

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

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

АХТАМОВ ФОЗИЛ ЭРКИНОВИЧ

**РУХ КЕКЛАРИНИ ҚАЙТА ИШЛАШНИНГ ПАСТ ҲАРОРАТЛИ
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

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**

**Contend of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
of technical sciences**

Ахтамов Фозил Эркинович

Рух кекларини қайта ишлашнинг паст ҳароратли технологиясини ишлаб
чиқиш3

Ахтамов Фозил Эркинович

Разработка низкотемпературной технологии переработки цинковых
кеков.....21

Akhtamov Fozil Erkinovich

Development of low-temperature technology for processing zinc cakes.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....43

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

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

АХТАМОВ ФОЗИЛ ЭРКИНОВИЧ

**РУХ КЕКЛАРИНИ ҚАЙТА ИШЛАШНИНГ ПАСТ ҲАРОРАТЛИ
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

04.00.14 – Фойдали қазилмаларни бойитиш

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

Навоий – 2020

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.3.PhD/T1796 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Навоий давлат кончилиқ институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме) Илмий кенашнинг веб-саҳифасида (www.ndki.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Абдурахмонов Сойиб Абдурахмонович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Муҳиддинов Баходир Фахриддинович
кимё фанлари доктори, профессор

Худояров Сулейман Рашидович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Навоий давлат кончилиқ институти ҳузуридаги DSc. 17/30.12.2019.Т.06.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил 11 декабр соат 13⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шох кўчаси, 127-уй. Навоий давлат кончилиқ институти мажлислар зали. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com.

Диссертация билан Навоий давлат кончилиқ институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (60 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шох кўчаси, 127-уй. НДКИ ректорати биноси, 1-қават Тел.: 0(436)223-23-32; факс: 0(436) 223-00-55.

Диссертация автореферати 2020 йил 27 ноябр куни тарқатилган.

(2020 йил 27 ноябрдаги 25 рақамли реестр баённомаси)

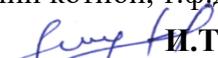


 **К.С. Санақулов**

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

 **Ш.Ш. Заиров**

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

 **И.Т. Мислибаев**

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда бугунги кунда дунё миқёсида рух хом ашёларини қайта ишлаш натижасида таркибида рангли ва нодир металллар сақлаган чиқиндилар кўплаб учрамоқда ва натижада полиметаллик рудаларни қайта ишлаш вақтида такомиллаштирилган технологияларни қўллаш ёрдамида йўлдош усулда рангли ва нодир металлларни (Au, Ag, Cu) ажратиб олиш имкони мавжуд. Қимматбаҳо металлларни рух кеклари таркибидаги барча металлларни самарали ажратиб олишга имкон берадиган, паст ҳароратли технологияни яратиш ҳамда амалиётга қўллаш муҳим аҳамиятга эга.

Дунёда рух кеклари таркибидаги фойдали компонентларни ажратиб олиш даражасини ошириш, энергия сарфини камайтириш ва қимматбаҳо коксни ишлатишни тўхтатиш юзасидан янги технологиялар ишлаб чиқилмоқда ва бунда асосий эътибор чиқинди кеклар таркибидан металл ажратиб олишнинг умумий ажралиш даражасини оширишга, шунингдек ишлаб чиқарилган маҳсулотларнинг тозалик даражасини кўтаришга ва энергия тежамкор технологияларни яратишга ҳам алоҳида эътибор қаратилган. Бу борада қимматбаҳо рангли ва нодир металлларни рух кеклари таркибидан самарали ажратиб олишнинг паст ҳароратли технологияларини ишлаб чиқиш ва мавжуд технологик схемаларни такомиллаштириш кон-металлургия саноати илми ва амалиётининг долзарб вазифалари ҳисобланади. Шу мақсадда айтилиши мумкин бўлган вазифанинг бажарилиши учун нодир металлларни рух кек чиқиндиларидан паст ҳароратли жараёнларни қўллаб ажратиб олиш усулини ишлаб чиқиш зарурати пайдо бўлди.

Республикамизда кон-металлургия саноати, поллиметаллик рудалардан фойдаланиб барча қимматбаҳо металлларни комплекс ажратиб олишнинг янги инновацион ва такомиллаштирилган технологияларни яратишга ва амалиётда жорий қилишга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «Саноатни сифат жиҳатдан янги босқичга кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини чуқур қайта ишлаш, тайёр маҳсулотлар ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулотлар ва технологияларни ўзлаштириш»¹ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифалардан келиб чиққан ҳолда «Олмалиқ кон-металлургия комбинати» АЖ рух ишлаб чиқариш чиқинди кек маҳсулотларидан қимматбаҳо металлларни тўлиқ ва соф ҳолатда ажратиб олишнинг янги паст ҳароратли технологияларини яратиш ва такомиллаштиришга йўналтирилган илмий-тадқиқотлар катта илмий ва амалий аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича

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

«Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги, 2019 йил 17 январдаги ПФ-4124-сон «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги Фармонлари, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг VIII. «Ер тўғрисидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология ва минерал хом ашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Нодир ва рангли металллар сақлаган рудалар, чиқинди хомашёлари ва кеклардан қимматбаҳо металлларни ажратиб олиш саноати ривожига маҳаллий ва хорижий мутахассислар, жумладан Марченко Н. В., Вершинина Е. П., Гильдебрандт Э.М., Снурников А.П., Казанбаев Л.А., Бадалов С.Т., Гариковец В.Г., Митрофанов С.И., Мещанинова В.И., Курочкина А.В., Фельман Р.И., Ушаков К.И., Монгин А.М., Колесников А.В., Пуско А.Г., Такеджанов С.Г., Владимиров Л.П., Востриков В.А., Вострикова Н.М., Санакулов К. С., Абдурахмонов С.А., Юсупходжаев А.А., Хасанов А.С., Талипов Р.М., Турсенбеков А.Х., Холиқулов Д.Б. ва бошқалар салмоқли ҳиссаларини кўшган.

Мавжуд ишлар таҳлиliga кўра, шуни таъкидлаш лозимки, таркибида нодир металллар сақлаган чиқинди кеклардан рангли ва нодир металлларни ажратиб олиш учун комплекс тадқиқотлар (пирометаллургик усулларда қайта ишлаш, вельцлаш усули билан ажратиб олиш, дисстиляциялаш ва ҳ.к.) ўтказилган ва турли усуллар ишлаб чиқилган.

Вельцлаш жараёнининг камчиликлари қуйидагилар:

кокс сарфининг юқорилиги;

жараён ҳароратининг юқорилиги;

кек таркибидаги бошқа қимматбаҳо металлларнинг –Au, Ag, Pb, Cu, Fe ва б. ажратиб олинмаслиги.

Юқоридагилардан келиб чиқиб, рух кеклари таркибидаги барча металлларни самарали ажратиб олишга имкон берадиган, паст ҳароратли технологияни яратиш долзарб муаммо бўлиб ҳисобланади. Рух кеклари таркибидаги фойдали компонентларни ажратиб олиш даражасини ошириш, энергия сарфини камайтириш ва қимматбаҳо коксни ишлатишни тўхтатиш илмий тадқиқот ишининг илмий-техник вазифаси ҳисобланади.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилик институти ва «Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖ илмий-тадқиқот режасининг №02-2091 юр «Рух кекларидан қимматбаҳо металлларни ажратиб олишнинг комбинирланган технологиясини ишлаб чиқиш» (2012 й.); А13-ФК-020123,

A13-050-сон «Рух ишлаб чиқариш чиқиндиси клинкердан рангли ва нодир металлларни ажратиб олиш технологиясини ишлаб чиқиш» (2012-2014 йй.) мавзуларидаги амалий тадқиқотлар ва илмий-техник лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади сув буғи иштирокида термик ишлов бериш, рангли металлларни сульфат кислота эритмасида танлаб эритиш, нодир металлларни цианлаш жараёнларини қўллаган ҳолда рух кеки таркибидан қимматбаҳо компонентларни ажратиб олишни юқори даражага кўтариш ҳамда экологик тоза ва самарали технологиясини яратишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

- рух кекининг моддий ва минералогик таркибини ўрганиш;
- сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида рух, мис, темир минералларининг ҳолат ўзгаришларини ўрганиш;
- сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида рух кеки аъзоларининг ҳолат ўзгаришларини экспериментал асослаш;
- куйиндидан рух ва мисни танлаб эритиш учун сульфат кислота эритмасини қўллаш имкониятларини ўрганиш;
- нодир металллар (Au, Ag) ни ажратиб олишни рационал технологиясини танлаш;
- рух кекини қайта ишлашнинг самарали технологиясини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида «Олмалиқ кон-металлургия комбинати» акциядорлик жамиятидаги рух корхонасининг рух кеки танланган.

Тадқиқотнинг предмети рух кекларини қайта ишлашнинг технологиясини яратиш ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишини бажаришда замонавий комплекс усуллар жамланган, рух ишлаб чиқаришда рух кекини қайта ишлаш бўйича илмий-техник маълумотларни таҳлил қилиш, аналитик усулни қўллаб назарий ўрганишлар, экспериментал тадқиқотлар, кимёвий ва физик-кимёвий усуллар комплекси ёрдамида амалга оширилди: гравиметрик, полярографик, спектрофотометрик таҳлил усуллари, шунингдек, бойитишнинг кимёвий усули, гидрометаллургия усуллари ва тажриба натижаларига статистик ишлов бериш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

- рух кекидан олтингугуртни йўқотиш ва рух, мис ҳамда темир минералларининг сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида оксидланиш механизми аниқланди, бундан ташқари 400–700⁰С ҳарорат оралиғида рўй берадиган кимёвий жараёнлар аниқланган;
- сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида олтингугурт бирикмаларининг катализаторлик хусусиятлари аниқланган;
- рух кекидан рангли металлларни сульфат кислота эритмасида танлаб эритиш технологияси ишлаб чиқилган;
- рух кеки таркибидан нодир металлларни ажратиб олишнинг янги такомиллаштирилган технологияси ишлаб чиқилган;

рух кеки таркибидан кимматбаҳо металлларни ажратиб олишнинг сув буғи иштирокида паст ҳароратли куйдириш, сульфат кислотали танлаб эритиш ва цианлаш жараёнларини қўллаб юқори ажралиш даражаси билан ажратиб олишнинг технологик схемаси ва дастгоҳлар занжир схемаси яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

чиқинди кеклардан рух, мис ва темир минералларининг паст ҳароратли сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнининг технологик параметрлари ўрганилган ва аниқланган;

сув буғи иштирокида термик ишлов берилган рух кекидан мис, рух ва темир металлларининг сульфат кислотали танлаб эритиш жараёнининг термодинамик параметрлари аниқланган;

рух кеки таркибидан қўшимча равишда мис, олтин ва кумушни паст ҳароратли куйдириш, сульфат кислотали танлаб эритиш ҳамда кекни цианлаш жараёнларини қўллаган ҳолда қимматбаҳо компонентларни ажратиб олишнинг янги такомиллаштирилган технологияси йўлга қўйилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги етарли даражада ўтказилган лаборатория ва ярим-саноат тажрибалари, ишлаб чиқилган сув буғи иштирокида паст ҳароратли куйдириш ва сульфат кислотода танлаб эритиш жараёни оптимал режимларини қўллаш орқали асосий компонентни ажратиб олиш даражасининг ошиши ва ишнинг асосий ғоясини миқдор жиҳатидан тасдиқлайди ва қониқарли мос келадиган натижалар асосида, эрувчанлик даражасининг ошганлигини ва олинган мис, олтин ва кумушнинг ажралиш даражасини ошганлигини тасдиқловчи салмоқли ижобий натижалар, шунингдек ижобий лаборатория ва саноат-тажриба синовлари далолатномалари билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқотнинг илмий аҳамияти рух кекини қайта ишлашда қўлланиладиган технологик маромни параметрларини асослаш ва жараёнларни рўй бериш қонуниятларини мақсадга мувофиқлигини назарий ва амалий жиҳатдан асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти рух кекини қайта ишлашнинг атроф-муҳитни ҳимоя қилган ҳолда қимматбаҳо компонентларни комплекс ажратиб олишни назарда тутган термохимёвий асосларини ишлаб чиқишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Рух ишлаб чиқаришда рух кекини паст ҳароратли қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

рух кекларини қайта ишлаш усулига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (№IAP 05300, 2016 й.). Натижада, рух кекларига сув буғи иштирокида паст ҳароратли куйдириш орқали қимматбаҳо металлларни ажратиб олиш имконини берган;

ҳосил бўладиган рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш, олинган куйиндини сульфат кислота эритмасида танлаб эритиш жараёнлари

«Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖнинг рух ишлаб чиқариш корхонасида амалиётга жорий қилинган («Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖнинг 2020 йил 17 ноябрдаги 63-423-сон маълумотномаси). Натижада, рангли металлларни эритмага ажратиб олиш даражасини 2–5% га ошган, қолдиқ кекда нодир металлларнинг миқдори ошган ва кўрғошин таркибли маҳсулот олиш имконини берган;

рух кекини сув буғи иштирокида куйдириш, куйиндини сульфат кислота эритмасида танлаб эритиш технологияси «Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖнинг рух ишлаб чиқариш корхонасида амалиётга жорий қилинган («Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖнинг 2020 йил 17 ноябрдаги 63-423-сон маълумотномаси). Натижада, кек таркибидан рангли ва нодир металлларни ажратиб олиш, ҳамда қўшимча кўрғошин таркибли кек олиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқотнинг натижалари 2 та халқаро ҳамда 5 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 21 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан 5 та республика ва 2 та хорижий журналларда нашр этилган, шунингдек Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг Патенти мавжуд.

Диссертациянинг тузилиш ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 110 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.

«Рух кекларини қайта ишлашнинг замонавий аҳволи, назарияси ва технологияси» деб номланган биринчи бобда рух кекларини комплекс қайта ишлашнинг замонавий ҳолати ва ривожланиш даражаси бўйича таҳлил ўтказилган.

Рухни бойитмадан ажратиб олишда 2 та усул: пирометаллургик (дистилляция) ва гидрометаллургик (электролитик) қўлланилади. Тарихан дастлабки усул пирометаллургик усул бўлиб, бу усулнинг технологияси ва дастгоҳларининг тузилиши рухни оксиддан тиклашнинг ўзига хос

хусусиятлари билан боғланган. Рух оксидини углерод ва СО билан металл ҳолигача қайтариш 1000–1100°С ҳароратда рўй беради, бунда олинадиган рухнинг қайнаш ҳарорати эса 906°С га тенг.

Ҳозирги кунда рух хомашёси таркибидаги компонентлардан тўлиқ фойдаланишга, чиқиндисиз технологияни жорий қилишга, юқори маркали рух олишга катта эътибор қаратилмоқда. Кўрсатилган масалаларни ечиш учун рух ишлаб чиқариш саноатида рух бойитмасини гидрометаллургик усулда қайта ишлаш усулидан фойдаланилмоқда.

Рух кекларини қайта ишлайдиган кўшгина корхоналарда рух кеклари пирометаллургия усулида (вельцлаш) қайта ишланади. Аксарят илмий-тадқиқот ишлари ушбу жараёни такомиллаштиришга қаратилган. Аммо вельцлаш жараёнида қимматбаҳо кокс сарфининг юқорилиги, жараённинг юқори ҳароратда кечиши ва ҳосил бўладиган клинкердан металларни ажратиб олишнинг самарали технологияси яратилмаганлиги бу жараённинг етарли даражада самарали эмаслигини билдиради. Адабиётлар таҳлили натижасида рух кекларини қайта ишлашнинг паст ҳароратли ва самарали технологиясини яратиш лозимлиги аниқланди.

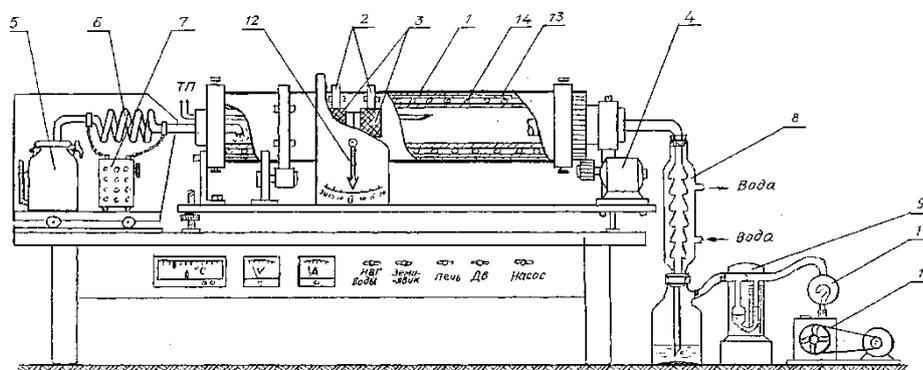
«Рух кеклари таркибини тадқиқ қилиш» деб номланган иккинчи бобда объект сифатида олинган ОКМК рух корхонасининг рух кеки кимёвий ва минералогик таркиби ўрганилган. Рух кеки турли формада донатор ҳолда бўлиб, нисбатан йирик бўлаклари 50 мм гача бўлади. Кек намунасини тажрибада тадқиқ қилишга тайёрлаш учун диски майдалагичда янчилди. Рух кекининг кимёвий ва минералогик таркиби таҳлилнинг спектрал, кимёвий ва минералогик усуллари ёрдамида аниқланди.

Минералогик таҳлил натижаларига кўра кек таркибида рух 23 % жумладан, ZnO (0,8%), ZnSO₄ (1,2%), 2ZnO·SiO₂ (3,9%), ZnO·Fe₂O₃ (5,6%), ZnS (11,5%) кўринишида, темир 15,5%, жумладан FeS (2,5%), FeO (4,3%), Fe₂O₃ (8,7%) кўринишида, кўрғошин 6,3%, жумладан PbO (4,4%), PbS (1,9%) кўринишида, мис 3,5%, жумладан CuS (1,6%), CuSO₄ (1,9%) кўринишида учрайди. Олтин ва кумуш металлари асосан эркин ҳолда учрайди.

Рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш 1-расмда кўрсатилган тажриба жиҳозида амалга оширилди. Тажриба қурилмаси буғ генератори, учирмаларини совитиш ва ушлаш системаси, вакуум насос, ички диаметри 53 мм, узунлиги 517 мм бўлган айланма қувурли электр печидан ташкил топган. Печнинг ички қисми кварцли қувурча билан футеровкаланган, қоплама металлдан тайёрланган. Кварцли қувурчага печни қиздириш учун нихромли сим ўралган. Кожух ва футеровка орасига иссиқликни химояловчи материал - асбест жойлаштирилган. Печда тирковчи роликлар ўрнатилган бўлиб, тишли ғилдирак ва электромотор ёрдамида 8 айл/мин частота билан айланиб туради.

Тажриба қуйидагича олиб борилади: йириклиги -0,1 мм гача янчилган рух кеки 105⁰С ҳароратда доимий оғирликка эришгунча қуритилади ва айланма қувурли печга жойлаштирилади. Печь ҳарорати 250⁰С га етганда печга буғ генераторидан қиздирилган сув буғи бериб бошланади. Чиқинди газлар кетма-кет ютувчи идишлар орқали ўтказилади. Ютувчи идишларда

мис сульфат ва водород пероксид эритмалари бўлади. Тажриба тугагандан сўнг печь совитилади, намуна печдан бўшатилиб, тарозида тортилиб, дастлабки ва охириги масса фарқи аниқланади. Олинган куйинди танлаб эритиш учун хомашё ҳисобланади.



- | | | | |
|--------------------------|-----------------------|--|---------------------|
| 1. Айланма қувурли печь. | 5. Буғгенератор | 9. Манометр. | 13. Кварцли қувур. |
| 2. Туташтирувчи халқа. | 6. Спираль. | 10. Ҳаво насоси. | 14. Нихром спирали. |
| 3. Графитли контакт. | 7. Автотрансформатор. | 11. Шиша шар | |
| 4. Электромотор. | 8. Совитгич | 12. Печь қиялигини кўрсатувчи кўрсатгич. | |

1-расм. Рух кекини сув буғи иштирокида термик қайта ишлаш тажриба қурилмаси

«Рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов беришни тадқиқ қилиш» деб номланган учинчи бобда рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёни тадқиқ қилинган. Маълумки, рух бойитмаларини куйдириш жараёнида ферритларнинг ҳосил бўлиши натижасида танлаб эритиш жараёнида рухнинг маълум миқдори кек таркибида қолади. Рух билан биргаликда танлаб эритиш қолдиғида тўлиқ миқдорда қўрғошин, олтин ва қумуш қолади.

Тадқиқотлар рух кеки таркибидаги минералларнинг 400-900⁰С ҳароратда ҳолат ўзгаришларини термодинамик ўрганишга йўналтирилди.

Рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов берилганда кўпгина кимёвий реакциялар содир бўлади ва уларни қуйидаги гуруҳларга бўлиш мумкин:

1. Олтингугуртли минераллар (сфалерит, пирит, галенит ва б.) нинг оксидланиши.

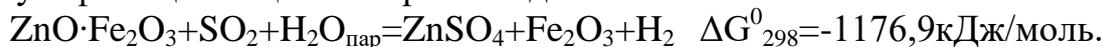
2. Силикат ва ферритларнинг сув буғи билан кислород ва олтингугурт (IV) оксиди иштирокида парчаланиши.

Аниқландики, элементар олтингугуртнинг учиши 150-200⁰С ҳароратда, арсенопирит ва пиритнинг парчаланиши 450-500⁰С ҳароратда рўй берар экан. Пирит, арсенопирит ва халькопиритнинг тўлиқ парчаланиши ~700⁰С ҳароратда тугалланади. Бунда газ фазасига олтингугурт тўрт оксиди каби энгил учувчан компонентлар ўтади.

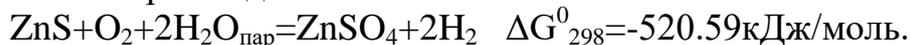
Элементар олтингугурт рух кекларида эркин ҳолда ва органик бирикмалар ҳолида бўлади. Бундан ташқари у турли реакциялар натижасида, жумладан, сфалерит, пирит, халькопирит, арсенопиритларнинг парчаланиши

натижасида ҳам ҳосил бўлади. Сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида у қаттиқ, суяқ ва газсимон ҳолда учраши мумкин.

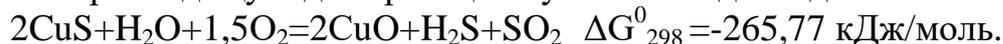
Сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида рух феррити сув буғи билан олтингугурт (IV) оксиди иштирокида қуйидаги реакция бўйича рух сульфати ҳосил қилиб парчаланadi:



Сфалерит сув буғи билан кислород иштирокида қуйидаги реакция бўйича таъсирлашади:



Мис сульфиди сув буғи билан кислород иштирокида термик ишлов бериш жараёнида қуйидаги реакция бўйича оксидланади:

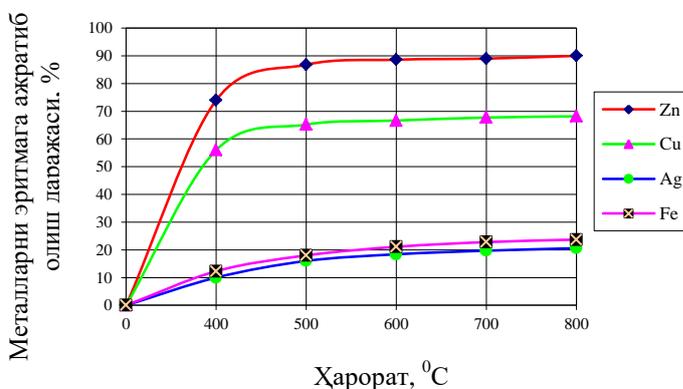


Шундай қилиб, термодинамик ҳисоблашлар қуйидагиларни кўрсатди:

1. Сув буғи билан сульфидларнинг оксидланиши кислород иштирокида ва кислородсиз амалга ошиши мумкин. Кек таркибидаги элементар олтингугурт ва сульфидларнинг парчаланишидан ҳосил бўлган олтингугурт сув буғи билан реакцияга киришиб олтингугурт (IV) оксиди ҳосил қилади ва кейинчалик олтингугурт (IV) оксиди сульфидли минераллар билан таъсирлашади.

2. Термодинамик ҳисоблашлар шуни кўрсатадики рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида рух сульфиди (ZnS) рух оксидига (ZnO), рух феррити (ZnO·Fe₂O₃) ZnSO₄ ва Fe₂O₃ га, мис мис оксидига (CuO), темир сульфидлари магнетит (Fe₃O₄) ҳолатига ўтади.

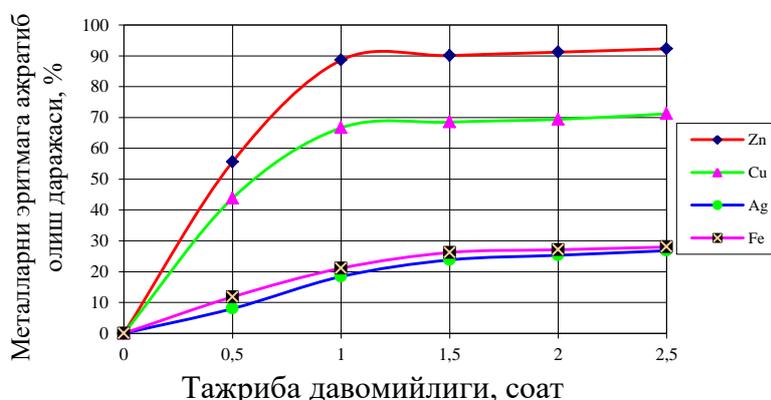
Сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнини таъсирини билиш мақсадида қуйинди сульфат кислота эритмаси билан танлаб эритилди. Тажрибанинг барча маҳсулотлари кимёвий таҳлилга берилди. Тадқиқотлар ўтказиш давомида сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёни ҳароратини турли металлларни эритмага ажратиб олиш даражасига боғлиқлиги ўрганилди. Тажрибалар 400-800⁰С ҳароратда ўтказилди. Тажриба натижалари 2-расмда берилган.



2-расм. Металлларни эритмага ўтиш даражасини сув буғи иштирокида термик ишлов бериш ҳароратига боғлиқлик графиги

Тажриба натижаларига асосланиб 600⁰С ҳароратда сув буғи иштирокида термик ишлов бериш металлларни сульфат кислотали эритмага ўтказиш даражасига яхши таъсир кўрсатишини айтиш мумкин. 600⁰С дан юқори ҳароратда ишлов берилган Zn ва Cu нинг эритмага ажратиб олиш даражаси сезиларли даражада ошмайди. Шунинг учун рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов беришнинг оптимал ҳароратини 600⁰С деб қабул қилиш мумкин.

Рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш давомийлигини металлларни эритмага ажратиб олиш даражасига боғлиқлигини ўрганиш мақсадида 0,5; 1; 1,5; 2 ва 2,5 соат вақт давомида тажрибалар ўтказилди. Ўтказилган тажрибалар натижалари 3-расмда келтирилган.



3-расм. Металлларни эритмага ажратиб олиш даражасини сув буғи билан термик ишлов бериш давомийлигига боғлиқлиги

Оптималъ ҳароратда рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш давомийлигининг ортиши куйинди массасини камайишига ва куйиндида рух ва бошқа металлларнинг концентрациясининг ортишига олиб келади. Олинган тажриба натижалари ва иқтисодий мулоҳазаларга асосланиб рух кекларига сув буғи иштирокида термик ишлов беришнинг ҳарорати 600⁰С ва ишлов бериш давомийлигини 1 соат деб қабул қилиш мумкин. Олинган куйиндининг кимёвий таркиби 1-жадвалда берилган.

1-жадвал

Куйиндининг кимёвий таркиби

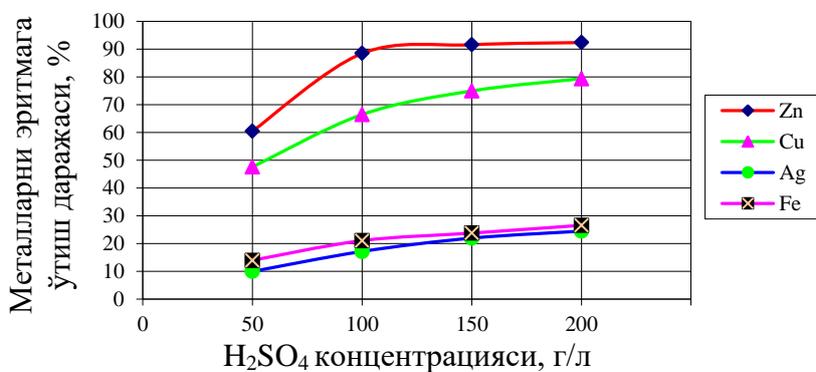
Элементлар	Zn	Cu	Cd	Fe	S _s	Pb	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Au	Ag
Микдори, %	25,2	4,02	0,11	18,8	0,2	6,98	12,1	4,6	0,92	224,3
									г/т	г/т

Куйиндини сульфат кислота эритмасида танлаб эритишда турли омилларнинг таъсири ўрганилди. Рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш натижасида олинган маҳсулотни танлаб эритишда сульфат кислота эритмаси мос келади. Сульфат кислотаси оксидли рух минералларини яхши эритувчиси бўлиб, бунда кумушни эриш даражаси

юқори эмас, олтин эса амалда эримайди. Танлаб эритишда сульфат кислота эритмасини қўллаш шуниси билан аҳамиятлики, бунда рух сульфати эритмаси ҳосил бўлиб, уни рух ишлаб чиқариш корхонасининг асосий жараёни эритмасига қўшиб юбориш мумкин бўлади. Бундан ташқари сульфат кислота таннархининг пастлиги ва гидрометаллургик жараёнлар дастгоҳларига кучсиз коррозион таъсири билан ажралиб туради.

Рух оксидини сульфат кислота эритмасида яхши эриши куйиндини танлаб эритиш жараёнини турли омилларга (жараён давомийлиги, ҳарорат, бўтана зичлиги, эритувчи концентрацияси) боғлиқлигини ўрганишга асос бўлди. Бундан ташқари, хомашёни комплекс қайта ишлашни инобатга олиб рух ва миснинг қимматбаҳо йўлдошларини (Pb, Ag ва б.) сульфат кислотали эритмада ўзгаришларини тадқиқ қилиш муҳим ҳисобланади. Куйиндида металллар асосан оксиди ҳолда учрайди. Рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш маҳсулотини (кейинчалик куйинди) сульфат кислота эритмаси билан танлаб эритишда асосий минераллар ва қўшимчалар (ZnO, PbO, FeO, Fe₂O₃ ва б.) билан реакциялар кечади.

Лаборатория шароитида турли омилларни (ҳарорат, кислота концентрацияси, танлаб эритиш вақти, бўтана зичлиги ва б.) металлларни эритмага ўтиш даражасига таъсири тадқиқ қилинди. Куйиндини танлаб эритишда рух ва бошқа металлларни эритмага ажратиб олиш даражаси 60⁰С ҳароратда (К:С=1:5) сульфат кислота концентрациясига маълум даражада боғлиқ бўлади. Тажриба натижалари 4-расмда берилган.

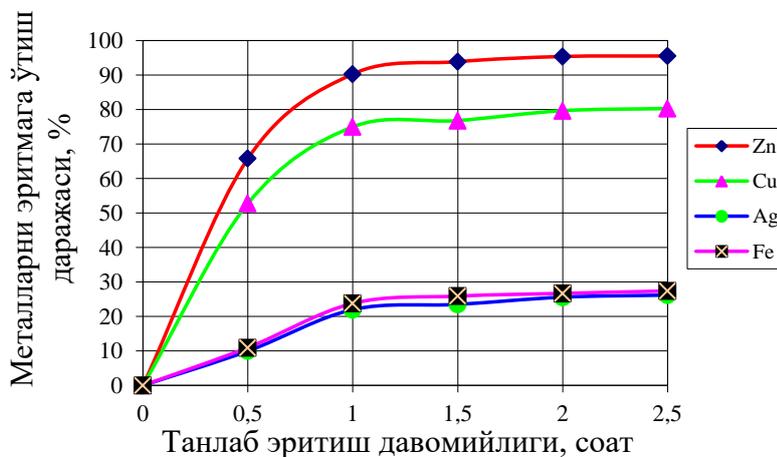


4-расм. Металлларни эритмага ажратиб олиш даражасини H₂SO₄ концентрациясига боғлиқлиги

Олиб борилган тажрибалар натижасига кўра эритмада сульфат кислота концентрациясини ортиши билан (150 г/л гача) металлларни эритмага ўтиш даражаси ортади. Сульфат кислота концентрациясини 150 г/л дан ҳам ошириш рухни эритмага ўтиш даражасига сезиларли таъсир кўрсатмайди, аммо қўшимча металллар (айниқса темир) ни эритмага ўтиш даражаси ошиб кетади. Шунинг учун, куйиндини танлаб эритишда эритмада сульфат кислота концентрациясини 150 г/л гача бўлиши тавсия этилади.

Куйиндидан рухни танлаб эритиш давомийлигини ўрганиш шуни кўрсатадики, дастлабки босқичда (60 минутгача) рухни эритмага ўтиши жуда

тезлик билан бўлиб, маълум вақтдан (120 минут) кейин динамик мувозанатга эришади. Тажриба натижалари 5-расмда берилган.



5-расм. Металларни эритмага ўтиш даражасини танлаб эритиш давомийлигига боғлиқлиги

Куйинди ва сульфат кислота эритмасини аралаштириш вақтини оширилиши, эритмада қўшимча металлларнинг концентрациясини ошишига олиб келади. Куйиндини сульфат кислота эритмаси билан аралаштирганда биринчи навбатда рух ва миснинг оксидли минераллари реакцияга киришади. Темир ва кумуш нисбатан секин таъсирлашади. Шунинг учун, рухни юқори миқдорда ажратиб олиш ва қўшимча металлларни кам эритмага ўтиши учун танлаб эритиш вақтини 2 соат деб қабул қилиш мумкин.

Кўпгина кимёвий реакциялар тезлиги ҳароратнинг ортиши билан тезлашади. Куйинди таркибидаги металлларни танлаб эритиш учун ҳароратнинг таъсири ўрганилди. Тажриба натижаларига кўра дастлаб танлаб эритиш ҳароратининг ошиши билан рухнинг эритмадаги концентрациясини секин ортиши кузатилади. Ҳарорат 40⁰С дан кўтарилганда рухнинг эритмага ўтиши тезлаша бошлайди. Бу нисбатан юқори ҳароратда ZnSO₄ нинг тезроқ ҳосил бўлиши билан тушунтирилади. Тажриба натижаларига кўра ҳароратни ортиши танлаб эритиш тезлигини ортишига сабаб бўлади, аммо ҳароратни 80⁰С дан юқори бўлиши рухни эритмага ўтишига кам таъсир кўрсатсада, қўшимча металлларнинг эритмага ўтиши тезлашиб кетади.

Бўтанани бир хил зичликка эга бўлишини таъминлаш механик аралаштирувчи қурилма ёрдамида амалга оширилди. Тажриба натижаларига асосан бўтанани аралаштириш тезлигининг ортиши билан рухни эритмага ўтиш даражаси ортади. Аралаштириш тезлигини тўғри танлаш металлларни эриш тезлигини оширишга эришиш учун муҳим омил бўлиши мумкин. Аммо, жараён тезлиги аралаштиришнинг маълум бир частотасигача ортади сўнгра эса камай бошлайди.

Шундай қилиб, сув буғи иштирокида ишлов берилган рух кекини сульфат кислотали танлаб эритиш учун қуйидаги оптимал шароитлар аниқланди: дастлабки эритмада сульфат кислота концентрацияси 125-150 г/л, ҳарорат 75-80⁰С, танлаб эритиш давомийлиги 2 соат. Бу шароитда рухнинг

эритмага ўтиш даражаси 95-96 %, темирники 28,1 %, кекнинг куйиндига нисбатан чиқиши 58-60%.

«Сульфат кислота эритмасида танлаб эритишдан қолган қолдиқдан олтин ва кумушни ажратиб олиш» деб номланган тўртинчи бобда нодир металлларни тиосульфат, тиомочевина ва натрий цианид эритмаси билан танлаб эритиш жараёнилари ўрганилган.

Нодир металлларни эритувчи истикболли эритувчилардан бири кам заҳарли натрий тиосульфат эритмасидир. Тиосульфатли танлаб эритишда асосий ўринни ҳарорат омили эгаллайди. Олтиннинг эришини сезиларли даражада ортиши ҳарорат 50⁰С дан юқори бўлганда бошланади. Ҳарорат 90⁰С дан юқори бўлганда олтиннинг тиосульфатда эриши циан эритмасида эришидан 30 марта юқори бўлади. Аммо бу шароитда эритмада кислород концентрацияси паст бўлиб, эритмага турли оксидловчилар берилиши талаб қилинади.

Танлаб эритиш ҳажми 500 мл бўлган стаканда магнитли аралаштиргич ёрдамида амалга оширилди. Тажриба бошлангандан 2,4,8 ва 24соатдан сўнг эритмадан таҳлил учун намуналар олиниб, эритманинг рН муҳити ва эритмадаги металл концентрацияси аниқланди. Дастлабки тажрибалар Na₂S₂O₃ нинг 4г/дм³ эритмаси билан Қ:С=1:5 бўлган шароитда амалга оширилди.

Дастлабки кекдаги металллар миқдори, г/т: Au-1,62, Ag-274,4. Тажриба натижаларидан кўринадикки 10 соат давомида тиосульфат эритмаси билан танлаб эритилганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси етарли даражада юқори эмас. Танлаб эритиш давомийлигининг бундан ҳам ортиши металлларнинг эритмага ўтиш даражасига сезиларли таъсир кўрсатмайди. Металлларнинг эритмага ўтиш даражасига ҳарорат омили муҳим ўрин эгаллаганлиги сабабли 25⁰С дан 95⁰С гача бўлган ҳароратларда тажрибалар ўтказилди. Ҳарорат 25⁰С бўлганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси жуда кичик Au-14.24%, Ag-9.4% ни ташкил қилади. Ҳарорат 85-95⁰С гача ортганда металлларни эритмага ўтиш даражаси сезиларли даражада ортиб Au-63,6%, Ag-56,4% га етади.

Олтин ва кумушни тиокарбамидли танлаб эритиш ўтган асрнинг 40-йилларида таклиф қилинган бўлиб, у тиокарбамид (тиомочевина) оксидланмайдиган кислотали муҳит рН=2-4 да олиб борилади. Оксидловчи сифатида одатда уч валентли темир сульфати (Fe₂(SO₄)₃) ёки водород пероксид ишлатилади. Танлаб эритиш тезлиги эритманинг рН муҳитига ва тиомочевина билан оксидловчининг концентрациясига боғлиқ бўлади.

Лаборатория шароитида сув буғи иштирокида термик ишлов бериб олинган куйиндини сульфат кислотали танлаб эритишдан қолган қолдиқни тиомочевинали танлаб эритиш жараёни ўрганилди. Танлаб эритиш ҳажми 500 мл ли стаканда магнитли аралаштиргич ёрдамида амалга оширилди. Намуна массаси 100 г, фазалар нисбати Қ:С=1:4. Тиомочевинали танлаб эритишга вақтнинг таъсирини ўрганиш тиомочевинанинг 0,5%, сульфат кислотанинг 1,8%, водород пероксиднинг 0,33% эритмаси билан олиб борилди. Тажриба натижаларига кўра танлаб эритиш вақти 2 соат бўлганда

Au-68%, Ag-76% эритмага ўтади. Аниқландики, танлаб эритиш вақти 2 соатдан олти соатгача оширилганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси максимал қийматга эришади, яъни Au-89%, Ag-96% эритмага ўтади. Танлаб эритиш вақтини бундан орттириш олтин ва кумушни эритмага ўтиш даражасини оширмайди. Металлларни эритмага ўтиш даражасига тиомочевина концентрациясининг таъсири ўрганилди. Эритмадаги тиомочевина концентрацияси 0,25 дан 2% гача оширилиб сульфат кислота концентрацияси ўзгармас 1,8%, водород пероксид концентрацияси ўзгармас 0,33% га тенг бўлди. Танлаб эритиш вақти 6 соатни ташкил қилди. Тажриба натижаларига асосан олтин ва кумушни эритмага ўтиш даражаси тиомочевина концентрациясига тўғри пропорциональ эканлигини айтиш мумкин. Тиомочевина концентрацияси 0,5% га тенг бўлганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси Au- 71%, Ag-79% га, тиомочевина концентрацияси 2% га тенг бўлганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси Au- 88%, Ag-94% га тенг бўлади. Тиомочевина концентрациясини 2% дан оширилиши металлларни эритмага ўтиш даражасини ортишига олиб келмайди.

Олтин ва кумушни тиомочевина эритмасида танлаб эритишда кислотали муҳитнинг таъсири ўрганилди. Сульфат кислота эритмага 0,9% дан 2,8% гача берилди. Тажрибалар тиомочевинанинг 2% ли эритмасида 0,33% водород пероксид иштирокида 6 соат давомида аралаштирилиб олиб борилди. Сульфат кислота концентрацияси 1,9 % га етгунча металлларни эритмага ўтиш даражаси ортиб бориб, Au-88% га Ag-95% га эришади. Сульфат кислота концентрациясини бундан ҳам ортиши металлларни эритмага ўтиш даражасига сезиларли таъсир кўрсатмайди. Шундай қилиб, танлаб эритишни сульфат кислотанинг 1,9% ли эритмаси билан олиб борган маъқул ҳисобланади. Тиомочевинали танлаб эритишда оксидловчи сифатида водород пероксид ишлатилди. Металлларни эритмага ўтиш даражасини оксидловчининг концентрациясига боғлиқлиги ўрганилди. Тажрибада тиомочевина концентрацияси 2%, сульфат кислота концентрацияси 1,9%, тажриба давомийлиги 6 соатда ўрганилди. Тажриба натижаларига асосан водород пероксиднинг концентрацияси 0,16% бўлганда металлларни ажратиб олиш даражаси Au-69%, Ag-75% га, оксидловчи концентрацияси 0,33% бўлганда металлларни ажратиб олиш даражаси Au-88%, Ag-92% га тенг бўлар экан.

Шундай қилиб, олиб борилган тадқиқотлар натижасида тиомочевинали танлаб эритишнинг қуйидаги оптималь параметрлари аниқланди: тиомочевина концентрацияси -2%, сульфат кислота концентрацияси -1,9%, водород пероксид концентрацияси 0,33%, танлаб эритиш вақти – 6 соат бўлганда металлларни эритмага ўтиш даражаси Au-88%, Ag-92% га тенг бўлди.

Ҳозирги кунда олтин ва кумушни циан эритмаси билан танлаб эритиш кенг қўлланилаётган самарали усуллардан биридир. Цианлаш жараёнининг маромини ўрганиш мақсадида тажрибалар олиб борилди. Дастлабки кекдаги металллар миқдори, г/т: Au-1,62, Ag-274,4.

Лаборатория шароитида сув буғи иштирокида термик ишлов бериб олинган куйиндини сульфат кислотали танлаб эритишдан қолган қолдиқни циан эритмаси билан танлаб эритиш жараёни ўрганилди. Танлаб эритиш ҳажми 500 мл ли стаканда магнитли аралаштиргич ёрдамида амалга оширилди. Намуна массаси 100 г, фазалар нисбати Қ:С=1:1,5. Цианлашга вақтнинг таъсирини ўрганиш натрий цианиднинг 0,1%, СаО нинг 0,2% эритмаси билан олиб борилди.

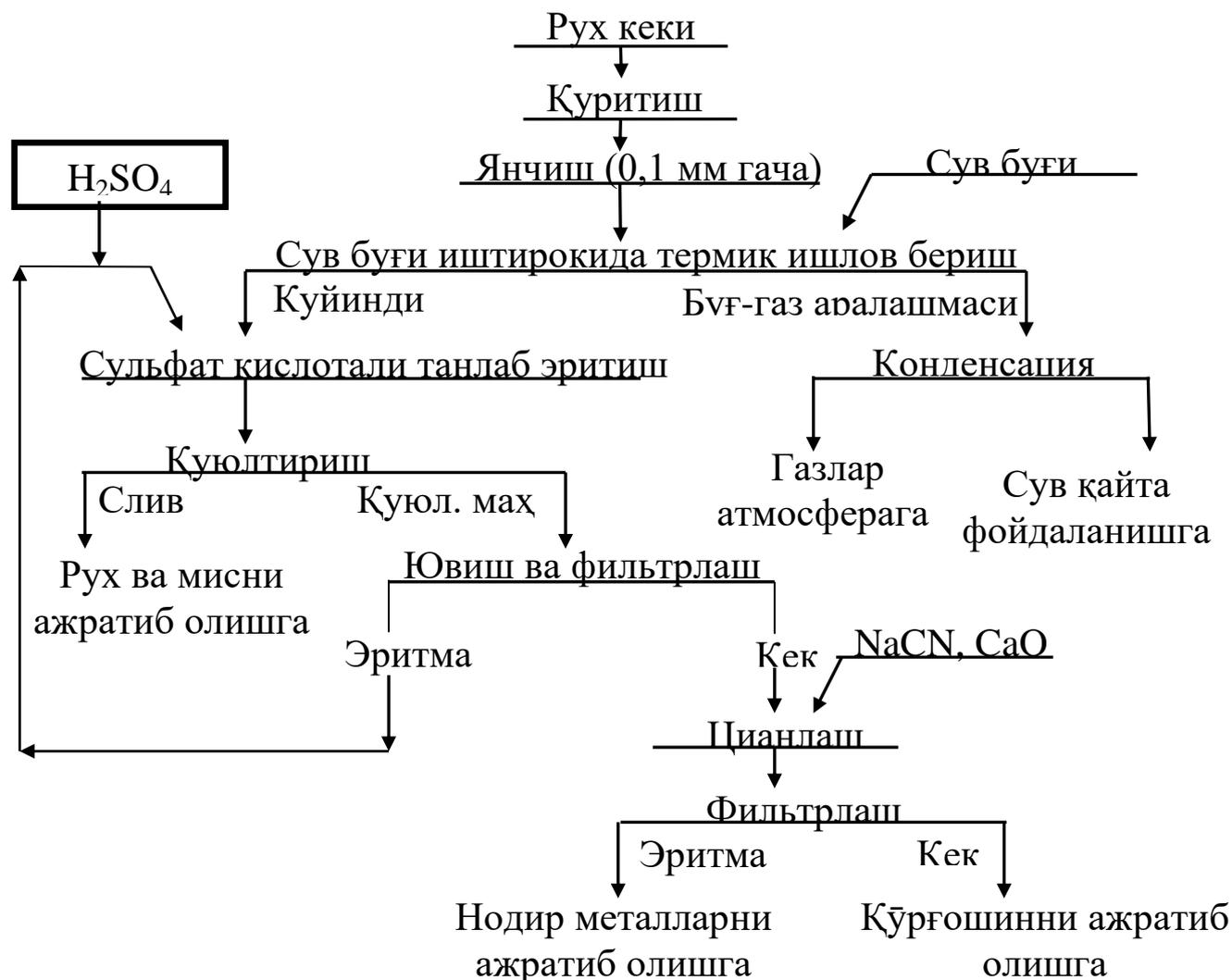
Тажриба натижаларига кўра танлаб эритиш вақти 6 соат бўлганда Au-68%, Ag-76% эритмага ўтади. Аниқландики, танлаб эритиш вақти 6 соатдан 24 соатгача оширилганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси максимал қийматга эришади, яъни Au-89%, Ag-96% эритмага ўтади. Танлаб эритиш вақтини бундан орттириш олтин ва кумушни эритмага ўтиш даражасини оширмайди.

Металларни эритмага ўтиш даражасига натрий цианид концентрациясининг таъсирини ўрганилди. Эритмадаги натрий цианид концентрацияси 0,1 дан 0,5% гача оширилиб тажрибалар ўтказилди. Танлаб эритиш вақти 24 соатни ташкил қилди.

Тажриба натижаларига асосан олтин ва кумушни эритмага ўтиш даражаси натрий цианид концентрациясига тўғри пропорционал эканлигини айтиш мумкин. Натрий цианид 0,1% га тенг бўлганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси Au- 71%, Ag-79% га, натрий цианид концентрацияси 0,5% га тенг бўлганда металлларнинг эритмага ўтиш даражаси Au- 92%, Ag-96% га тенг бўлади. Натрий цианид концентрациясини 0,5% дан оширилиши металлларни эритмага ўтиш даражасини сезиларли даражада ортишига олиб келмайди. Шундай қилиб, олиб борилган тадқиқотлар натижасида цианлашнинг қуйидаги оптимал параметрлари аниқланди: NaCN концентрацияси -0.5%, танлаб эритиш вақти – 24 соат бўлганда металлларни эритмага ўтиш даражаси Au-92%, Ag-96% га тенг бўлди.

«Технологияни йириклашган тажриба шароитида ўрганиш» деб номланган бешинчи бобда рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш, сув буғи иштирокида термик ишлов берилган рух кекини сульфат кислота эритмасида танлаб эритиш жараёнлари йириклашган тажриба шароитида ўрганилган. Олиб борилган тадқиқот натижаларига асосан рух кекларини қайта ишлаш учун 6-расмда келтирилган технологик схема тавсия этилади.

1000 тонна рух кекини қайта ишлаш натижасида кутилаётган йиллик иқтисодий самара 543135000 сўмни ташкил қилади. Таклиф қилинаётган технология бўйича қайта ишлаш учун киритиладиган харажатларни қоплаш муддати 1 йилдан кам вақтни ташкил этади.



6-расм. Рух кекларини қайта ишлаш учун тавсия этилаётган технологик схема

ХУЛОСА

«Рух кекларини қайта ишлашнинг паст ҳароратли технологиясини яратиш» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотларга асосланган ҳолда, назарий ва амалий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Рух кеки турли формада дондор ҳолда бўлиб, нисбатан йирик бўлаклари 50 мм гача бўлади. Шунинг учун рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнини олиб бориш учун кекни ўлчами 0,1 мм гача янчишни талаб қилади.

2. Рух кекининг таркиби ва хоссалари тўлиқ ўрганиб чиқилди ва унинг таркибида рух 23 % жумладан, ZnO (0,8%), ZnSO₄ (1,2%), 2ZnO·SiO₂ (3,9%), ZnO·Fe₂O₃ (5,6%), ZnS (11,5%) кўринишида, темир 15,5%, жумладан FeS (2,5%), FeO (4,3%), Fe₂O₃ (8,7%) кўринишида, қўрғошин 6,3%, жумладан PbO

(4,4%), PbS (1,9%) кўринишида, мис 3,5%, жумладан CuS (1,6%), CuSO₄ (1,9%) ҳолда учраши ҳолати кўзатилади.

3. Тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики қиздириш натижасида мураккаб сульфидларнинг 450-700⁰С ҳарорат оралиғида кўп босқичли парчаланиши кузатилади. Шундай қилиб, 600-700⁰С ҳароратда халькопирит, арсенопирит, пирит, борнит ва бошқа бир қанча минералларнинг парчаланиши ва сфалерит, мис сульфидларининг оксидланиши кузатилади. Рух кекига сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнида рух сульфиди (ZnS) рух оксидига (ZnO), рух феррити (ZnO·Fe₂O₃) ZnSO₄ ва Fe₂O₃ га, мис мис оксидига (CuO), темир сульфидлари магнетит (Fe₃O₄) ҳолатига ўтади.

4. Рух кекларини сув буғи иштирокида термик ишлов бериш усули билан қайта ишлаш жараёни тажрибалар асосида ўрганилди ва жараёни ўтказишнинг қуйидаги оптимал шароитлари аниқланди: ҳарорат 600⁰-700⁰С, ишлов бериш давомийлиги 1-1,5 соат, сув буғи сарфи 100 л/т. Бу шароитда куйиндининг чиқиши 92,5 % бўлиб, унда рух 25,19% бўлади.

5. Аниқландики, сув буғи иштирокида термик ишлов бериш натижасида олинган куйиндидан металлларни танлаб эритиш учун сульфат кислота эритмаси жуда мос келади. Танлаб эритиш учун аниқланган оптимал шароитлар қуйидагилар: танлаб эритиш давомийлиги 2 соат, H₂SO₄ концентрацияси 150 г/л, танлаб эритиш ҳарорати 80⁰С. Бу шароитда рухни эритмага ўтиш даражаси 94,7% , мисники 82,6 % бўлиб, кекнинг чиқиши 59-60%. Олинган эритма таркибида рух - 45÷46 г/л; мис—6÷6,3 г/л; темир – 10÷11 г/л ни ташкил этади.

6. Сув буғи иштирокида термик ишлов бериб олинган куйиндини сульфат кислотали танлаб эритишдан қолган қолдиқдан олтин ва кумушни ажратиб олиш учун энг мақбул усул циан эритмаси билан танлаб эритиш эканлиги аниқланди. Олиб борилган тадқиқотлар натижасида цианлашнинг қуйидаги оптимал параметрлари аниқланди: NaCN концентрацияси -0.5%, танлаб эритиш вақти – 24 соат бўлганда металлларни эритмага ўтиш даражаси Au-92%, Ag-96% га тенг бўлди.

7. Тадқиқот натижаларига асосан рух кекларини самарали қайта ишлашнинг технологик ва дастгоҳларнинг занжир схемаси тавсия этилди ва техник-иқтисодий кўрсаткичлари аниқланди. Унга асосан 1000 т рух кекини қайта ишлаш бўйича кутилаётган иқтисодий самара 543135000 сўмни ташкил этади.

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

НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

АХТАМОВ ФОЗИЛ ЭРКИНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПЕРЕРАБОТКИ ЦИНКОВЫХ КЕКОВ**

04.00.14 – Обогащение полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD)

Навои – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2020.3.PhD/T1796

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме) размещен на веб-странице научного совета (www.ndki.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: **Абдурахмонов Сойиб Абдурахмонович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Муриддинов Баходир Фахриддинович**
доктор технических наук, профессор

Худояров Сулейман Рашидович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова**

Защита диссертации состоится 11 декабря 2020 года в 13⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.17/30.12.2019.T.06.01 (Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 127. Зал заседаний Навоийского государственного горного института. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горного института (зарегистрирован за №60). Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 127. Здание ректората НГГИ, 1-й этаж. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-00-55.

Автореферат диссертации разослан 27 ноября 2020 года.

(реестр протокола рассылки №25 от 27 ноября 2020 года).



К.С.Санакулов

Председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Ш.Ш.Заиров

Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

И.Т.Мислибаев

Председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире на сегодняшний день встречаются в большом количестве отходы, содержащие цветные и благородные металлы образующиеся в результате переработки цинкового сырья, в результате во время переработки полиметаллических руд с применением усовершенствованной технологии попутно извлекать цветные и благородные металлы (Au, Ag, Cu). Создание и применение на практике низкотемпературной технологии, дающей возможность эффективно извлекать благородные металлы из состава цинковых кеков.

В мире разрабатываются новые технологии для увеличения извлечения полезных компонентов из состава цинковых кеков, снижения энергопотребления и прекращения использования дорогостоящего кокса с упором на повышение общей степени извлечения металла из состава кеков, а также на повышение чистоты получаемых продуктов и создании энергоэффективных технологий. особое внимание также уделяется созданию технологий. В связи с этим разработка низкотемпературных технологий эффективного извлечения цветных и драгоценных металлов из составов цинковых кеков и совершенствование существующих технологических схем являются актуальными задачами науки и практики горно-металлургической промышленности. С целью выполнения данной задачи он определяет разработку метода извлечения благородных металлов из отходов цинкового кека с использованием низкотемпературных процессов.

В Республике Узбекистан исследования по совершенствованию технологии производства цветных металлов получили новое развитие при использовании техногенных отходов производства в виде сырья, цветных и благородных металлов. В стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи «Повышения промышленности на качественно новый уровень, глубокой переработки местных источников сырья, ускорения производства готовой продукции и освоения технологий»¹. В связи с этим большое значение имеют исследования, направленные на создание и совершенствование новых низкотемпературных технологий полного отделения в чистом виде драгоценных металлов из кеков отходов цинкового производства АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат».

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», УП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли», в Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О

¹ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах»

мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

Степень изученности проблемы. В области развития извлечения драгоценных металлов из рудного сырья содержащего благородные и цветные металлы, а также из кеков и вторичного сырья внесли свой значительный вклад такие зарубежные и отечественные ученые как Марченко Н. В., Вершинина Е. П., Гильдебрандт Э. М., Снурников А. П., Казанбаев Л.А., Бадалов С.Т., Гариковец В.Г., Митрофанов С.И., Мещанинова В.И., Курочкина А.В., Фельман Р.И., Ушаков К.И., Монгин А.М., Колесников А.В., Пуско А.Г., Такеджанов С.Г., Владимиров Л.П., Востриков В.А., Вострикова Н.М., Санакулов К. С., Абдурахмонов С.А., Юсупходжаев А.А., Хасанов А.С., Талипов Р.М., Турсенбеков А.Х., Холикулов Д.Б. и др.

В соответствии с анализом существующих работ следует отметить, что были проведены комплексные исследования (переработка пирометаллургическими методами, извлечение с помощью вельцевания, дистилляция и т.д.) и разработаны различные методы для извлечения цветных и благородных металлов из отходов кеков, содержащих благородные металлы.

Недостатками вельц процесса являются:

большой расход дорогого и дефицитного кокса;

высокотемпературный режим процесса;

нерешенность вопроса извлечения других ценных компонентов – Au, Ag, Pb, Cu, Fe и др. из состава кека.

Исходя из вышесказанного, создание низкотемпературной технологии, позволяющей эффективно извлечь все металлы из состава цинковых кеков, является актуальной задачей. Научно-технической задачей научного исследования является повышение уровня извлечения полезных компонентов из состава цинковых кеков, снижение энергозатрат и прекращение использования дорогостоящего кокса.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ Навоийского государственного горного института и АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» по темам: №02 - 2091 юр «Разработка комбинированной технологии извлечения ценных металлов из цинковых кеков» (2012 г.); А13-ФК-020123, А13-050 «Разработка технологии извлечения цветных и

благородных металлов из клинкера – отхода цинкового производства» (2012-2014 гг.)

Целью исследования является термическая обработка водяным паром, выщелачивание цветных металлов в растворе серной кислоты, увеличение степени извлечения ценных компонентов из состава цинковых кеков применяя цианистые процессы для благородных металлов, а также разработка эффективной и экологически чистой технологии.

Задачи исследования:

изучение вещественного и минералогического составов цинкового кека;
изучение изменения состояния минералов цинка, меди и железа в процессе термопарообработки;

экспериментальное обоснование изменения поведение компонентов цинкового кека при процессе термопарообработке;

изучение возможности применения сернокислотного выщелачивания цинка и меди из огарка;

выбор рациональной технологии извлечения благородных металлов (Au, Ag);

создание эффективной технологии переработки цинковых кеков.

Объектом исследования является цинковый кек цинкового завода АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат».

Предмет исследования – создание технологии переработки цинковых кеков.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы применены современные комплексные методы исследований, включающие анализ научно-технической информации по переработке цинкового кека, теоретические исследования с применением аналитического метода, экспериментальные исследования проводились с применением комплекса химических и физико-химических методов: гравиметрического, полярографического, спектрофотометрического методов анализа, а также химических способов обогащения, гидрометаллургических методов, а также статистической обработки результатов лабораторных исследований.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определен механизм удаления серы и окисление в процессе термопарообработки минералов цинка, меди а также железа, кроме этого определены химические процессы происходящие в промежутке температур 400–700⁰С;

определены катализирующие свойства соединений серы в процессе термопарообработки;

разработана технология выщелачивания цветных металлов из цинковых кеков в сернокислотных растворах;

создана новая усовершенствованная технология извлечения благородных металлов из цинковых кеков;

разработана технологическая схема и схема цепи аппаратов извлечения ценных металлов с использованием процессов термодорообработки, сернокислотного выщелачивания и цианирования.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

изучены и определены технологические параметры процессов термической обработки минералов цинка, меди и железа из цинковых кеков при низких температурах с использованием водяного пара;

изучены и установлены термодинамические параметры процесса сернокислотного выщелачивания меди, цинка и железа из термодорообработанных цинковых кеков;

установлена новая усовершенствованная технология дополнительного извлечения меди, золота и серебра из цинковых кеков с использованием низкотемпературного обжига, сернокислотного выщелачивания и цианирования кеков.

внедрена новая усовершенствованная технология дополнительного извлечения ценных компонентов из цинкового кека с помощью низкотемпературного обжига меди, золота и серебра, с выщелачиванием серной кислотой и цианированием кека.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования доказана значительным объемом лабораторных и промышленных экспериментов, удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по изучению химического и минералогического составов. Промышленной апробацией предлагаемых рекомендаций и достигнутой технико-экономической эффективностью предложенных способов переработки цинковых кеков.

Научная и практическая значимость исследования.

Научная значимость исследования теоретически и практически обосновывается параметрами технологического режима, применяемыми при переработке цинкового кека и целесообразностью закономерностей процесса.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке термохимических основ переработки цинкового кека, предполагающей комплексное разделение ценных компонентов с защитой окружающей среды.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов по разработке низкотемпературной технологии переработки цинкового кека достигнуто нижеследующее:

на способ переработки цинкового кека получен патент Агентства Интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ IAP 05300). В результате это даёт возможность извлечь ценные металлы из цинковых кеков путем низкотемпературного обжига в присутствии водяного пара;

оптимальные параметры, определенные при исследовании процессов термодорообработки цинкового кека цинкового завода и сернокислотного выщелачивания полученных огарков внедрены в цинковом заводе АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» №63-423 от 17 ноября

2020 года). В результате степень извлечения цветных металлов в раствор увеличилась на 2-5%, увеличилось содержание благородных металлов в остаточном кеке и появилась возможность получить свинецсодержащий продукт;

технология термопарообработки цинкового кека и выщелачивание огарка серноокислотным раствором внедрена в цинковом заводе АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» №63-423 от 17 ноября 2020 года). В результате появилась возможность извлекать цветные и благородные металлы из цинкового кека и дополнительно получен свинецсодержащий кек.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены и прошли апробацию на 2 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 21 научных работ, из них 7 научных статей, в том числе 5 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторской диссертации, получен один патент зарегистрированный в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 110 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы 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, рекомендации по внедрению в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе – **«Современное состояние теории и технологии переработки цинковых кеков»** – проведен анализ современного состояния комплексной переработки цинковых кеков горно-металлургической промышленности и тенденции ее развития.

Для извлечения цинка из концентратов применяют два способа: пирометаллургический (дистилляционный) и гидрометаллургический (электролитический). Исторически первым способом переработки цинковых кеков был пирометаллургический. Технология способа и аппаратурное оформление процесса связаны с особенностями восстановления цинка из оксида. Восстановление оксида цинка до металла углеродом и СО

происходит при температуре 1000–1100⁰С, а температура кипения получаемого при этом цинка составляет 906⁰С.

В настоящее время большое внимание уделяется более полному использованию составляющих цинксодержащего сырья, внедрению безотходной технологии, получению цинка высших марок. Для решения указанных задач в производстве цинка используют гидрометаллургический метод переработки цинковых концентратов.

Цинковые кеки на многих предприятиях перерабатываются пирометаллургическим методом (вельцевание). Большинство исследовательских работ направлены на усовершенствование этого процесса. Однако высокий расход дорогостоящего кокса при вельцевании, высокие температуры и отсутствие эффективной технологии извлечения металлов из клинкера позволяют предположить, что процесс малоэффективен. Обзор литературы выявил потребность в низкотемпературной и эффективной технологии переработки цинковых кеков.

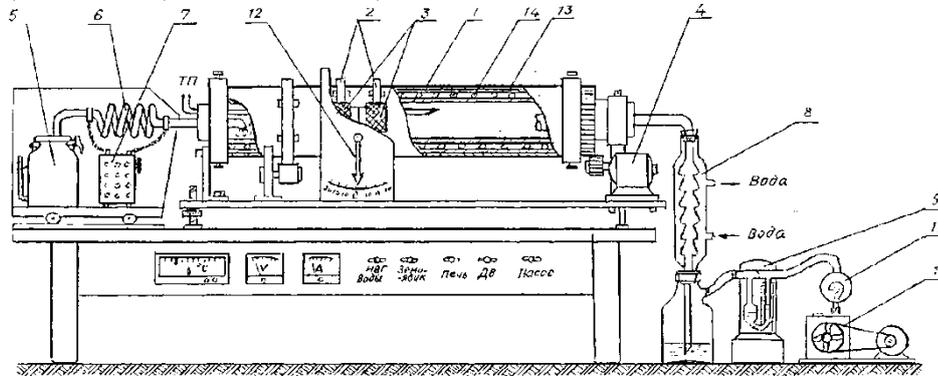
Во второй главе «**Исследование цинковых кеков**» в качестве объекта исследований изучен химический и минералогический состав цинкового кека. Цинковый кек представляет собой комки в виде различных форм. Наиболее крупные куски достигают до 50 мм. Для подготовки пробы кека для дальнейшей переработки проба была измельчена на дисковом истирателе. Нами изучены химический и минералогический состав кека с использованием спектрального, химического и минералогического методов анализа.

Минералогическим анализом установлено, что цинк в кеках содержится в количестве 23%, в том числе в виде ZnO (0,8%), ZnSO₄ (1,2%), 2ZnO·SiO₂ (3,9), ZnO·Fe₂O₃ (5,6), ZnS (11,5%). Железо в кеках содержится в количестве 15,5, в том числе в виде FeS (2,5%), FeO (4,3), Fe₂O₃ (8,7). Свинец в кеках содержится в количестве 6,3, в том числе PbO (4,4), PbS (1,9). Медь в кеках содержится в количестве 3,5, в том числе в виде CuS (1,6), CuSO₄ (1,9). Золото и серебро находятся в основном в металлическом виде.

Лабораторные опыты по термopарообработке материалов проводились на установке (рис.1), состоящей из парогенератора, охлаждающей и улавливающей возгоны системы, вакуум насоса и из трубчатой вращающейся электрической печи с внутренним диаметром 53 мм, длиной 517 мм. Внутренняя часть печи выполнена из кварцевой трубки – футеровка, кожух – металлический. Наружная поверхность кварцевой трубки покрыта слюдой и на нее намотана нихромовая проволока для нагрева печи. Пространство между кожухом и футеровкой заполнено теплоизоляционным материалом - асбестом. Печь установлена на опорных роликах и приводится в движение со скоростью 8 об./мин электродвигателем через зубчатую передачу.

Методика эксперимента заключается в следующем: продукт крупностью -0,1 мм сушили при температуре 105⁰С до постоянного веса, после чего пробу загрузали в трубчатую вращающуюся печь. Когда температура печи достигала 250⁰С, в печь подавали сухой пар от парогенератора. Отходящие

газы последовательно проходили через два поглотительных сосуда, содержащих растворы сернокислой меди и перекиси водорода, соответственно. После окончания эксперимента установку охлаждали, навеску извлекали и взвешивали, определяли разницу исходной и конечной массы. Обработанный таким образом продукт является исходным продуктом для агитационного выщелачивания.



1. Трубчатая вращающаяся печь (ТВП). 2. Контактное кольцо. 3. Графитовый контакт.
4. Двигатель. 5. Парогенератор. 6. Трубчатая спираль. 7. Автотрансформатор
8. Холодильник. 9. Манометр. 10. Воздушный насос (ВН). 11.Стеклянный шар
12. Указатель наклона печи. 13. Кварцевая труба. 14. Спираль нихром.

Рис. 1. Схема установки для термопарообработки цинкового кека

В третьей главе «Исследование термопарообработки цинкового кека» проведено исследование факторов, влияющих на термопарообработку цинковых кеков. Как известно, вследствие ферритообразования при обжиге цинковых концентратов в процессе выщелачивания огарка часть цинка остается в кеках в форме феррита и других нерастворимых соединений. Вместе с цинком в остаток от выщелачивания почти полностью переходят свинец, золото и серебро.

Исследования были направлены на термодинамическое изучение поведение минералов, входящих в состав цинковых кеков при температурах 400-900⁰С.

При термопарообработки цинкового кека протекает ряд химических реакций, которые нами подразделены на следующие группы:

1. Окисление серосодержащих минералов: сфалерита, пирита, полусернистой меди, галенита и др.

2. Разложение силикатов и ферритов водяным паром в присутствии кислорода и диоксида серы.

Установлено, что начало возгонки элементарной серы происходит при температуре 150-200⁰С, арсенопирит и пирит начинают разлагаться при 450-500⁰С. Полное разложение пирита, арсенопирита и халькопирита завершается при температуре ~700⁰С. При этом в газовую фазу переходят такие летучие оксиды, как диоксид серы (сернистый ангидрид), и другие легколетучие компоненты.

Элементарная сера присутствует в цинковом продукте в свободной или связанной с органическими соединениями формах. Кроме того, она может

образоваться при протекании различных реакций, в том числе за счет разложения сфалерита, пирита, халькопирита, арсенопирита и полусернистой меди. В условиях термopарообpаботки она может находиться в твердом, жидком и парообразном состояниях.

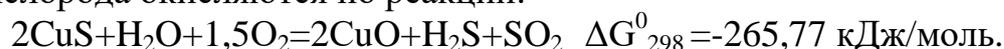
При термopарообpаботки феррита цинка с водяным паром с участием сернистого ангидрида разлагается с образованием сульфата цинка по реакции:



Сфалерит взаимодействует с парами воды с участием кислорода по реакции:



Сульфидов меди при термopарообpаботке в присутствии водяного пара и кислорода окисляются по реакции:



Таким образом, результаты термодинамического анализа показали:

1. Окисление сульфидов в присутствии водяного пара происходит без кислорода и с участием его. Элементарная сера и сера, образующаяся при разложении сульфидов взаимодействуют с парами воды, образуя – диоксид серы, который взаимодействует с сульфидными минералами;

2. Как показали результаты расчетов при термopарообpаботке сульфид цинка ZnS превращается в основном в ZnO , феррит цинка $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ превращается в ZnSO_4 и Fe_2O_3 , медь в CuO , сульфиды железа превращаются в Fe_3O_4 – магнетита.

Для проверки результатов термopарообpаботки отарок выщелачивали раствором серной кислоты. Все продукты эксперимента подвергались химическому анализу. В ходе исследования было изучено влияние температуры термopарообpаботки на степень извлечения различных металлов в раствор. Опыты проводили в температурном интервале от 400°C до 800°C . Результаты экспериментов приведены на рис.2.

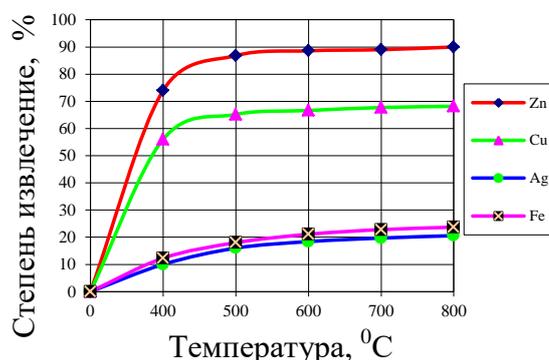


Рис. 2. Зависимость степени извлечения металлов в раствор от температуры термopарообpаботки

По данным рис.2 предварительная термopарообpаботка при 600°C оказывает положительное влияние на степень извлечения цинка в сернокислотном растворе. При температурах выше 600°C извлечение Zn и Cu из термopарообpаботанного продукта в раствор увеличивается незначительно.

В связи, с чем оптимальной для термopарoобpаботки цинкового кека можно считать температуру 600⁰С.

При изучении влияния продолжительности термopарoобpаботки на степень извлечения металлов в раствор были проведены опыты продолжительностью 0,5; 1; 1,5; 2; и 2,5 часа. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

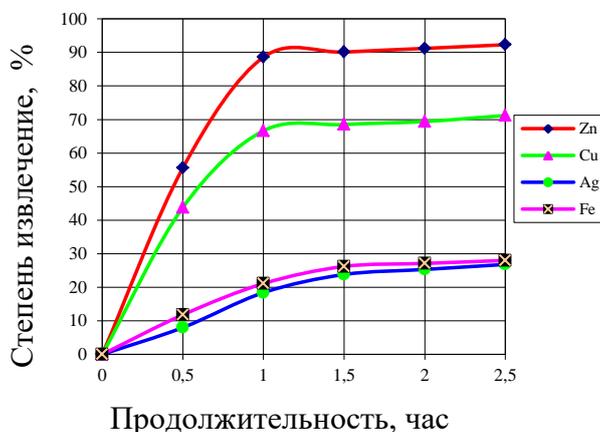


Рис. 3. Зависимость степени извлечения металлов в раствор от продолжительности термopарoобpаботки

Термopарoобpаботка цинкового кека при оптимальном температурном режиме во времени приводит к уменьшению массы навески продукта и росту содержания цинка и других металлов в огарке. На основании полученных результатов и по экономическим соображениям можно утверждать, что оптимальная температура термopарoобpаботки составляет 600⁰С, а время термopарoобpаботки - 1 час. Изучен химический состав огарка с использованием химического метода анализа, результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав огарка

Элементы	Zn	Cu	Cd	Fe	S _s	Pb	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Au	Ag
Содержание, %	25,2	4,02	0,11	18,8	0,2	6,98	12,1	4,6	0,92г/т	224,3 г/т

Проведено исследование факторов, влияющих на выщелачивание термopарoобpаботанных продуктов. Для выщелачивания продукта термopарoобpаботки цинкового кека наиболее подходит серная кислота. Серная кислота является хорошим растворителем окисленных цинковых минералов (ZnO), при этом растворимость Ag незначительна, а Au практически не растворяется. Применение серной кислоты является технологически и экономически оправданным, так как при этом получают раствор сульфата цинка, который можно вводить в основной цикл электролитного цеха цинкового завода. Кроме того, серная кислота отличается низкой стоимостью и оказывает сравнительно слабое коррозионное действие на аппаратуру для гидрoметаллургических процессов.

Хорошая растворимость оксидов цинка в сернокислотных растворах послужила основой для изучения процесса выщелачивания огарков термопарообработки цинкового кека в зависимости от продолжительности процесса, температуры, плотности пульпы и концентрации растворителя. Кроме того, с учетом комплексного характера исходного сырья важно было исследовать особенности поведения сопутствующих цинку и меди ценных компонентов (Pb, Ag и др.) в сернокислотных растворах. В огарке металлы находятся в основном в виде оксидов. При выщелачивании продукта термопарообработки (дальнейшем огарке) серной кислотой протекают реакции с участием основных минералов и примесей (ZnO, PbO, FeO, Fe₂O₃ и др.)

В лабораторных условиях были проведены исследования влияния различных факторов (температура, концентрация кислоты, продолжительность выщелачивания, плотность пульпы и т.д.) на степень извлечения металлов в раствор. Степень извлечения цинка и других металлов при выщелачивании огарка (Т:Ж=1:5) при 60⁰С находится в определенной зависимости от концентрации серной кислоты. Результаты экспериментов приведены на рис.4.

Как видно из результатов опытов с повышением концентрации серной кислоты в растворе (до 150 г/л) растворимость составляющих огарка линейно возрастает. Увеличение концентрации серной кислоты более 150 г/л не дает существенного увеличения степени перевода цинка в раствор, в то время как переход примесей в раствор (особенно железа) начинает возрастать. Для выщелачивания огарка серной кислотой рекомендуется концентрация серной кислоты не выше 150 г/л, такая концентрация дает возможность также регулировать степень растворения сопутствующих минералов.

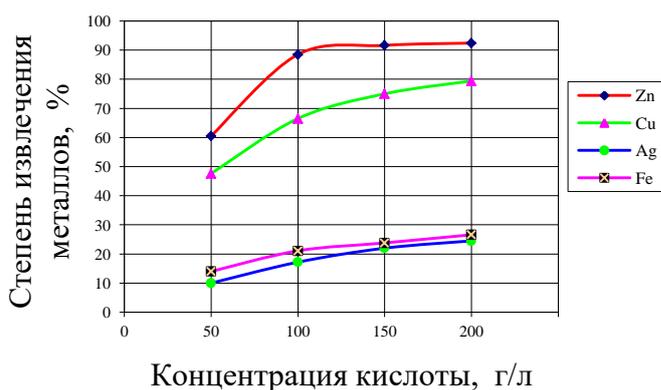


Рис. 4. Зависимость степени извлечения металлов в раствор от концентрации кислоты

Изучение влияния продолжительности процесса на выщелачивание цинка из продукта сернокислым раствором показывает, что в начальный период (до 60 мин) переход цинка в раствор протекает очень интенсивно, а через 120 мин устанавливается динамическое равновесие процесса выщелачивания. Результаты экспериментов приведены на рис.5.

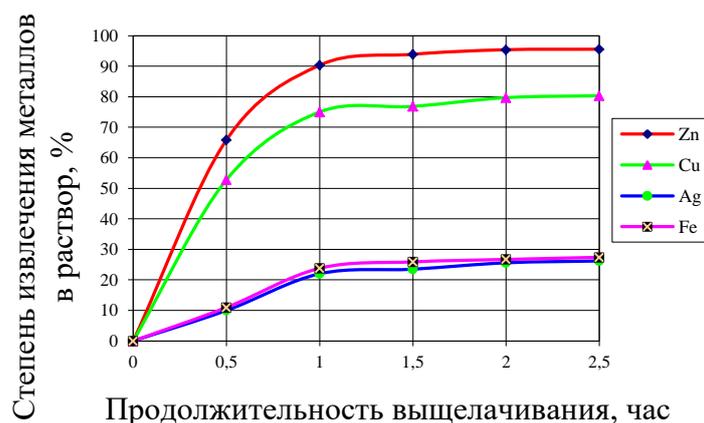


Рис. 5. Зависимость степени извлечения металлов в раствор от продолжительности выщелачивания

Увеличение продолжительности контакта сернокислотного раствора и огарка может привести к повышению содержания примесей в растворе. При выщелачивании огарка с серной кислотой в первую очередь реагируют окисленные минералы цинка и меди. Минералы железа и серебра взаимодействуют с серной кислотой медленно. Поэтому для того, чтобы достичь максимального извлечения цинка при минимальном переходе в раствор примесей, продолжительность выщелачивания можно выбрать 2 часа.

Скорость подавляющего большинства химических реакций, а также диффузия с ростом температуры увеличиваются. С повышением температуры наблюдается достаточно медленный рост концентрации цинка в раствор. Однако, начиная с 40°C при увеличении продолжительности процесса происходит более интенсивный прирост степени извлечения цинка. Это объясняется тем, что при повышенных температурах ZnSO_4 образуется быстрее. Следует ожидать, что с повышением температуры в дальнейшем скорость растворения будет возрастать. Но вместе с тем, надо учитывать, что повышение температуры незначительно сказывается на растворении полезного компонента (цинка), тогда как переход в раствор примесей при этом сильно возрастает. Повышение температуры более 80°C незначительно влияет на выщелачивание цинка, но сильно увеличивает переход в раствор примесей.

Необходимый гидродинамический режим для достижения однородной плотности пульпы обеспечивали с помощью механического перемешивающего устройства. Степень извлечения цинка и меди в раствор зависит от интенсивности перемешивания и отношения жидкого к твердому. Результаты экспериментов показывают, что за одно и то же время выщелачивания извлечение цинка при повышении интенсивности перемешивания возрастает. Правильный выбор оптимального числа оборотов в каждом конкретном случае играет очень важную роль и может служить мощным средством повышения скорости процесса растворения, но увеличение скорости процесса возможно только до определенного предела. Это ограничение обусловлено тем, что увеличивая интенсивность

перемешивания, мы можем увеличивать относительную скорость движения растворяющихся частиц и растворителя только до определенного предела. Дальнейшее увеличение интенсивности перемешивания приводит только к излишнему расходу мощности, затрачиваемой на перемешивание, эффективность растворения при этом не возрастает.

Таким образом, были установлены следующие оптимальные условия выщелачивания термопарообработанного цинкового кека: концентрация серной кислоты 125-150 г/л, температура 75-80⁰С, продолжительность 2 часа. В этих условиях степень извлечения цинка в раствор составляет 95-96 % и железа 28,1 %, а выход кека 58-60% от веса огарка.

В четвертой главе **«Извлечение золота и серебра из остатков сернокислотного выщелачивания термопарообработанных цинковых кеков»** проведено исследование по выщелачиванию благородных металлов растворами тиосульфата, тиомочевины и цианистого натрия.

Одним из перспективных растворителей благородных металлов является малотоксичные растворы тиосульфата. Основное значение при тиосульфатном выщелачивании имеет температура процесса. Значительное увеличение растворения золота начинается, когда температура превышает 50⁰С. При температуре выше 90⁰С растворение золота в тиосульфате в 30 раз выше, чем растворение в цианистом растворе. Однако при таких условиях, концентрация кислорода в растворе низкая, что требует различных окислителей в растворе.

Выщелачивание проводили с использованием магнитной мешалки в стакане объемом 500 мл. Через 2, 4, 8 и 24 ч после начала эксперимента из раствора брали пробы для анализа и определяли рН раствора и концентрацию металла в растворе. Первоначальные эксперименты проводились с раствором Na₂S₂O₃ 4 г/дм³ при Т:Ж = 1:5.

Содержание металлов в исходном кеке, г/т: Au-1,62, Ag-274,4. Экспериментальные результаты показывают, что скорость растворения металлов недостаточно высока в течение 10 часов. Дальнейшее увеличение времени выщелачивания не оказывает существенного влияния на скорость растворения металлов. Температура варьировалась от 25⁰С до 95⁰С в связи с тем, что температурный фактор играет важную роль в скорости растворения металлов. Когда температура составляет 25⁰С, скорость растворения металлов очень низкая, Au-14,24% и Ag-9,4%. Повышение температуры до 85-95⁰С значительно увеличивает степень извлечения металлов до Au-63,6% и Ag-56,4%.

Выщелачивание золота и серебра в тиомочевине было предложено в 40-х годах прошлого века и проводилось при рН=2-4 без окисления тиокарбамида. Обычно в качестве окислителя используют трехвалентный сульфат железа (Fe₂(SO₄)₃) или перекись водорода. Скорость выщелачивания зависит от рН раствора и концентрации тиомочевины и окислителя.

В лабораторных условиях был изучен процесс тиомочевинного выщелачивания остатков сернокислотного выщелачивания термопарообработанных цинковых кеков. Выщелачивание осуществляли с

использованием магнитной мешалки в стакане объемом 500 мл. Масса пробы составляет 100 г, соотношение фаз Т:Ж=1:4. Исследование влияния времени на тиомочевинное выщелачивание проводили с 0,5% раствором тиомочевины, 1,8% серной кислотой и 0,33% перекиси водорода. В соответствии с результатами эксперимента в раствор переходит Au-68% и Ag-76%, при продолжительности выщелачивания 2 часа. Определено, что когда продолжительность выщелачивания увеличивается с 2 до 6 часов, степень растворения металла достигает своего максимального значения, то есть Au-89%, Ag-96%. Дальнейшее увеличение времени выщелачивания не увеличивает растворение золота и серебра. Изучено влияние концентрации тиомочевины на степень растворения металлов. Концентрация тиомочевины в растворе увеличилась с 0,25 до 2%, а концентрация серной кислоты осталась неизменной -1,8%, и концентрация перекиси водорода осталась неизменной на уровне 0,33%. Время выщелачивания составила 6 часов. Исходя из результатов экспериментов, можно сказать, что степень растворения золота и серебра прямо пропорциональна концентрации тиомочевины. Когда концентрация тиомочевины составляет 0,5%, степень растворения металлов составляет Au-71%, Ag-79%, а когда концентрация тиомочевины составляет 2%, то степень растворения металлов составляет Au-88%, Ag-94%. Увеличение концентрации тиомочевины более чем на 2% не приводит к увеличению растворения металла.

Исследовано влияние кислой среды на выщелачивание золота и серебра в тиомочевинном растворе. Серная кислота подавалась в раствор от 0,9% до 2,8%. Эксперименты проводились в течении 6 ч в 2% -ном растворе тиомочевины в присутствии 0,33% перекиси водорода. Когда концентрация серной кислоты достигает 1,9%, скорость растворения металла увеличивается и достигает Au-88%, Ag-95%. Дальнейшее увеличение концентрации серной кислоты не оказывает существенного влияния на степень растворения металла. Таким образом, выщелачивание предпочтительно проводить 1,9% раствором серной кислоты. Перекись водорода при тиомочевинном выщелачивании использовалась в качестве окислителя. Изучена зависимость степени растворения металлов от концентрации окислителя. Концентрация тиомочевины в эксперименте изучалась на уровне 2%, концентрация серной кислоты - 1,9%, продолжительность эксперимента - 6 часов. Согласно результатам эксперимента концентрация пероксида водорода составляет 0,16%, когда извлечение металла составляет Au-69%, Ag-75%, а при концентрации окислителя 0,33%, Au-88%, Ag-92%.

Таким образом, в исследовании были установлены следующие оптимальные параметры тиомочевинного выщелачивания: концентрация тиомочевины - 2%, серная кислота - 1,9%, концентрация перекиси водорода - 0,33%, степень растворения металлов в течении 6 часов составила Au -88% и Ag-92%.

В настоящее время выщелачивание золота и серебра с помощью цианистого раствора является одним из наиболее широко используемых эффективных методов. Проведены эксперименты по изучению растворения

цинковых кеков в растворе цианида. Количество металлов в исходном кеке, г/т: Au-1,62, Ag-274,4.

В лабораторных условиях был изучен процесс выщелачивания остатков от растворения серной кислоты термодорообработанных цинковых кеков раствором цианида. Выщелачивание осуществляли с использованием магнитной мешалки в стакане объемом 500 мл. Масса пробы составляет 100 г, соотношение фаз Т:Ж=1:1,5. Влияние времени на цианирование исследовали с помощью 0,1% цианида натрия и 0,2% раствора СаО.

Согласно эксперименту, Au-68% и Ag-76% растворялись в течение 6 часов. Было обнаружено, что когда время выщелачивания увеличивается с 6 до 24 часов, степень растворения металла достигает своего максимального значения, то есть Au-89%, Ag-96%. Дальнейшее увеличение времени выщелачивания не увеличивает растворение золота и серебра.

Изучено влияние концентрации цианида натрия на степень растворения металлов. Эксперименты проводились при увеличении концентрации цианида натрия в растворе с 0,1 до 0,5%. Время выщелачивания составила 24 часа. Исходя из результатов экспериментов, можно сказать, что степень растворения золота и серебра прямо пропорциональна концентрации цианида натрия. Когда концентрация цианид натрия составляет 0,1%, степень растворения металлов составляет Au-71%, Ag-79%, а при концентрации 0,5% -Au-92%, Ag-96%. Увеличение концентрации цианида натрия более чем на 0,5% не приводит к значительному увеличению степени растворения металлов. Таким образом, в исследовании были установлены следующие оптимальные параметры цианирования: концентрация NaCN составляла - 0,5%, степень растворения металла составила Au-92%, Ag-96% при времени выщелачивания 24 часа.

В пятой главе **«Укрупненно-лабораторные испытания технологии»** проведено укрупненно-лабораторные испытания термодорообработки цинкового кека, сернокислотного выщелачивания термодорообработанного цинкового кека. На основании выполненных исследований рекомендуется технологическая схема приведенная на рис. 6.

Ожидаемый годовой экономический эффект от переработки 1000 тонн цинкового кека составляет 543135000 сум. При затратах на переработку по предложенной технологии срок окупаемости составит менее 1 года



Рис. 6. Рекомендуемая технологическая схема переработки цинковых кеков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Разработка низкотемпературной технологии переработки цинковых кеков» сделаны следующие заключения, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. Цинковый кек представляет собой комки в виде различных форм. Наиболее крупные куски достигают до 50 мм. Для подготовки пробы кека к термопарообработке требует измельчение до размера 0,1мм.

2. Полностью изучен состав и свойства цинкового кека, содержание цинка в нем составляло 23%, в том числе ZnO (0,8%), ZnSO₄ (1,2%), 2ZnO·SiO₂ (3,9%), ZnO·Fe₂O₃ (5, 6%), в виде ZnS (11,5%), железа 15,5%, в том числе FeS (2,5%), FeO (4,3%), Fe₂O₃ (8,7%), свинца 6,3% в том числе PbO (4,4%), в виде PbS (1,9%), меди 3,5%, в том числе CuS (1,6%), CuSO₄ (1,9%).

3. Результаты исследований показывают, что в результате нагрева наблюдается многостадийное разложение сложных сульфидов в интервале температур 450-700⁰С. Так, при температуре 600-700⁰С наблюдается разложение халькопирита, арсенопирита, пирита, борнита и многих других минералов и окисление сфалерита, сульфидов меди. Во время термопарообработки цинкового кека сульфид цинка (ZnS) превращается в оксид цинка (ZnO), феррит цинка (ZnO • Fe₂O₃) в ZnSO₄ и Fe₂O₃, медь в оксид меди (CuO), сульфиды железа в магнетит (Fe₃O₄).

4. Процесс термопарообработки цинковых кеков был изучен на основе экспериментов и были определены следующие оптимальные условия для проведения процесса: температура 600-700⁰С, время обработки 1-1,5 ч, расход водяного пара 100 л/т. При этих условиях выход огарков составил 92,5%, в нем содержание цинка - 25,19%.

5. Установлено, что ратвор серной кислоты наиболее подходит для выщелачивания металлов из огарков термопарообработки. Определены следующие оптимальные условия для выщелачивания: время выщелачивания 2 часа, концентрация H₂SO₄ 150 г/л, температура выщелачивания 80⁰С. В этих условиях степень растворения цинка составляет 94,7%, меди 82,6%, а выход кека составляет 59-60%. В составе полученного раствора содержится 45-46 г/л цинка; 6-6,3 г/л меди; 10-11 г/л железа.

6. Определено, что самым приемлемым методом для извлечения из остатков термопарообработанных огарков после выщелачивания серной кислотой золота и серебра является выщелачивание в цианистых растворах. В результате проведенных исследований были определены следующие оптимальные параметры цианирования: концентрация NaCN - 0,5%, время выщелачивания 24 часа, степень растворения металлов Au-92%, Ag-96%.

7. На основании результатов исследований рекомендована эффективная технологическая схема и схема цепи аппаратов переработки цинковых кеков и определены технико-экономические показатели, согласно которым, ожидаемая прибыль от переработки 1000 тонн цинкового кека составляет 543135000 сумов.

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

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

AKHTAMOV FOZIL ERKINOVICH

**DEVELOPMENT OF LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGY FOR
PROCESSING ZINC CAKES**

04.00.14 – Mineral processing

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

Navoi – 2020

The topic of the dissertation for the degree of the Doctor of Philosophy in technical sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan B2020.3.PhD/T1796.

The dissertation was completed at the Navoi State Mining Institute.

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

Scientific Consultant:	Abdurakhmonov Soyib Abdurakhmonovich Doctor of Technical Sciences, Professor
Official opponents:	Mukhiddinov Baxodir Fakhriddinovich Doctor of Technical Sciences, professor Khudayorov Suleyman 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 11 december 2020 at 13⁰⁰ 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 Shokh Street, 127. Conference Hall of the Navoi State Mining Institute. Phone: 0 (436) 223-23-32; fax: 0 (436) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com.

The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Center of the Navoi State Mining Institute under No 60. Address: 210100, Navoi, 127 Galaba Shokh St. 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 registry No 25 dated 27 november 2020).



K.S. Sanakulov

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 of scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

I.T. Mislibayev

Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific Council for the award of academic degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (the dissertation abstract of (PhD) Doctor of Philosophy)

The aim of the research is to develop efficient and environmentally friendly technological processes for extracting valuable components of zinc cake using thermal steam treatment, sulfuric acid leaching of non-ferrous metals and cyanidation of precious metals, which ensures high metal recovery at low temperatures and reduces processing costs.

The object of the research work of the study was the zinc cake of the zinc plant of JSC "Almalyk MMC".

The scientific novelty of research is as follows:

the mechanism of sulfur removal from zinc cake and oxidation of zinc, copper and iron minerals by thermal steam treatment has been established, and the chemistry of the process in the temperature range of 400–700⁰C has been revealed;

the catalyzing role of sulfur compounds, which is a part of the initial concentrate in the process of thermal steam treatment, has been established;

a technology for leaching non-ferrous metals in sulfuric acid solutions has been developed;

a new improved technology has been developed for the extraction of valuable components from zinc cakes using cyanidation of gold and silver;

a technological scheme and a circuit diagram of the apparatus for the extraction of precious metals using low-temperature roasting and cyanidation have been developed.

Implementation of research results. Based on scientific results on the development of low-temperature technology for processing zinc cake, the following has been achieved:

a patent of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan (№.IAP 05300) was obtained for a method for processing zinc cake. As a result, valuable metals can be recovered from zinc cakes by low-temperature roasting in the presence of steam;

the optimal parameters determined during the study of the processes of thermal heat treatment of zinc cake of the zinc plant and sulfuric acid leaching of the obtained cinder are implemented in the zinc plant of Almalyk mining and metallurgical combine JSC (reference of Almalyk mining and metallurgical combine JSC No. 63-423 dated November 17, 2020). As a result, the degree of extraction of non-ferrous metals into the solution increased by 2-5%, the content of precious metals in the residual cake increased, and it became possible to obtain a lead-containing product;

the technology of thermal heat treatment of zinc cake and leaching of the stub with a sulfuric acid solution was introduced in the zinc plant of Almalyk mining and metallurgical combine JSC (reference of Almalyk mining and metallurgical combine JSC No. 63-423 dated November 17, 2020). As a result, it became possible to extract non-ferrous and precious metals from the zinc cake and additionally obtained a lead-containing cake.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, list of used literature and applications. The volume of the dissertation is 110 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, part I)

1. Патент РУз №IAP05300. Рух кекларини қайта ишлаш усули/ Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э., Курбанов А.А., Тошқодирова Р.Э. // Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан 20.10.2016. – Бюл. №11.

2. Абдурахмонов С.А., Курбанов Ш.К., Холикулов Д.Б., Ахтамов Ф.Э., Рахмонов И.Ю. Подготовка сульфидных руд и концентратов к гидрометаллургической переработке методом термопарообработки // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2014. – №4. – С. 91-95 (05.00.00; №7).

3. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э. Исследование возможности переработки цинковых кеков термопарообработкой // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2016. – №1. – С. 91-93 (05.00.00; №7).

4. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э., Нормуратов Р.И. Исследования по выщелачиванию термопарообработанного цинкового кека // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2016. – №3. – С. 103-105 (05.00.00; №7).

5. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э., Рахмонов И.Ю. Рух кекини сув буғи иштирокида куйдириш механизми // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2017. – №2. – С. 149-150 (05.00.00; №7).

6. Ахтамов Ф.Э., Нормуратов Р.И., Рахмонов И.Ю. Сув буғи иштирокида термик ишлов берилган рух кекини танлаб эритишнинг кинетик қонуниятлари // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2017. – №2. – С. 151-153 (05.00.00; №7).

7. Kholiqulov D.B., Samadov A., Boltaev O., Akhtamov F. The results of laboratory research processing of zinc cake zinc plant JSC «Almalyk MMC» // European science review. 2018. – №11-12. – С. 96-99 (05.00.00; №3).

8. Akhtamov F.E. Study of low temperature technologies of processing zinc cakes with the method of thermo-steaming // Международный научно-исследовательский журнал Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2020. – №6 (75) – С.4-8 (№16. Directory Indexing of International Research Journals-Cite Factor. 2019-2020: 1,44).

II бўлим (II часть; part II)

9. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э., Хўжақулов Н.Б. Исследование возможности переработки лежалого медного клинкера // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2009. – № 1. – С. 77-78.

10. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э., Тошқодирова Р.Э. Электровыщелачивание клинкера цинкового производства // Горный вестник Узбекистана.– Навои, 2014. – №2 – С. 82-84.

11. Холикулов ДБ., Нормуротов Р.И., Ахтамов Ф.Э. Исследования по извлечению цветных металлов ионной флотацией из сбросных растворов // Горный вестник Узбекистана.– Навои, 2016. – №2 – С. 68-70.

12. Ахтамов Ф.Э., Нишонов Б.У. К вопросу переработки цинковых кеков // Теория и технология металлургического производства. – Москва, 2016. – №1. – С. 69-72.

13. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э. Исследование переработки медного клинкера методом электрохимического выщелачивания// Материалы Республиканской научно-технической конференции «ISTIQLOL" (с международным участием) на тему «Современная техника и технология горно-металлургической отрасли и пути их развития». – Навои, 29-30 сентября 2008 г. – С. 165-166.

14. Ахтамов Ф.Э., Хужакулов Н.Б., Арипов А.Р., Вохидов Б.Р. Выщелачивание цинковых кеков электрохимической хлоринацией // Материалы республиканской научно-технической конференции «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли". – Навои, 14-15 июня 2012 г. – С. 127-128.

15. Абдурахмонов С.А., Ахтамов Ф.Э., Саидахмедов А.А. Исследование возможности переработки цинковых кеков термopарообработкой // Материалы республиканской научно-технической конференции «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли". – Навои, 14-15 июня 2012 г. – С. 128-129.

16. Ахтамов Ф.Э., Хамраев Р.Б., Адылова Н.А. Термopарообработка как метод переработки цинковых кеков// Материалы научно-технической конференции «Химия и химическая технология XXI века". – Томск, 14-17 мая 2012 г. – С. 13-15.

17. Ахтамов Ф.Э., Донияров Н.А., Вохидов Б.Р., Муродов И.Н. Переработка клинкера цинкового производства электрохимической хлоринацией // Материалы научно-технической конференции «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане". – Навои, 23-24 мая 2014 г. – С. 177-178.

18. Ахтамов Ф.Э. Способ подготовки цинковых кеков к выщелачиванию// Материалы VIII-международной научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития". – Навои, 19-21 ноября 2015 г. – С. 128.

19. Akthamov F.E. Study of low temperature technologies of processing zinc cakes // International conference on integrated innovative development of zarafshan region: achievements, challenges and prospects. – Navoi, 27-28 November 2019. – С. 119-123.

20. Ахтамов Ф.Э. Термодинамическое изучение термopарообработки цинковых кеков // LXXII International correspondence scientific and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». – Boston. USA. July 23-24, 2020. – С. 13-14.

21. Ахтамов Ф.Э. Термopарообработка как метод переработки цинковых кеков // LXXII International correspondence scientific and practical conference

«International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». – Boston. USA. July 23-24, 2020. – C. 15-16.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Hink', located in the upper right quadrant of the page.

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., Навои ш., А.Авлоний кўчаси
14-сонли савдо маркази