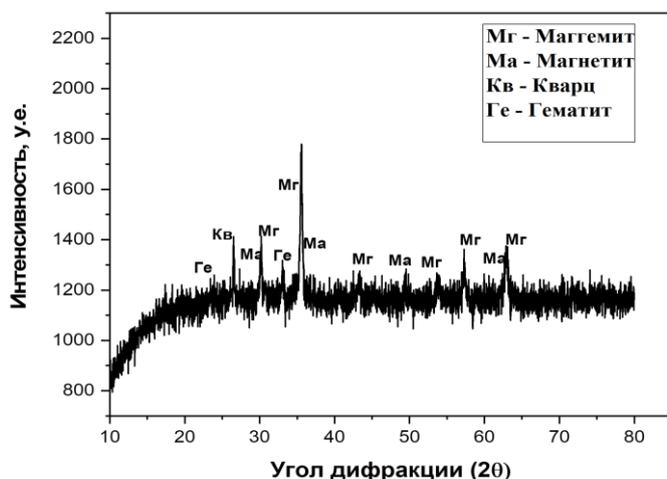


Рис. 4. Дифрактограмма магнитной фракции МВ обработанного флотоконцентрата

Магнитная сепарация МВ огарка до сорбции показала 80% извлечение золота в магнитную фракцию при выходе магнитной фракции 40 %.

С целью высвобождения золота, ассоциированное с окислами железа, было проведено сернокислотное выщелачивание окислов железа из магнитной фракции с последующим сорбционным цианированием кека. Немагнитная фракция с содержанием золота 6,5 г/т также

подвергалась сорбционному цианированию.

Таблица 6

Результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа магнитной фракции МВ обожженного флотоконцентрата

Наименование минерала	Кварц	Маггемит	Гематит	Магнетит
Содержание, %	15,7	48,7	16,1	19,5

Результаты показали, что при сорбционном цианировании кека, после серноокислотного выщелачивания магнитной фракции, степень извлечения золота составило ~96%. Степень извлечения золота из немагнитной фракции составило ~65%.

Таким образом, рентгеноструктурные анализы показали наличие в огарке значительного количества маггемита, в котором может быть ассоциировано существенное количество золота. Проведенная магнитная сепарация МВ огарка после сорбционного цианирования подтвердила, что маггемит является основным носителем трудно-извлекаемого золота. Полученные результаты показали, что извлечение золота в магнитную фракцию составляет 75~80%, при содержании: Fe-50,9%; Ss-0,2%; Сорг - 0,54%; As -0,46%. Серноокислотное выщелачивание магнитной фракции с целью растворения окислов железа позволило повысить степень извлечения золота из магнитной фракции на ~20%, что является еще одним доказательством того, что большая часть трудно извлекаемого золота ассоциировано с маггемитом.

В четвертой главе **«Разработка и обоснование рекомендуемой технологической схемы переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволновой энергии»** разработана новая технология переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволновой энергии.

Из результатов анализа можно заметить, что содержание железа во флотоконцентрате после обжига достигает ~22%. Рентгеноструктурные исследования показали, что основная часть железа в огарке находится в виде маггемита, магнетита и гематита. Результаты магнитной фракции показали концентрирование железа и золота в магнитную фракцию. Опытным путём было доказано ассоциация трудноизвлекаемого золота с оксидами железа, в основном с маггемитом. Учитывая, что большая часть золота концентрирована в магнитной фракции и содержание в ней железа более 50% появляется интерес комплексного использования данного продукта. Опыты по серноокислотной обработке показали, что растворение окислов железа в серноокислый раствор позволит повысить степень извлечения золота из магнитной фракции до ~96% с получением раствора $Fe_2(SO_4)_3$ содержанием 17~22%.



Рис. 5. Рекомендуемая технологическая схема извлечения золота из упорных золотосодержащих концентратов с попутным получением пигмента на основе железа и неорганического удобрения – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

На основании проведенных опытных испытаний была разработана рекомендуемая технологическая схема (рис.5) переработки упорных концентратов с попутным получением пигмента на основе железа и неорганического удобрения – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Схема включает в себя:

– операцию микроволнового обжига, где концентрат будет окисляться в течение 10~25 минут, в зависимости от способа аэрации;

– полученный огарок подвергается мокрой магнитной сепарации. Магнитная сепарация производится в 4-х стадиях, где полученный магнитный концентрат первой ступени пройдет тройную перечистку для получения чистой магнитной фракции;

– объединенные хвосты магнитной сепарации, т.е. продукт, очищенный от железа, подвергается сорбционному цианированию. А магнитная фракция, с содержанием железа 45-51% подается на серноокислотную обработку при Т:Ж=1:6; $C_{H_2SO_4} = 230\sim 250$ г/л; $t=60\sim 90$ мин; $T=80\sim 85^\circ C$ для выщелачивания железа и высвобождения золота, которое ассоциировано с его оксидами;

– продукт сернокислотой обработки фильтруется, и полученный осадок, обогащенный золотом, подвергается сорбционному цианированию для извлечения золота;

– фильтрат, с содержанием $Fe_2(SO_4)_3$ 17~22% подвергается процессу получения пигмента на основе железа и получения неорганического удобрения - $(NH_4)_2SO_4$ по известной технологии.

Таким образом, результаты опытов и вычислений показывают, что данная технологическая схема переработки упорных золотосодержащих концентратов позволяет повысить степень извлечения золота до 89,8% с попутным получением пигмента на основе железа и неорганического удобрения – $(NH_4)_2SO_4$.

Предлагаемая на рис. 5 технологическая схема извлечения золота из упорных золотосодержащих концентратов с попутным получением пигмента на основе железа и неорганического удобрения – $(NH_4)_2SO_4$ прошла укрупненно-лабораторные и полупромышленные испытания на ЦНИЛ ГП НГМК и рекомендована к внедрению на производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «Исследования по разработке эффективной технологии переработки упорного золотосодержащего сырья с применением микроволновой энергии» сделаны следующие заключения, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. На основе проведенного термического анализа вычислены тепловые эффекты при термической обработке флотоконцентрата. Определено, что количество выделяемой энергии при термической обработке оказалась значительно больше поглощаемой, что доказывает возможность автогенного протекания процесса при обжиге флотоконцентрата.

2. Проведенные исследования показали, что микроволновый обжиг проявляет существенную интенсивность по сравнению с конвекционными способами. Повышение мощности излучения до 1000 Вт позволило сократить время обжига от 45 до 27 мин. Результаты показали, что при достаточной аэрации продолжительность обжига может сокращаться до 9 мин. при тех же технологических показателях.

3. Исследованиями по микроволновому обжигу установлено, что операция обжига должна проводиться при температуре как минимум $500^\circ C$. Более высокий температурный режим ($550\text{-}650^\circ C$) не показал заметную разницу в степени извлечения золота.

4. Определено, что при микроволновой обработке флотоконцентрата основным фактором интенсивности нагрева является содержание пирита. В течение протекания процесса пирит окисляется, образуя оксиды железа, магнетит, маггемит и гематит. Магнетит нагревается лучше, чем пирит при МВ излучении, далее он поддерживает температуру обжига до завершения процесса.

5. На основании проведенных опытов установлены оптимальные условия для автоклавной обработки МВ огарка. Результаты показали, что при дополнительной автоклавной обработке обожженного флотоконцентрата в течении 60 мин. при 200°C и рН=2 степень извлечения золота увеличивается дополнительно на ~15%.

6. Результаты анализа показали, что корреляция между золотом и углеродом или золотом и мышьяком не имеется, т.к. основная часть этих элементов переходит на немагнитную фракцию.

7. Исследованиями обнаружено, что основная часть нерастворённого золота при сорбции МВ огарка капсулирована в маггемите. Анализ магнитной фракции после магнитной сепарации МВ огарка показал, что маггемит является основным носителем трудноизвлекаемого золота. Сернокислотное выщелачивание магнитной фракции с целью высвобождения золота от окислов железа позволяет повысить степень извлечения золота из магнитной фракции на 20%.

8. На основе результатов проведенных исследований разработана принципиальная технологическая схема переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением микроволново-обжигово-автоклавной обработки.

9. Разработана и рекомендована новая технологическая схема переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением МВ обжига с последующей магнитной сепарацией и сернокислотной обработкой магнитной фракции.

**SCIENTIFIC ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES COUNCIL
DSc.17 /30.12.2019.T.06.01 AT NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

FUZAYLOV OMON UBAYDULLOYEVICH

**RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT
TECHNOLOGY FOR PROCESSING REFRACTORY GOLD-BEARING
RAW MATERIALS USING MICROWAVE ENERGY**

04.00.14 – Mineral processing

**DISSERTATION ABSTRACT
FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) OF TECHNICAL SCIENCES**

Navoi – 2020

The topic of the dissertation of a Doctor of Philosophy (PhD) is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2020.4.PhD/T990.

The dissertation was completed at the Navoi State Mining Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) is on the website of the Scientific Council (www.ndki.uz) and on the information and educational portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Scientific supervisor:

Sanakulov Kuvandik Sanakulovich
doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Mukhiddinov Bakhodir Fakhriddinovich
doctor of Chemical Sciences, Professor

Khudoyarov Suleiman Rashidovich
candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Leading organization:

**Tashkent State Technical University
named after Islam Karimov**

The defence of the dissertation will be held on 10 December 2020 at 8⁰⁰ at the meeting of the Scientific council DSc.17/30.12.2019.T.06.01 at the Navoi State Mining institute. Address: 210100, Navoi, Galaba street, 127. Phone: 0 (436) 223-23-32; fax: 0 (436) 223-00-55; e-mail: info@ndki.uz. nsmi@gmail.com.

The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Centre of the Navoi State Mining Institute under No 61 Address: 210100, Navoi, Galaba street, 127. Phone: 0 (436) 223-56-90; fax: 0 (436) 223-00-55.

The abstract of the dissertation is distributed on 27 November 2020.

Protocol at the register No 22 dated 27 November 2020.



B.R. Raimjanov
Vice-chairman of the Scientific Council for
awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

Sh.Sh. Zairov
Scientific Secretary of the Scientific Council for
Awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

I.T. Mislibaev
Chairman of the scientific seminar under the Scientific
Council for awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the work is developing an effective technology for processing refractory gold-bearing raw materials using microwave energy to increase the throughput of gold.

The object of the research is the refractory gold-bearing concentrates of the State Enterprise «Navoi Mining and Metallurgical Combine».

The scientific novelty of the research is as follows:

the thermal effects during the roasting of flotation concentrate have been determined, as a result of which it has been proven that the roasting process proceeds with the release of thermal energy;

the optimal parameters of microwave roasting of refractory gold-bearing concentrate were established and the mechanism of gold desintegration was substantiated;

a new technological scheme was developed and the optimal parameters for processing refractory gold-bearing concentrates using microwave-roasting-autoclave processing were determined;

the presence of a significant amount of maghemite in the calcine was determined, in which a significant amount of gold may be associated. The performed magnetic separation of MW (microwave) calcine after sorption cyanidation confirmed that the bulk of undissolved gold is encapsulated in maghemite;

by studying the processes of magnetic separation of the calcine after MW roasting, followed by sulfuric acid treatment of the magnetic fraction to increase the degree of gold recovery, optimal parameters and a scheme have been developed, including MW roasting of the concentrate, magnetic separation of the obtained calcine and sulfuric acid treatment of the magnetic fraction.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the development of microwave roasting technology for refractory gold-containing concentrates:

The developed new technology for processing refractory gold-bearing concentrates using microwave-roasting-autoclave treatment has been implemented at the State Enterprise «Navoi Mining and Metallurgical Combine» (certificate of the State Enterprise «Navoi Mining and Metallurgical Combine» No. 02-06-07/10876 dated October the 16th, 2020). The application of the developed technology provides for the opening of the gold surface, as a result of which the through extraction of the base metal increases by 4%;

The developed technology for the processing of refractory concentrates using microwave roasting and magnetic separation followed by sulfuric acid treatment, which increases the throughput of gold by 4.8% with additional production of iron oxide pigment and inorganic fertilizer - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, has been implemented at the State Enterprise «Navoi Mining and Metallurgical Combine» (certificate of the State Enterprise «Navoi Mining and Metallurgical Combine» No. 02-06-07/10876 dated October the 16th, 2020).

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, bibliography and appendices. The volume of the thesis is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, part I)

1. Санакулов К.С., Фузайлов О.У., Кенбаева Ж.А. Микроволновая обработка сульфидных золотосодержащих концентратов // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №1. – С. 53-56 (05.00.00; №7).

2. Санакулов К.С., Фузайлов О.У., Кенбаева Ж.А. Исследование золотосодержащей руды месторождения Аристантау на упорность и поиск технологий по её переработке // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №2. – С. 87-90 (05.00.00; №7).

3. Санакулов К.С., Фузайлов О.У., Кенбаева Ж.А. Исследование инкапсуляции золота в маггемите при микроволновом обжиге флотоконцентрата // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №3. – С. 50-52 (05.00.00; №7).

4. Фузайлов О.У. Изучение влияния минерального состава на интенсивность нагрева при микроволновой обработке упорного золотосодержащего концентрата // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2020. – 10(79) (02.00.00; №1).

II бўлим (II часть, part II)

5. Фузайлов О.У., Хван А.Б., Саттарова Ш.Г. Исследование альтернативных методов рудоподготовки с использованием СВЧ энергии. // Материалы Республиканской научно-технической конференции: достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса. – Навои, 14-16 июня 2017 г. – С. 96.

6. Fuzaylov O.U., Khvan A.B., Sattarov G.S. Evaluation of the possibilities of using microwave energy for ore preparation. // Материалы Республиканской научно-технической конференции: достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса. – Навои, 14-16 июня 2017 г. – С. 144-149.

7. Фузайлов О.У., Хамидов Р.А., Пирназаров Ф.Г., Асроров А.А. Перспективы применения СВЧ энергии для обработки упорных золотосодержащих концентратов. // Материалы Международной научно-технической конференции: Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса. – Навои, 22-23 ноября 2018 г. – С. 96.

8. Фузайлов О.У., Асроров А.А., Вохидов Б.Р., Саидахмедов А.А. Исследование возможности применения микроволновой энергии для рудоподготовки // Вестник Тульского государственного университета. «АПИР-22», 2017, ТулГУ. – С. 111-116.

9. Fuzaylov O.U. Study of the influence of microwave prepressure treatment on the extraction of refractory gold. // LXIII International

correspondence international and practical conference. International scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Boston, USA, September 22-23, 2020.

10. Sanakulov K.S., Fuzaylov O.U. Microwave treatment of a refractory gold concentrate. // International conference on «Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects» Navoi, 2019. – P. 83-91.



Автореферат «Ўзбекистон кончилик хабарномаси» журналидан таҳрирдан
ўтказилди.

Бичими 60x84 1/16. Офис қоғози. Рақамли босма усулда. Times гарнитураси. Шартли
босма табағи 2,5. Адади 60. Буюртма № 83

“NEXT MA’LUMOTLAR MARKAZI” МЧЖ босмахонасида чоп этилди.
Босмахона манзили: Навоий в., Навоий ш., А.Авлоний кўчаси
14-сонли савдо маркази