

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/04.06.2021.Т.06.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

ХАМИДОВ РУСТАМ АБДУГАФУРОВИЧ

**КЎПИКЛИ МАҲСУЛОТГА АЛОҲИДА ИШЛОВ БЕРИШ
НАТИЖАСИДА БИОКЕКНИ ҚАЙТА ИШЛАШ ТЕХНОЛОГИК
КЎРСАТКИЧЛАРИНИ ОШИРИШ**

04.00.14 – Фойдали қазилмаларни бойитиш

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

**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**

Хамидов Рустам Абдугафурович

Кўпикли маҳсулотга алоҳида ишлов бериш натижасида биокекни
қайта ишлаш технологик кўрсаткичларини ошириш..... 3

Хамидов Рустам Абдугафурович

Повышение технологических показателей переработки биокека путем
отдельной переработки пенного продукта..... 21

Khamidov Rustam Abdugafurovich

Increasing the technological parameters of bioceck processing by separate
processing of the foam product..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/04.06.2021.Т.06.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

ХАМИДОВ РУСТАМ АБДУГАФУРОВИЧ

**КЎПИКЛИ МАҲСУЛОТГА АЛОҲИДА ИШЛОВ БЕРИШ
НАТИЖАСИДА БИОКЕКНИ ҚАЙТА ИШЛАШ ТЕХНОЛОГИК
КЎРСАТКИЧЛАРИНИ ОШИРИШ**

04.00.14 – Фойдали қазилмаларни бойитиш

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

Навоий – 2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №В2020.2.PhD/Т1556 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Навоий давлат кончилиқ институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар: Эргашев Улутбек Абдурасулович
техника фанлари доктори, доцент

Расмий оппонентлар: Муҳиддинов Баходир Фахриддинович
кимё фанлари доктори, профессор

Худояров Сулейман Рашидович
техника фанлари номзоди, доцент

Етақчи ташкилот: Ислоҳ Каримов номидаги Ташкент давлат
техника университети

Диссертация ҳимояси Навоий давлат кончилиқ институти ҳузуридаги DSc.17/04.06.2021.Т.06.01 рақамли илмий кенгашнинг 2022 йил «28» 03 соат 16⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Махмуд Таробий кўчаси, 72-уй. Навоий давлат кончилиқ институтининг мажлислар зали. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com.

Диссертация билан Навоий давлат кончилиқ институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (88 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Махмуд Таробий кўчаси, 72-уй, Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66.

Диссертация автореферати 2022 йил «14» 03 кuni тарқатилди.
(2022 йил «14» 03 даги 5 рақамли реестр баённомаси)



К. Санакулов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

О.У. Фузайлов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д. (PhD)

Н.А. Дониоров
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда мураккаб таркибли олтин рудаларни қайта ишлаш усулларида бири бактерияларни оксидлаш ҳисобланиб, биооксидлаш қурилмаларини ишлатиш пайтида дунёдаги кўпгина заводлари биооксидлаш реакторларида кўпикланиш ҳолатини камайтириш муҳим вазифалардан бири бўлиб қолмоқда. Кўпик сатҳи ошиши реакторларнинг самарали иш ҳажмини камайтиради ва шу билан бирга жараён вақтини қисқарилишига олиб келади ва биооксидланиш маҳсулотларида қолдиқ олтингурутнинг миқдори кўпаяди, оқибатда сорбцион цианлаш жараёнида олтиннинг ажралиб чиқиши камаёди. Ушбу кўпикни сорбция жараёнига юбориш бир қатор салбий оқибатларга олиб келади: жараёндаги бутананинг зичлик режими бузилади; цианид эритмасининг сарфи ошади ва натижада биокекни қайта ишлашнинг сифат кўрсаткичлари пасайиши сабабли биооксидлаш реакторларида кўпикланиш муаммосини ҳал қилиниши муҳим аҳамият касб этади.

Дунёда бугунги кунда кўпикланишга қарши курашиш усулларида хилма-хиллигига қарамай, уларнинг барчаси муаммони фақатгина қисман ҳал қилади ва маълум камчиликларга эга бўлиб, улар биореакторларда кўпикни йўқотишда фойдаланишни чеклайди ёки ҳатто баъзи ҳолларда умуман имкон бермаганлиги сабабли биооксидланиш жараёнини такомиллаштириш, жумладан, кўпикланишга қарши курашиш бўйича илмий-амалий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада биооксидлаш жараёнида кўпик ҳосил бўлишига қарши курашиш усулини ишлаб чиқиш ва бу орқали биокекни қайта ишлашнинг технологик параметрларини яхшилашга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикада кон-металлургия саноати мамлакатимиз иқтисодиётини ривожлантиришнинг муҳим тармоқларидан бири бўлиб, бу борада мураккаб таркибли минерал хом ашёларни қайта ишлаш бўйича янги технологияларни ишлаб чиқиш ва жорий этиш ҳамда мавжудларини такомиллаштириш бўйича илғор илмий асосланган чора-тадбирларни жорий қилиб, бир қатор илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармонида¹ «Саноатни сифат жиҳатидан янги босқичга кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини чуқур қайта ишлаш, тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулот ва технологияларни ўзлаштириш...» каби муҳим вазифалар белгиланган. Ушбу вазифалардан келиб чиққан ҳолда қимматли таркибий компонентларни ажратиб олиш даражасини кўтариш мақсадида мураккаб таркибли рудаларни қайта ишлашнинг янги технологияларини яратиш ва мавжудларини такомиллаштиришга қаратилган тадқиқотлар катта илмий ва амалий аҳамият касб этади.

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

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги ПФ-4947-сон Фармони ва 2019 йил 17 январдаги «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4124-сон Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Мураккаб таркибли олтин рудаларини қайта ишлашга Лодейщиков В.В., Каравайко Г.И., Седельникова Г.В., Кондратьева, Адамов Э.В., Панин В.В., Фокина С.Б., Шумилова Л.В., Бодуэн А.Я., Верховин С.С., Афанасова А.В., Асамоах Р.К., Скиннер В., Ли В.Дж., Сонг И.С., Чен И., Ху В., Эллис С., Аманках Р.К., Доберсек А., Томас К.Г., Мишина О., Миллер Р., Браун А., Санакулов К.С., Юсупходжаев А.А., Саттаров Г.С., Хасанов А.С., Якубов М.М., Эргашев У.А., Фузайлов О.У., Лин Н.С., Картикеев О.П., Иглесиас Н., Шипперс А., Натаражан К.А. ва шу каби бошқа олимлар катта ҳисса қўшишган.

Мавжуд ишларни таҳлил қилиш асосида шуни таъкидлаш керакки, олтин таркибли рудаларнинг моддий таркиби ва характерли хусусиятларига қараб, ҳар бир аниқ ҳолат ўзига хос хусусиятларга эга ва индивидуал ёндашувни талаб қилади. Кўпгина ишлар бактериал оксидлаш жараёнини такомиллаштириш ва интенсификациялашга бағишланган, аммо шунга қарамай, биооксидлаш жараёнида кўпикланиш муаммоси яхши ўрганилмаган. Шу билан бирга ушбу муаммони ҳал қилувчи ва натижада биооксидлаш маҳсулотини қайта ишлашнинг технологик кўрсаткичларини ошириш имконини берувчи кўпикланишга қарши курашиш усулни ишлаб чиқиш катта илмий ва амалий аҳамиятга эга.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилик институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ №2-09/2020ПЗ «3-ГМЗнинг КЕМИКС чиқиндиси ва олтин таркибли оқимлари таркиби ва тузилишидаги ўзгаришларни замонавий физик-кимёвий усуллар билан тадқиқ қилиш (ДТА, ИКС, РА, ЭМС)» мавзусидаги хўжалик шартномаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади Кўпикли маҳсулотга алоҳида ишлов бериш натижасида биокекни қайта ишлаш технологик кўрсаткичларини оширишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

биооксидлашнинг кўпikli маҳсулотининг физик хусусиятларини, шунингдек, сифат ва минерал таркибини ўрганиш;

комплекс термик усуллар мажмуасидан фойдаланган ҳолда кўпikli маҳсулотнинг термик хусусиятларини термогравиметрия, дифференциал термогравиметрия, дифференциал сканерловчи калориметрия (ТГ, ДТГ, ДСС) орқали аниқлаш;

кўпikli маҳсулотни алоҳида циклда қайта ишлашни тадқиқ қилиш;

биооксидлаш жараёнининг кўпikli маҳсулотини ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлаш орқали флотацион концентратни қайта ишлашнинг технологик схемасини ишлаб чиқиш;

Тадқиқотнинг объекти сифатида «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК 3-сон Гидрометаллургия заводи флотобойитмасини биооксидлаш жараёнининг биокеки ва кўпikli маҳсулоти олинган.

Тадқиқотнинг предметини бактериялар оксидлаш ёрдамида мураккаб таркибли олтин бойитмаларни қайта ишлаш технологияси ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Диссертация ишини бажаришда маҳсулотнинг сифат таркибини аниқлаш учун замонавий усуллар, жумладан намунани пробиркали таҳлил қилиш, атом абсорбцион, рентген-фазали ёрдамида комплекс ёндашув қўлланилган, шунингдек термик хусусиятларини ўрганиш учун термогравиметрик таҳлили ўтказилган ҳамда лаборатория тажрибалари ва тажриба-саноат синовлари усуллардан ҳам фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

моддий-миқдорий ва минерал таркибни ўрганиш натижаларига кўра, илк бора кўпikli маҳсулотнинг биокекка нисбатан юқори мураккабликка эга эканлиги аниқланган;

кўпikli маҳсулот таркибидаги олтин миқдорининг углерод миқдорига боғлиқлиги аниқланган, бунда олтиннинг (сульфидларда) углеродли моддалар таркибига сульфидли минераллар ва углеродли моддаларнинг ўзаро ўсиши шаклида сингиб кетганлиги аниқланган;

дифференциал термик таҳлил натижаларига кўра қуйдириш пайтида кўпikli маҳсулот таркибий компонентларининг ўзгариш қонуниятлари ўрганилган ва кўпikli маҳсулотни олтингургуртдан тозалаш ва углеродсизлантириш юқори даражаси амалга ошириладиган жараённинг оптимал ҳарорати (444-529°C) аниқланган;

биооксидлаш жараёнининг кўпikli маҳсулотини ажратиб олиб алоҳида қайта ишлаш билан флотацион бойитмани қайта ишлашнинг оптимал параметрлари аниқланган ва ҳозирда мавжуд бўлган схема билан солиштирганда олтин ажратиб олиш даражасини 3,5% га ошириш имконини берадиган технологик схема ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

кўпikli маҳсулотни ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлаш ҳисобига биооксидлаш реакторларида кўпикланиш жараёнига қарши курашнинг янги усули ишлаб чиқилган;

кўпикли маҳсулотдан 96,9% гача олтинни ажратиб олиш имконини берадиган биооксидлашнинг кўпикли маҳсулотини қайта ишлаш жараёнларининг оптимал кўрсаткичлари ишлаб чиқилган;

кўпикли маҳсулотни алоҳида циклда қайта ишлашнинг технологик параметрлари аниқланган;

флотацион бойитмадан олтинни ажратиб олиш даражасини мавжуд усулга нисбатан 3,5% га ошириш имконини берадиган янги технологик схема ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги лаборатория ва ярим саноат синовларининг салмоқли ҳажми, қимматбаҳо компонентларни ажратиб олишни ошириш бўйича ишларнинг асосий мақсадга мос келиши ва миқдорий тасдиқланиши, кўпикли маҳсулотни алоҳида қайта ишлаш усуллари натижалари, асосий металлни умумий ажратиб олиш даражасини оширилишини тасдиқловчи сезиларли ижобий натижалар, шунингдек, ижобий лаборатория ва ярим саноат синовлари маълумотлари билан исботланган.

Тадқиқотнинг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти флотацион бойитмани биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотини ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлашни мақсадга мувофиқлигини назарий асослаш, кўпикли маҳсулот таркибидаги олтин миқдорининг углерод миқдorigа боғлиқлигини аниқланг бўлиб, уни қайта ишлаш учун оксидловчи куйдиришдан фойдаланишни ва термик тадқиқодлар ёрдамида куйдириш жараёнининг оптимал ҳарорати ўрнатиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларнинг амалий аҳамияти олтинни ажратиб олиш даражасини 96,9% га етказишга олиб келадиган флотацион бойитманинг бактериал оксидлаш жараёнининг мураккаб таркибли кўпикли маҳсулотини интенсив цианлаш ва оксидловчи куйдириш жараёнлари ёрдамида қайта ишлаш технологик схемасини ишлаб чиқишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Кўпикли маҳсулотга алоҳида ишлов бериш натижасида биоеккни қайта ишлаш технологик кўрсаткичларини ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

кўпикли маҳсулотни ажратиб олиб уни алоҳида қайта ишлаш орқали кўпикланишга қарши курашиш усули Навоий кон-металлургия комбинати 3-сон Гидрометаллургия заводи биооксидлаш жараёнида жорий этилган (Навоий кон-металлургия комбинатининг 2021 йил 02 ноябрдаги 02-02-06/10583-сон маълумотномаси). Натижада, биооксидлаш реакторларида кўпик миқдорини камайтириш ва биоеккни сорбцион цианлаш жараёнида қайта ишлашнинг сифат кўрсаткичлари яхшилаш имконини берган;

биооксидлаш жараёнидаги кўпикли маҳсулотини ажратиб олиб унга алоҳида ишлов бериш орқали флотацион бойитмани комплекс қайта ишлаш технологияси «Навоий кон-металлургия комбинати» давлат корхонаси 3-сон Гидрометаллургия заводида амалиётга жорий этилган (Навоий кон-металлургия комбинатининг 2021 йил 02 ноябрдаги 02-02-06/10583-сон

маълумотномаси). Натижада, сорбцион цианлаш босқичида металл ажратиб олиниши ўртача 3,5 фоизга ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 7 та халқаро илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 14 та илмий ишлар чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 4 та, жумладан, Республика нашрларида 2 та ва хорижий журналларда 2 та мақола нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 114 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва унга бўлган талаб, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга қўлланилиши бўйича тавсиялар, нашр қилинган ишлар ва диссертация тузилиши келтирилган.

Диссертациянинг «**Мураккаб олтин таркибли руда ва бойитмаларни қайта ишлашнинг ҳозирги ҳолати**» деб номланган биринчи бобида мураккаб таркибли руда тушунчаси, уни қайта ишлаш тамойиллари ва технологик мураккаблиги бўйича таснифланиши келтирилган. Мураккаб таркибили рудаларни қайта ишлашнинг ҳозирги ҳолати кўриб чиқилган ва ўрганилган ҳамда мураккаб олтинни юзасини очишнинг турли усуллари ва технологиялари ўрганилган. Кўпинча олтин таркибли рудалар икки ёки ундан ортиқ мураккаблик сабабларини бирлаштириши аниқланган, бу эса мос равишда икки ёки ундан ортиқ дастлабки қайта ишлаш усулларида иборат комплекс схемаларга мурожаат қилиш заруратига олиб келади ва шу билан қимматли компонентнинг энг тўлиқ ажралишини таъминланиши аниқланган.

Маҳаллий ва хорижлик олимларнинг ишларини таҳлил қилиш асосида мураккаб таркибли рудаларни қайта ишлаш жараёнида олтин ажратиб олишнинг оширилиши уларнинг технологик мураккаблик сабаблари баргараф этилгандагина мумкинлиги ва бу учун уларни қайта ишлашнинг у ёки бу усулини танланиши руда мураккаблиги тоифасига боғлиқлиги аниқланган.

Шу билан бирга, бу бобда биооксидлаш реакторларида кўпикланиш муаммосининг моҳияти очиб берилган ва кўпик ҳосил бўлишига қарши курашишнинг замонавий амалиёти кўриб чиқилган.

Диссертациянинг «**Биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотининг хусусиятларини ўрганиш бўйича тадқиқотлар**» деб

номланган иккинчи боби бевосита тадқиқот объектини ўрганишга бағишланган. Ушбу босқичдаги тадқиқот вазифаларига биооксидлаш кўпикли маҳсулотининг физик хусусиятларини ўрганиш ва унинг моддий таркибини аниқлаш кирган.

Биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулоти тўқ кул рангдаги уч фазали минераллашган кўпик бўлиб унда ҳаво пуфакчаларидан ташқари турли хил майин янчилган руда минераллари мавжуд. Сўндирилган кўпикнинг зичлиги ўртача 1240 г/л ни ташкил қилган. Кўпикли маҳсулотнинг курук массасининг солиштирама оғирлиги 2,3-2,4 кг/дм³-га тенглиги ва элакдан ўтказиш таҳлилига кўра кўпик маҳсулотининг 98,8%-и йириклиги -0,044 мм синф ташкил этганлиги аниқланган.

Кимёвий таҳлил шуни кўрсатдики биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотининг суюқ фазасида нодир металлар деярли аниқланмаган, ўртача олинган намунанинг қаттиқ фазасида олтин миқдори 137,5 г/т, кумуш - 63,1 г/т- ни ташкил қилган. Кам миқдорда Al, Ti, Mn, Su, Zn, Ni, Co, K, Na, Mg, Ca мавжуд. Кўпикли маҳсулотнинг қаттиқ фазасида олтингугурт ва углерод миқдори мос равишда 14,7% ва 10,3%-ни ташкил қилган. Кўпикли маҳсулотнинг қаттиқ фазасини кимёвий таҳлил натижалари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Кўпикли маҳсулотнинг қаттиқ фазасини кимёвий таҳлил натижалари

SiO ₂ , %	Al, %	Fe _{умум} , %	Ti, %	Mn, %	Cu, %	Zn, %	Ni, %	Ag, г/т	Au, г/т
15,1	2,9	19,1	0,76	0,01	0,14	0,16	0,024	63,1	137,5
Co, %	K, %	Na, %	S _{умум} , %	S _s , %	C _{орг} , %	CO ₂ , %	Mg, %	Ca, %	As, %
0,01	1,2	0,2	25,3	14,7	10,3	0,77	0,9	0,89	0,3

Намунада сульфидли олтингугурт ва органик углерод мавжудлиги маҳсулотнинг цианлаш жараёнида технологик мураккаблигини белгилайди, шу сабаб ушбу компонентларнинг биооксидлаш жараёнида хатти-ҳаракатларини ва олтин миқдорини ўзгаришини ўрганиш учун битта модулнинг ҳар бир реакторидан кўпикли маҳсулотнинг тегишли намуналари олинган бўлиб, уларнинг кимёвий таҳлиллари ўтказилган. Таҳлил натижалари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

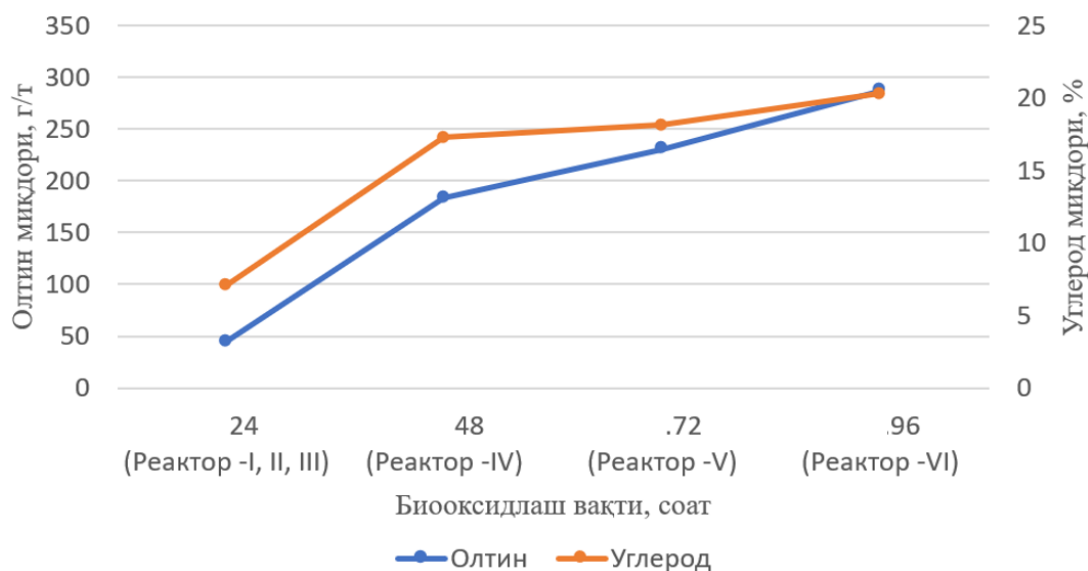
Битта модулдаги ҳар бир реакторнинг кўпикли маҳсулотини кимёвий таҳлилига кўра олтин, олтингугурт ва углерод миқдорлари

Намуна номи	Намуналардаги элементлар миқдори				
	Au, г/т	S _{умум} , %	S _s , %	C _{умум} , %	C _{орг} , %
I, II, III реакторлар	44,3	15,29	10,99	7,09	5,78
IV реактор	183,5	18,04	11,94	17,26	15,48
V реактор	230,2	15,76	10,01	18,14	16,44
VI реактор	286,5	10,57	6,83	20,29	19,7

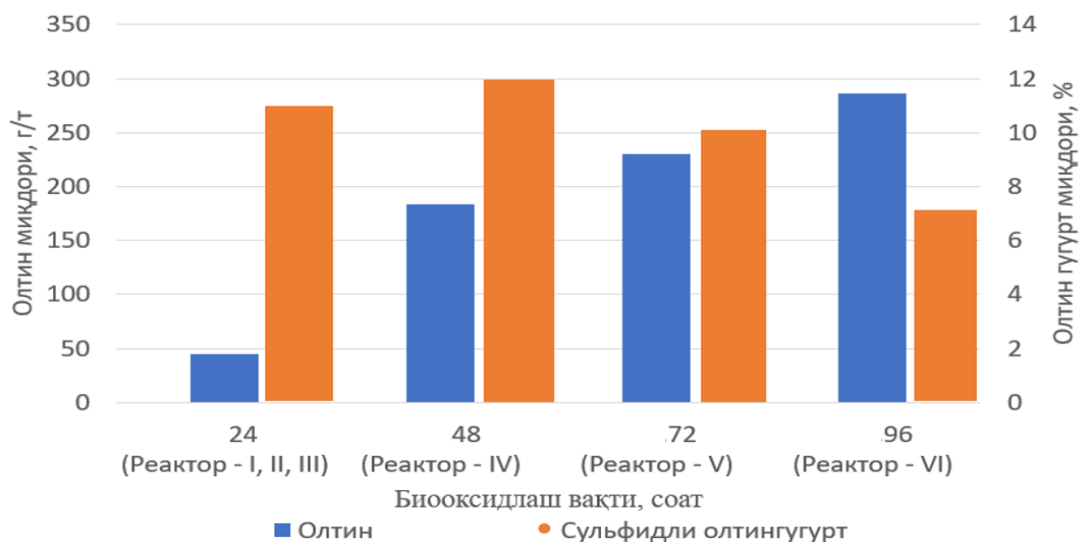
Олинган маълумотлар шуни кўрсатадики, олтин миқдори реактордан реакторга 44,3 г/т-дан 286,5 г/т-гача ошган. Олтингугурт миқдори 6,83%-дан

10,99%-гача, органик углерод қиймати эса 5,78%-дан 19,7%-гача ўзгаришлари кўзатилган.

1-расмда олтин ва органик углероднинг миқдорлари пропорционал эканлиги ва охириги реакторга қараб ўсиши аниқ кўринган. Бу олтиннинг (сульфидларда) углеродли моддалар ичида сульфидли минераллар ва углеродли моддалар бир бирига ўзаро ўсиш натижасида боғланиб қолган шаклида тарқалишини кўрсатади. Бундан келиб чиқадики, углеродли модда олтиннинг асосий ташувчиси бўлиб, уларнинг миқдорлари кўпикнинг биооксидлаш жараёнида туриш вақтига қараб ортади.



1-расм. Кўпикли маҳсулотдаги олтин ва органик углеродларнинг миқдорлари



2-расм. Кўпикли маҳсулотдаги олтин ва сульфидли олтингугуртларнинг миқдорлари

Олтинга нисбатан олтингугурт миқдори, аксинча, реактордан реакторга камаяди (2-расм). Биооксидлаш вақти ошиши билан кўпикдаги олтингугурт миқдори, худди бутанадаги каби, сульфидлар оксидланиши туфайли камаяди.

Рационал таҳлил бўйича кўпикли маҳсулотдаги олтин шаклларининг фоиз миқдорлари қуйидагича: цианид эритмаларида осон эрувчи олтин 51%- ни ташкил этган; антимонит ва аморф кремний оксиди билан боғланган ҳамда плёнкалар билан қопланган олтин - умумий массанинг 6,8%-га тенг; сульфидлар ва углеродли моддалар билан боғланган олтин мавжуд бўлиб, унинг юқоридагилар билан миқдори мос равишда 8% ва 16,4%-ни ташкил қилган; тоғ жинсларини ҳосил қилувчи минераллардаги кичик ўлчамдаги тарқалган олтин 17,8%-ни ташкил этган, агар биз кўпикли маҳсулот дона ўлчами -0,044 мм синфи 98,8%-га тенг эканлигини ҳисобга олсак, бу ҳолда гап ушбу гуруҳга кирган олтин ўта майин дисперс ўлчамда эканлигини англатади.

Биооксидлаш жараенининг кўпикли маҳсулотининг минералогик таркиби кукунли рентген диффракция таҳлили билан аниқланган. Унда қуйидаги минераллар топилган: пирит, арсенопирит, кварц, мусковит/иллит, албит, хлорит, стибнит, ярозит, гипс дигидрат, талк, анатаза, сомолнокит, меркаллит, графит, олтингугурт, копиапит.

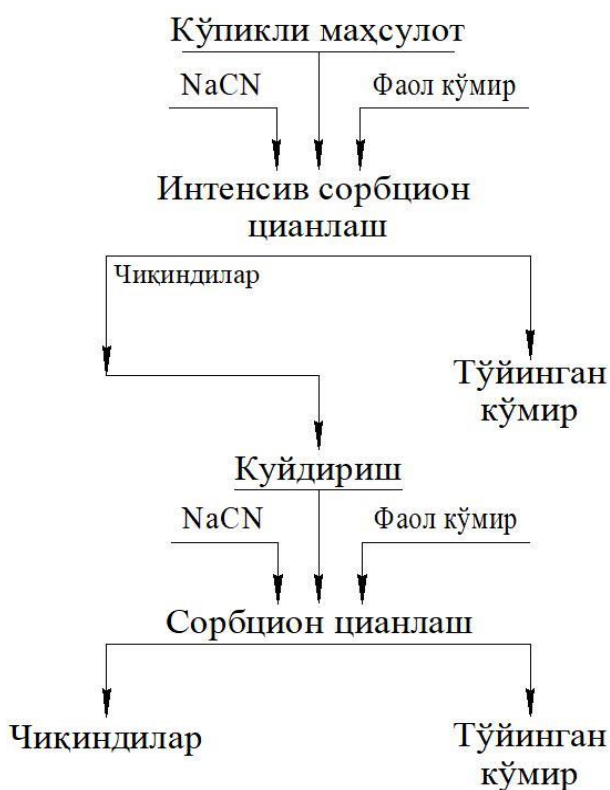
«Profex - Open source XRD and Reitveld Refinement» дастурий таъминотидан фойдаланган ҳолда Ритвелд усули бўйича ўтказилган рентген фазали миқдорий таҳлили кўпик маҳсулотдаги пирит ва арсенопиритнинг умумий миқдори 20,4%-ни ташкил этишини кўрсатган. Шу билан бирга, арсенопиритнинг масса улуши пиритникига қараганда анча кам бўлиб, бу биооксидлаш жараёнида мишьяк бирикмасининг биринчи навбатда оксидланишини англатади. Намуна 4,64%-га яқин миқдорда графитли углеродини ўз ичига олади.

Кўпикли маҳсулотдаги олтингугурт ва углероднинг юқори миқдори оксидловчи куйдириш усули мураккаб олтинни очиш учун дастлабки ишлов бериш сифатида фойдаланишни белгилайди. Шу муносабат билан, термик тадқиқотларни ўтказиш кераклиги лозим топилган, бу эса куйиш пайтида кўпикли маҳсулот компонентларининг хатти-ҳаракатини ва назоратли қиздириш орқали унинг термал хусусиятларини ўрганишга имкон берган. Ушбу таҳлиллар гуруҳига термогравиметрия (ТГ), дифференциал термогравиметрия (ДТГ) ва дифференциал сканерлаш калориметрияси (ДСК) киради. Тадқиқот натижалари 450-500°C ҳароратда пирит ва арсенопиритнинг интенсив оксидланишини ва 400-450°C ҳароратда органик моддаларнинг тўлиқ ёнишини тасдиқлади. Шундай қилиб, кўпикли маҳсулотдаги мураккаб олтинни очиш учун дастлабки ишлов бериш сифатида фойдаланиладиган куйдириш жараенининг десульфуризация ва декарбонизация юқори даражасини таъминладиган оптимал ҳарорати 444-529°C қийматида тўғри келиши аниқланган.

Диссертациянинг «Биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотини алоҳида қайта ишлаш имкониятини аниқлаш тадқиқодлари» деб номланган учинчи бобида кўпикли маҳсулотни алоҳида циклда қайта ишлашнинг оптимал технологиясини танлаш бўйича тадқиқотлар натижалари тақдим этилган ва биооксидлаш жараёнида кўпикли ажралиши биоекнинг сорбцион цианланиш сифат кўрсаткичларига таъсири ўрганилган. Шунингдек

кўпикли маҳсулотни алоҳида қайта ишлашда ёрдамчи жараёнлардан фойдаланиш имконияти ўрганилган.

Олтингургурт, органик углерод ва ўта майин олтиннинг юқори миқдорлари кўпикли маҳсулотни алоҳида мураккаб тоифасини белгилайди. Шу сабаб ундан қимматбаҳо компонентни ажратиб олишни ошириш учун блокланган олтинни дастлабки ишлов бериш орқали очиш лозим. 3-ГМЗ шароитида, юқоридаги мураккаблик омилларини ҳисобга олган ҳолда, десульфуризация ва декарбонизацияларни юқори даражада таъминлайдиган оксидловчи куйдиришдан фойдаланиш мақсадга мувофиқлиги аниқланган. Кўпикли маҳсулотдаги олтин, олтингургурт ва углеродларнинг юқори миқдорда мавжудлиги эса сорбцион цианлашнинг янада қатъий шартларини қўллаш зарурлигини келтириб чиқарган. Шунинг учун лаборатория тадқиқодлар доирасида оксидловчи куйдириш ва интенсив цианлаш асосидаги кўпикли маҳсулот алоҳида қайта ишлаш схемаси бўйича қайта ишланган (3-расм).



3- расм. Кўпикли маҳсулотни лаборатория шароитида қайта ишлаш схемаси

Схемага кўра кўпикли маҳсулот C_{NaCN} концентрацияси 10000 мг/л ва кўмир юкламаси 10% бўлган шароитда интенсив сорбцион цианлаш орқали қайта ишланган. Кейинчалик, интенсив цианлашнинг чиқиндилари 500-550°C ҳароратда куйдирилиб, сўнгра куйдирилган маҳсулот 3-ГМЗ шароитида яна цианланган: C_{NaCN} - 3000 мг/л ва кўмир юкламаси 6%.

Олинган маълумотларга кўра, дастлабки олтин миқдори 230,2 г/т ташкил этганда интенсив цианлаш жараёнида металлни ажратиб олиниши 77,54%-га етди (3-жадвал).

Кўпикли маҳсулотни интенсив цианлаш натижалари

Намуна номи	Элементлар миқдори					Қаттик фазадаги и Au г/т	Суюқ фазадаги Au, мг/л	Au ажралиши, %
	Au, г/т	S _{умум} , %	S _s , %	C _{умум} , %	C _{орг} , %			
Биореактор кўпикли маҳсулоти	230,2	15,76	10,01	17,14	16,44	51,7	Мавжуд эмас (<0,01)	77,54

Кўпикли маҳсулотнинг интенсив сорбцион цианлаш чиқиндиларини куйдириш пайтида сульфидли олтингургурт ва органик углерод миқдорлари мос равишда 0,08% ва 0,04%-гача камайган. Куйдириш жараенида вазн йўқотишни ҳисобга олган ҳолда қимматбаҳо компонентнинг миқдори 51,7 г/т-дан 75,7 г/т-гача кўтарилган (4-жадвал).

Интенсив цианлаш чиқиндиларини куйдириш натижалари

Намуна номи	Куйдиришдан олдинги элементлар миқдори					Куйдиришдан кейинги элементлар миқдори					Куйиндининг чиқиши %
	Au, г/т	S _{общ} , %	S _s , %	C _{общ} , %	C _{орг} , %	Au, г/т	S _{общ} , %	S _s , %	C _{общ} , %	C _{орг} , %	
Интенсив циан-ш чиқиндиси	51,7	15,76	10,09	17,14	16,44	75,7	5,55	0,08	0,2	0,04	67,8

3-ГМЗ шароитида куйиндини сорбцион цианлашда олтин ажратиб олиниши 86,17% ни ташкил этди (5-жадвал). Кўпикли маҳсулотни алоҳида қайта ишлаш схемаси бўйича жами олтин ажратиб олиниши 96,9% га етган.

Куйиндини сорбцион цианлаш натижалари

Намуна номи	Элементлар миқдори					Қаттик фазадаги Au г/т	Суюқ фазадаги Au, мг/л	Au ажралиши, %
	Au, г/т	S _{умум} , %	S _s , %	C _{умум} , %	C _{орг} , %			
Куйинди	75,7	5,55	0,08	0,2	0,04	10,47	Мавжуд эмас (<0,01)	86,17

Шуни таъкидлаш керакки, кўпикли маҳсулотни қайта ишлашнинг оптимал режимларини аниқлаш учун натрий циан концентрацияси, кўмирнинг юкланмаси ва интенсив цианлаш жараёнининг давомийлиги таъсири ўрганилган.

Кўпикли маҳсулот учун энг мақбул қайта ишлаш режимларини аниқлаш тажрибалари ўтказилган. Интенсив цианлашнинг оптимал шароитлари $C_{NaCN} = 10$ г/л, кўмир юкланмаси 10%, жараён вақти $\tau = 16$ соат эканлиги аниқланган. Бунда металлни ажратиб олиниши 77%-ни ташкил қилган. Куйдиришнинг ҳарорати кўпикли маҳсулотнинг термал таҳлили асосида 500-550°C атрофида аниқланган.

Биооксидлаш жараёнида кўпикни ажратилиши биоекнинг сорбцион цианлаш кўрсаткичларига таъсирини ўрганиш учун жараён лаборатория шароитида тўлиқ имитация ҳолатида ўтказилган. Чиқиши 7,8%-га тенг бўлган кўпикни олиб ташлангандан сўнг қолган биоек 3-ГМЗ шароитида сорбцион

цианлашга юборилган: C_{NaCN} - 3000 мг/л жараён давомида концентрациани тўғирлаш билан; Т:Ж = 1:2,1; рН - 10,5-11,0; кўмир юкламаси пулпа ҳажмининг 6%, сорбция вақти 16 соат. Кўпиги олинган биокекни сорбцион цианлаш натижалари 6-жадвалда келтирилган.

6-жадвал

Кўпиги олинган биокекни сорбцион цианлаш натижалари

Элементлар миқдори					Қаттиқ фазадаги Au г/т	Суюқ фазадаги Au, мг/л	Au ажрали- ши, %	Реагент сарфи	
Au, г/т	$S_{\text{умум}}$, %	S_s , %	$C_{\text{умум}}$, %	$C_{\text{орг}}$, %				NaCN, кг/т	CaO, кг/т
11,64	7,21	1,12	1,48	1,08	1,64	0,077	85,9	11,2	11,3

3-ГМЗ шароитида кўпиги олинган биокекни сорбцион цианлашда 85,9% металл олинди. Таққослаш учун, лаборатория шароитида флотация бойитмасини биооксидлаш бўйича такрорий тажрибалар кўпиги олинмаган биокекни ГМЗ-3 шароитида турли вақтларда цианлаш натижасида жараён самарадорлиги 82-84%-ни ташки қилди, қолдиқларда олтин миқдори 4 - 5 г/т атрофида. Шундай қилиб, биореакторлардан кўпик олиниши биокекнинг, ундаги органик углерод миқдори камайиши ҳисобига, сорбция параметрлари яхшиланган, яъни биокекда углероднинг камайиши сорбция чиқиндиларида қимматли компонент миқдори камайишига олиб келиши аниқланган.

Лаборатория шароитида кўпикли маҳсулотни қуюлтириш бўйича тажрибалар ўтказилган. Кўпикли маҳсулотни дона ўлчамлари ўта майинлиги (-0,044 мм синфнинг 98% чиқиши), унинг паст солиштира оғирлиги (2,3 г/см³) қуюлтириш жараёнига салбий таъсир кўрсатган.

Кўпикли маҳсулотни қаттиқ фазасининг солиштира оғирлиги 2,3-2,4 кг/дм³ ва зичлиги 1240 г/л бўлган кўпикли маҳсулот бутанасидаги қаттиқ ва суюқ фаза нисбати Қ:С≈1:2 га тенг. Кўпикли маҳсулотни оҳак суви билан ишқорлангандан сўнг, бутананинг зичлиги $\rho = 1270$ г/л ни ташкил этган. Шундай қилиб, кўпик бутанасининг зичлигини ва уни ишқорланишдан кейин зичлигини ўрганиш натижасида, шунингдек, кўпикли маҳсулотнинг суут қуюлинишини ҳисобга олган ҳолда кўпикли маҳсулот бутанасини ювмасдан тўғридан-тўғри ишқорланишдан кейин қуюлтирмасдан интенсив цианлашга юбориш тавсия этилади.

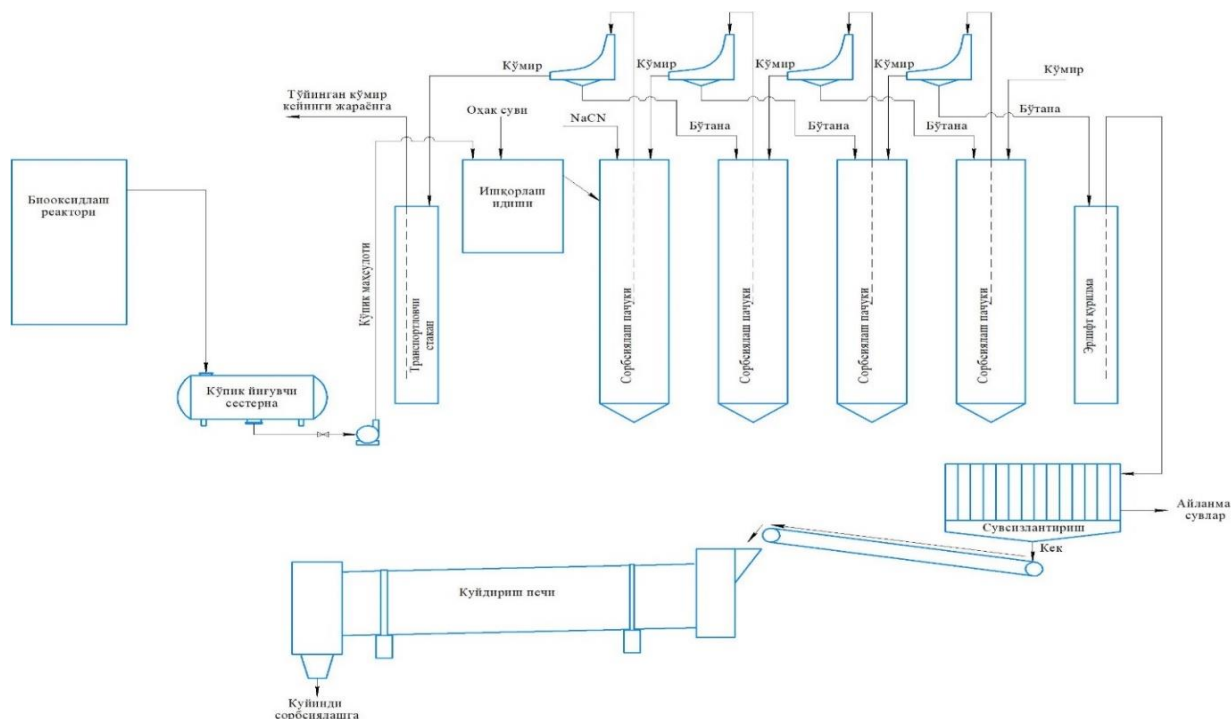
Кўпикли маҳсулотнинг заррачалар ўлчамини ҳисобга олган ҳолда (ўлчам -0,044 мм синфининг 98,8% чиқиши) саноат шароитида қуйдириш жараёнида қайта ишланган материалнинг юқори чанглинишини эътироф қилинади. Шунинг учун, олтинни чанг билан йўқолишининг олдини олиш ва минималлаштириш учун мантиқий ечим кўпик маҳсулотининг заррачаларини йириклаштириш ҳисобланади. Шу муносабат билан унинг қумоқлаш (грануляция) бўйича қўшимча тадқиқотлар ўтказилган.

Энг юқори мустаҳкамликни таъминлайдиган боғловчини аниқлаш учун 15% боғловчи қўшишда оҳак, цемент ва бентонит асосидаги кўпик маҳсулотининг уч хил турдаги гранулалар тайёрланган. Гранулаларнинг механик бузулишга чидамлиги ёпиқ идишда интенсив силкитиш орқали текширилган. Тажрибалар -2 мм +1 мм ўлчамдаги гранулаларда ўтказилган.

Механик бузулишга энг чидамли бентонитдан тайёрланган гранулалар бўлиб чиққан. Унинг оптимал дозасини аниқлаш учун умумий оғирликдан 3%, 5% ва 10% дозасида бентонит асосидаги гранулалар билан тажрибани қайта ўтказишга қарор қилинган. Улардан мос равишда 10% бентонитли гранулалар мустахкамроқ бўлиб чиққан. 10% бентонит ва 15% бентонит асосидаги гранулаларни бузилиш динамикаси ўхшаш бўлса-да, иккинчиси юқори мустахкамликка эгадир.

Бентонит қўшилишининг сорбцион цианлаш сифатига таъсирини аниқлаш учун гранулалар биринчи навбатда 550°C ҳароратда 3,5 соат давомида куйдирилди ва кейинчалик интенсив цианлашга юборилган, металл ажратиб олиш 92,5%-ни ташкил этган.

Диссертациянинг «Биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотини ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлаш билан флотацион бойитмани қайта ишлаш тавсия этилган технологиясини ишлаб чиқиш ва техник-иқтисодий асослаш» деб номланган тўртинчи бобида биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотини ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлаш орқали флотацион бойитмани қайта ишлашни ярим саноат синовлари натижалари тақдим этилган ва улар асосида тахминий иқтисодий ҳисоб-китоб қилинган. Кўпикли маҳсулотни алоҳида қайта ишлаш аппаратлар занжири схемаси 4-расмда кўрсатилган.



4-расм. Биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотини алоҳида циклда қайта ишлаш аппаратлар занжири схемаси

Умуман олганда, ярим саноат шароитида кўпикли маҳсулотини алоҳида қайта ишлаш схемасига кўра, олтин ажратиб олиниши 85-90%-га етган: 78-82% - интенсив цианлаш босқичида ва 30-40% - интенсив цианлаш чиқиндиларининг куйдирилган маҳсулотини цианлашда.

Биооксидлаш жараёнининг кўпикли маҳсулотини алоҳида қайта ишлаш ярим саноат синовларининг сифат кўрсаткичлари

№ п/п	Параметр номи	Ўлчов бирлиги	Кўрсаткичи
Интенсив цианлаш			
1	Бутананинг Қ:С нисбати		1:2,4
2	Бутананинг рН кўрсаткичи		10,5÷11,5
3	Дастлабки бутана таркиби:		
	Au	г/т	135÷140
	S _s	%	6÷10
	C _{орг}	%	17÷20
4	NaCN концентрацияси	г/л	20
5	Сорбент ҳажми	%	10
6	Жараённинг умумий давомийлиги	соат	8
7	NaCN солиштира сарфи	кг/т	130÷150
8	Ажратиб олиш даражаси	%	78÷82
Интенсив цианлаш чиқиндисини куйдириш			
1	Куйдириш ҳарорати	°С	500÷550
2	Куйдириш давомийлиги	соат	2
3	Куйдиришгача элементлар миқдори		
	Au	г/т	25÷30
	S _s	%	6÷10
	C _{орг}	%	17÷20
4	Куйдиришдан кейинги элементлар миқдори		
	Au	г/т	38÷42
	S _s	%	2÷3
	C _{орг}	%	2÷3
Куйиндини цианлаш			
1	Бутананинг Қ:С нисбати		1:2,1
2	Бутананинг рН кўрсаткичи		10,5÷11,5
3	NaCN концентрацияси	г/л	3
4	Сорбент ҳажми	%	8
5	Жараённинг умумий давомийлиги	соат	16
6	Чиқинди таркибидаги Au миқдори	г/т	24÷31
7	Жараёндаги ажратиб олиш даражаси	%	30÷35
8	Умумий ажратиб олиш даражаси	%	85-90

Кўпикли маҳсулотни алоҳида циклда қайта ишлашнинг сифат кўрсаткичлари 7-жадвалда келтирилган.

Саноат шароитида, шунингдек, кўпикли ва кўпиксиз биокекни қайта ишлашнинг сифат кўрсаткичлари ўрганилган. Цианлаш 3-ГМЗ шароитида амалга оширилган: C_{NaCN} - 3000 мг/л; Т: Ж = 1: 2,1; рН = 10,5 ÷ 11,5; кўмир юкланиши умумий бутана ҳажмидан 8%; жараен вақти τ = 16 соат. Цианлаш натижалари 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал

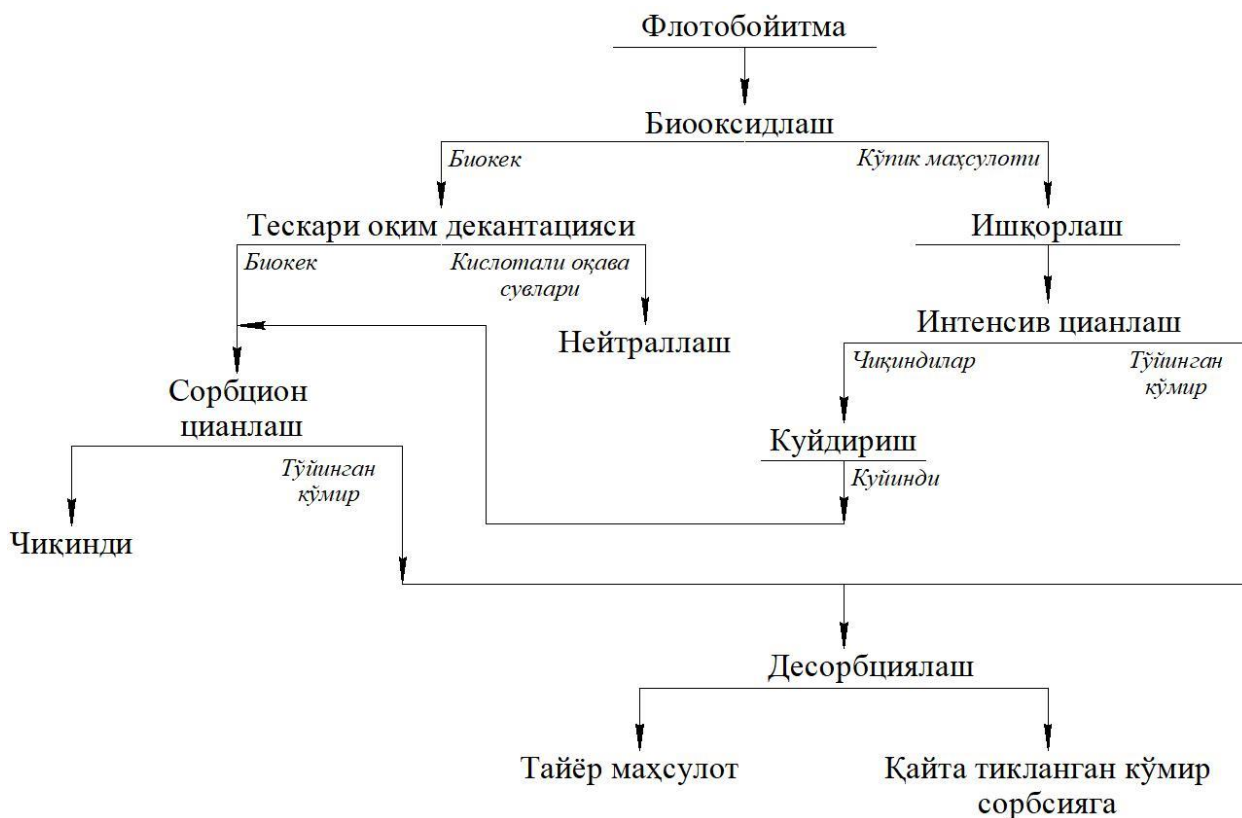
Кўпиги олинган ва олинмаган биокекларни сорбцион цианлаш натижалари

Намуна номи	Намуналардаги элементлар миқдори			Қаттиқ фазада-ги Au, г/т	Суюқ фазада-ги Au, мг/л	Au ажралиши, %
	Au, г/т	Ss, %	C _{орг} , %			
Кўпикли олинмаган биокек	29,1	4,71	2,2	5,15	0,01	82,3
Кўпикли олинган биокек	16	3,96	1,19	2,11	0,02	86,8

Ўтказилган тадқиқотлар орқали биооксидлаш жараёнида кўпик олиними ва уни алоҳида қайта ишланиши биокекни цианлаш йўли билан қайта ишлаш жараёнининг сифати яхшиланганлиги тасдиқланган. Шундай қилиб, сорбцион цианлаш жараёнида кўпиги олинмаган биокекдан олтин ажратилиши 82,3%- ни, кўпикли олинган биокекдан эса 86,8%-ни ташкил этган ва уларнинг чиқиндиларида мос равишда 5,15 г/т ва 2,11 г/т ни ташкил этган.

Кўпикли маҳсулотни алоҳида қайта ишлаш чиқиндиларини биокекни цианлаш чиқиндилари билан бирлаштириб, тегишли ҳисоб-китобларни амалга оширганда куйидагиларни умумлаштириш мумкин: кўпик маҳсулоти чиқиши 5% га яқин бўлганини ва куйдириш жараёнида масса йўқотилишларини ҳисобга олганда, кўпик маҳсулотини қайта ишлашнинг олтин миқдори 31,6 г/т га тенг бўлган чиқиндиларига кўпиги олинган биокекни қайта цианлаш миқдори 2,11 г/т-ни ташкил этадиган чиқиндиларини қўшганда, бирлашган чиқиндилар таркибида 4,12 г/т миқдордаги олтин мавжуд. Шундай қилиб, кўпикни ажратиб олиб ва алоҳида циклда қайта ишлаш йўли билан биокекни қайта ишлаш схемаси бўйича сорбцион цианлаш жараёнида умумий олтин ажратиб олиш даражаси 85,8%-ни ташкил қилган. Бу биооксидлаш жараёнида кўпиги олинмаган биокек қайта ишлашдан олтин ажратиб олиш даражаси билан солиштирганда 3,5%- га юқори.

Шундай қилиб, лаборатория тадқиқотлари ва олинган натижаларнинг ярим саноат апробациясига кўра, флотацион бойитмани қайта ишлашнинг тавсия этилган технологик схемаси 5-расмда кўрсатилгандек тузилган.



5-расм. Биооксидлаш жараёнининг кўпик маҳсулотини ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлаш орқали флотацион бойитмани қайта ишлаш тавсия этилган технологик схемаси

Ярим саноат синовлари натижаларига кўра биооксидлашнинг кўпик маҳсулотини ажратиб олиш ва алоҳида қайта ишлаш орқали флотацион бойитмани қайта ишлаш тавсия этилган технологик схемаси ҳозирда мавжуд схема билан солиштирганда олтин ажралишини 3,5%- га кўпайишини, яъни кунига 1201 грамм қўшимча олтин олишни таъминлайди. Бу эса кунига 388 122 минг сўм қўшимча фойда (солиқсиз) олиш имконини берган (жаҳон бозоридаги олтин нархи ва АҚШ долларининг ўзбек сўмига конвертатсияси ҳақидаги маълумотлар 2021 йил 27 сентябр санаси билан олинган).

ХУЛОСА

«Кўпикли маҳсулотга алоҳида ишлов бериш натижасида биокекни қайта ишлаш технологик кўрсаткичларини ошириш» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотларга асосланган ҳолда, назарий ва амалий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Биооксидлаш жараёни кўп миқдорда кўпик ҳосил бўлиши билан кечади. Биооксидлашнинг кўпикли маҳсулоти мураккаб таркибли маҳсулот эканлиги аниқланган. У углеродли модданинг муҳим қисмини ўз ичига олган. Шунингдек, кўпикли маҳсулотдаги олтин миқдорининг углерод миқдорига боғлиқлиги ҳам аниқланган, бу олтиннинг (сульфидлардаги) сульфидли минераллар ва углеродли моддаларнинг ўзаро бир бирига ўсиши кўринишида углеродли моддалар ичида сингдирилганлигини англатади.

2. Кўпикни ажратиб уни интенсив цианлаш ва оксидловчи куйдиришларни ўз ичига олган схема бўйида алоҳида қайта ишлаш тавсия этилади.

3. Интенсив цианлаш жараёнининг оптимал параметрлари ўрганилган. Экспериментал йўл билан лаборатория шароитида интенсив цианлаш жараёнининг қуйидаги режими белгиланган: $C_{NaCN} = 10$ г/л, кўмир юкламаси 10%, жараён вақти $\tau = 16$ соат, – ва бунда олтин ажратиб олиш даражаси 77,54% га етиши эришилади.

4. Кўпик маҳсулотининг дифференциал термик таҳлил натижаларига кўра олтингугуртнинг оксидланиши ва органик углероднинг ёниши 444-529°C ҳароратда тўлиқ амалга оширилади.

5. Кўпикли маҳсулотни интенсив цианлаш, интенсив цианлаш чиқиндиларини куйдириш ва кейинчалик 3-ГМЗ шароитида куйиндини сорбцион цианлашларни ўз ичига оладиган қайта ишлаш самарали технологик схемаси таклиф этилган. Лаборатория шароитида бу схема бўйича олтиннинг ажратиб олиниши 96,9% га етишига эришилади.

6. Ярим саноат синовлари натижаларига кўра биооксидлаш реакторларидан кўпикни ажратиб олиш, кўпик маҳсулотини ишқорлаш ва кейинчалик интенсив цианлаш, кўпикли маҳсулотнинг интенсив цианлаш чиқиндиларини куйдириш, биокек билан биргаликда куйиндини сорбцион цианлашни кўзда тутувчи флотацион бойитмани қайта ишлашнинг технологик схемаси таклиф қилинган. Таклиф этилаётган технологик схема амалдагига нисбатан олтинни ажратиб олиш даражасини 3,5%-га кўпайишини таъминлайди. Бу кунига 388 122 минг сўм миқдорида кўшимча фойда (солиқсиз) олиш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.17/04.06.2021.Т.06.01
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
НАВОЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ГОРНОМ ИНСТИТУТЕ**

НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

ХАМИДОВ РУСТАМ АБДУГАФУРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПЕРЕРАБОТКИ БИОКЕКА ПУТЕМ ОТДЕЛЬНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПЕННОГО ПРОДУКТА**

04.00.14 – Обогащение полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2020.2.PhD/T1556.

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: Эргашев Улугбек Абдурасулович
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Мухиддинов Баходир Фахриддинович
доктор химических наук, профессор

Худояров Сулейман Рашидович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова

Защита диссертации состоится «28» 03 2022 года в 16⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.17/04.06.2021.T.06.01 (адрес: 210100, г. Навои, ул. Махмуд Таробий, 72. Зал заседаний Навоийского государственного горного института. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com).


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горного института (зарегистрирован за № 88). Адрес: 210100, г. Навои, ул. Махмуд Таробий, 72. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66.

Автореферат диссертации разослан «14» 03 2022 года.

(реестр протокола рассылки № 5 от «14» 03 2022 года).


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

О. У. Фузайлов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф.т.н. (PhD)


Н. А. Донияров
Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире одним из способов переработки упорных руд является бактериальное окисление, при этом решение проблемы пенообразования в реакторах биоокисления при эксплуатации биоустановок остается одной из важных задач для большинства заводов по всему миру. Повышение уровня пены сокращает полезный рабочий объем реакторов, при этом снижается время процесса и повышается содержание остаточной серы в продукте биоокисления. Кроме того, увеличиваясь в объеме, пена переливается через края реакторов на поддоны. Перекачка этой пены в процесс сорбции ведет к ряду отрицательных последствий и в конечном счете снижаются качественные показатели переработки биокека, в связи с чем решение проблемы пенообразования в реакторах биоокисления является одной из важнейших задач.

В мире на сегодняшний день имеется широкое разнообразие способов борьбы с пенообразованием и, несмотря на это, все они решают проблему отчасти и имеют те или иные недостатки, ограничивающих или даже, в некоторых случаях, не позволяющих их применение при пеногашении в биореакторах. Вместе с тем, ведутся научно-практические исследования по совершенствованию процесса биоокисления, в их числе борьба с пенообразованием. В связи с этим особое внимание уделяется разработке способа борьбы с пенообразованием в процессе биоокисления, улучшая тем самым технологические показатели переработки биокека.

В Республике горно-металлургическая промышленность является одной из важных отраслей развития экономики страны, в связи с этим выполнен ряд научно-практических работ по разработке и внедрению новых и совершенствованию имеющихся технологий для переработки упорного минерального сырья. В Указе Президента Республики Узбекистан¹ определены важные задачи по «повышению промышленности на качественно новый уровень, глубокой переработки местных источников сырья, ускорению производства готовой продукции, освоению новых видов продукции и технологий». В связи с этим становится актуальным решение задач по разработке новых и совершенствованию имеющихся технологий для переработки упорных руд с высокой степенью извлечения ценных компонентов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-

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

металлургической отрасли», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

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

Степень изученности проблемы. В области переработки упорных золотосодержащих руд значительный вклад внесли ученые Лодейщиков В.В., Каравайко Г.И., Седельникова Г.В., Кондратьева, Адамов Э.В., Панин В.В., Фокина С.Б., Шумилова Л.В., Бодуэн А.Я., Верхозин С.С., Афанасова А.В., Асамоах Р.К., Скиннер В., Ли В.Дж., Сонг И.С., Чен И., Ху В., Эллис С., Аманках Р.К., Доберсек А., Томас К.Г., Мишина О., Миллер Р., Браун А., Санакулов К.С., Юсупходжаев А.А., Саттаров Г.С., Хасанов А.С., Якубов М.М., Эргашев У.А., Фузайлов О.У., Лин Н.С., Картикеян О.П., Иглесиас Н., Шипперс А., Натаражан К.А. и др.

Исходя из анализа существующих работ следует отметить, что в зависимости от вещественного состава и характерных особенностей золотосодержащих руд, каждый конкретный случай имеет свои особенности и требует к себе индивидуального подхода. Изучению совершенствования и интенсификации процесса бактериального окисления посвящено много работ, но, тем не менее, проблема пенообразования в процессе биоокисления является малоизученной. В связи с чем, разработка способа борьбы с пенообразованием, позволяющий решить данную проблему и в результате повысить технологические показатели переработки продукта биоокисления, имеет важное научное и практическое значение.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательской работы Навоийского государственного горного института №2-09/2020 ПЗ на тему «Исследование изменения состава и структуры хвостов КЕМИКС и золотосодержащих потоков ГМЗ-3 в процессе обжига современными физико-химическими методами (ДТА, ИКС, РА, СЭМ)».

Целью работы является повышение технологических показателей переработки биокека путем отдельной переработки пенного продукта.

Задачи исследования:

изучение физических характеристик, а также вещественного и минерального состава пенного продукта биоокисления;

определение термических свойств пенного продукта с использованием комплекса термических методов: термогравиметрия, дифференциальная термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия (ТГ, ДТГ, ДСК);

исследование переработки пенного продукта в отдельном цикле;

разработка технологической схемы переработки флотоконцентрата со съемом и отдельной переработкой пенного продукта процесса биоокисления.

Объектом исследования являются биокек и пенный продукт биоокисления флотоконцентрата Гидрометаллургического завода №3 ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат».

Предметом исследования является технология переработки упорных золотосодержащих концентратов с применением бактериального окисления.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы применен комплексный подход с использованием современных методов, включающий пробирный, атомно-абсорбционный, рентгенофазный, анализы для определения вещественного состава продукта, также был использован термогравиметрический метод анализа для изучения термических свойств материала, проведены лабораторные эксперименты и опытно-промышленные испытания.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

по результатам изучения вещественного и минерального состава впервые установлена высокоупорность пенного продукта по сравнению с биокеком;

установлена зависимость содержания золота в пенном продукте от содержания углерода, который свидетельствует, что золото (в сульфидах) имеет вкрапленность внутри углеродистого вещества в виде взаимопрорастания сульфидных минералов и углеродистого вещества;

результатами дифференциального термического анализа изучены закономерности поведения компонентов пенного продукта при обжиге и определена оптимальная температура процесса, при которой осуществляется высокая степень десульфуризации и декарбонизации пенного продукта (444-529°C);

разработана новая технологическая схема и определены оптимальные параметры переработки флотоконцентрата со съемом и отдельной переработкой пенного продукта процесса биоокисления, которая обеспечивает прирост извлечения на 3,5% по сравнению с существующей схемой.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан новый способ борьбы с пенообразованием в реакторах биоокисления за счет вывода и отдельной переработки пенного продукта;

разработана оптимальная технология переработки пенного продукта биоокисления, обеспечивающая извлечение золота из пенного продукта до 96,9%;

определены технологические параметры процессов переработки пенного продукта в отдельном цикле;

разработана новая технологическая схема переработки флотоконцентрата, позволяющая повысить извлечение золота из флотоконцентрата на 3,5% по сравнению с существующей схемой.

Достоверность результатов исследования обоснована значительным объемом лабораторных и полупромышленных испытаний,

удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по повышению извлечения ценных компонентов и результатами разработанных режимов отдельной переработки пенного продукта, значительными положительными результатами, подтверждающие повышение сквозного извлечения основного металла, а также положительными актами лабораторных и полупромышленных испытаний.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обуславливается теоретическим обоснованием целесообразности вывода и отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления флотоконцентрата, определением зависимости содержания золота в пенном продукте от содержания углерода, которая предопределяет применение окислительного обжига для его переработки и установлением оптимальной температуры процесса обжига термическими исследованиями.

Практическая значимость результатов заключается в разработке технологической схемы переработки высокоупорного пенного продукта бактериального окисления флотоконцентрата, включающий процессы интенсивное цианирование и окислительный обжиг, обеспечивающий извлечение золота 96,9%.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по повышению технологических показателей переработки биокека путем отдельной переработки пенного продукта:

способ борьбы с пенообразованием на основе вывода пены и отдельной переработки пенного продукта внедрен в процессе биоокисления на Гидрометаллургическом заводе №3 Навоийского горно-металлургического комбината (справка Навоийский горно-металлургического комбината №02-02-06/10583 от 02 ноября 2021 г.). В результате сокращено количество пены в реакторах биоокисления и улучшены качественные показатели переработки биокека в процессе сорбционного цианирования.

комплексная технология переработки флотоконцентрата со съемом и отдельной переработкой пенного продукта процесса биоокисления внедрена на Гидрометаллургическом заводе №3 Навоийского горно-металлургического комбината (справка Навоийский горно-металлургического комбината №02-02-06/10583 от 02 ноября 2021 г.). В результате увеличено сквозное извлечение основного металла на стадии сорбционного цианирования в среднем на 3,5%.

Апробация результатов исследования. Апробация результатов данного исследования проведена на 7 международных научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 14 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан,

опубликованы 4 статьи, в том числе 2 из которых в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 114 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе **«Современное состояние переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов»** приведены понятие об упорной руде, принципы ее переработки и классификация по технологической упорности. Проведен обзор современного состояния переработки упорной руды и изучены разнообразные методы и технологии по предварительному вскрытию упорного золота.

Один из способов переработки упорных золотосодержащих руд является бактериальное окисление. Благодаря своим преимуществам эта технология используется в многих странах мира. Но есть и недостатки, в числе которых пенообразование в реакторах биоокисления.

В данной главе раскрывается сущность проблемы пенообразования при биоокислении и проведен обзор современной практики борьбы с образованием пены. Обильное пенообразования в реакторах биоокисления объясняется следующими факторами: высокая дозировка флотационных реагентов, снижение активности бактерий, наличие в составе концентрата углеродистого вещества и т.д. Повышение уровня пены сокращает полезный рабочий объём реакторов, при этом снижая время процесса. Это ведет к повышению остаточной серы в продукте биоокисления и, в результате, снижается извлечение золота в процессе сорбционного цианирования.

Вторая глава **«Исследование по изучению характеристик пенного продукта процесса биоокисления»** посвящена изучению непосредственно объекта исследования. На данном этапе в задачи исследования входило изучение физических характеристик пенного продукта биоокисления и определение его вещественного состава.

Пенный продукт процесса биоокисления – это трёхфазная минерализованная пена темно пепельного цвета, в которой помимо пузырьков воздуха присутствуют различные тонкоизмельченные рудные минералы. Плотность гашенной пены составляет в среднем 1240 г/л. Удельный вес сухой

массы пенного продукта составил 2,3-2,4 кг/дм³, а ситовый анализ показал, что крупность зерен пенного продукта имеет значение 98,8% класса -0,044 мм.

Химическим анализом установлено, что в жидкой фазе пенного продукта процесса биоокисления, благородных металлов практически не обнаруживаются, в твердой фазе усредненной пробы биоустановки содержание золота составляет 137,5 г/т, серебра – 63,1 г/т. В незначительных количествах присутствуют Al, Ti, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, K, Na, Mg, Ca. Содержание серы и углерода в твердой фазе пенного продукта – 14,7% и 10,3% соответственно. Результаты химического анализа твердой фазы пенного продукта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты химического анализа твёрдой фазы пульпы пенного продукта

SiO ₂ , %	Al, %	Fe _{общ} , %	Ti, %	Mn, %	Cu, %	Zn, %	Ni, %	Ag, г/т	Au, г/т
15,1	2,9	19,1	0,76	0,01	0,14	0,16	0,024	63,1	137,5
Co, %	K, %	Na %	S _{общ} , %	S _s , %	C _{орг} , %	CO ₂ , %	Mg, %	Ca, %	As, %
0,01	1,2	0,2	25,3	14,7	10,3	0,77	0,9	0,89	0,3

Наличие в пробе сульфидной серы и органического углерода характеризуют технологическую упорность продукта при цианировании, поэтому в целях изучения поведения этих компонентов в процессе биоокисления и изменения содержания золота в каждом из реакторов одного модуля были отобраны соответствующие пробы пенного продукта и проведен их химический анализ. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Химический анализ пенного продукта каждого реактора на содержание золота, серы и углерода

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах				
	Au, г/т	S _{общ} , %	S _s , %	C _{общ} , %	C _{орг} , %
Реакторы – I, II, III	44,3	15,29	10,99	7,09	5,78
Реактор – IV	183,5	18,04	11,94	17,26	15,48
Реактор – V	230,2	15,76	10,01	18,14	16,44
Реактор – VI	286,5	10,57	6,83	20,29	19,7

Полученные данные показывают, что содержание золота растет от реактора к реактору от 44,3 г/т до 286,5 г/т. Содержание серы варьирует в пределах от 6,83% до 10,99%, а значение органического углерода составляет 5,78-19,7%.

На рис. 1 наглядно видно, что содержания золота и органического углерода пропорциональны и растут в сторону последнего реактора. Это свидетельствует о том, что золото (в сульфидах) имеет вкрапленность внутри углеродистого вещества в виде взаимопрорастания сульфидных минералов и углеродистого вещества. Следовательно, углеродистое вещество является основным носителем золота, и их содержание растет в зависимости от времени пребывания пены в процессе биоокисления.

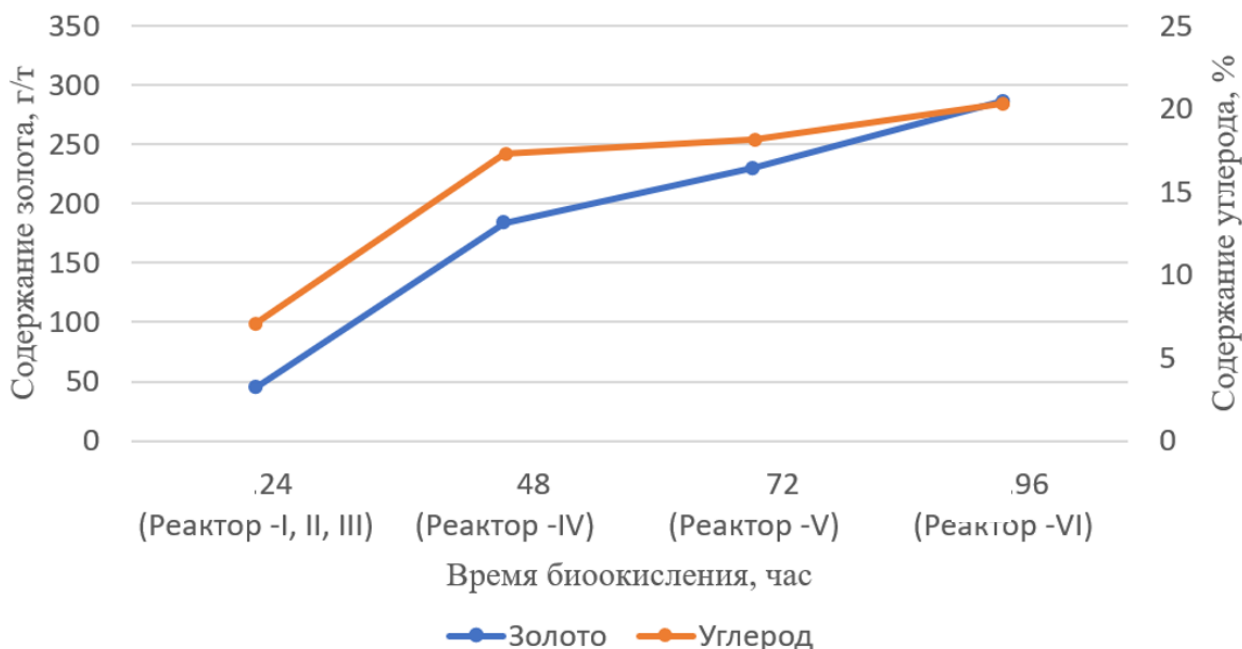


Рис. 1. Содержание золота и органического углерода в пенном продукте

Содержание серы, наоборот, по отношению к золоту уменьшается от реактора к реактору (рис. 2). С увеличением времени биоокисления содержание серы в пене, как и в пульпе, уменьшается за счет окисления сульфидов.

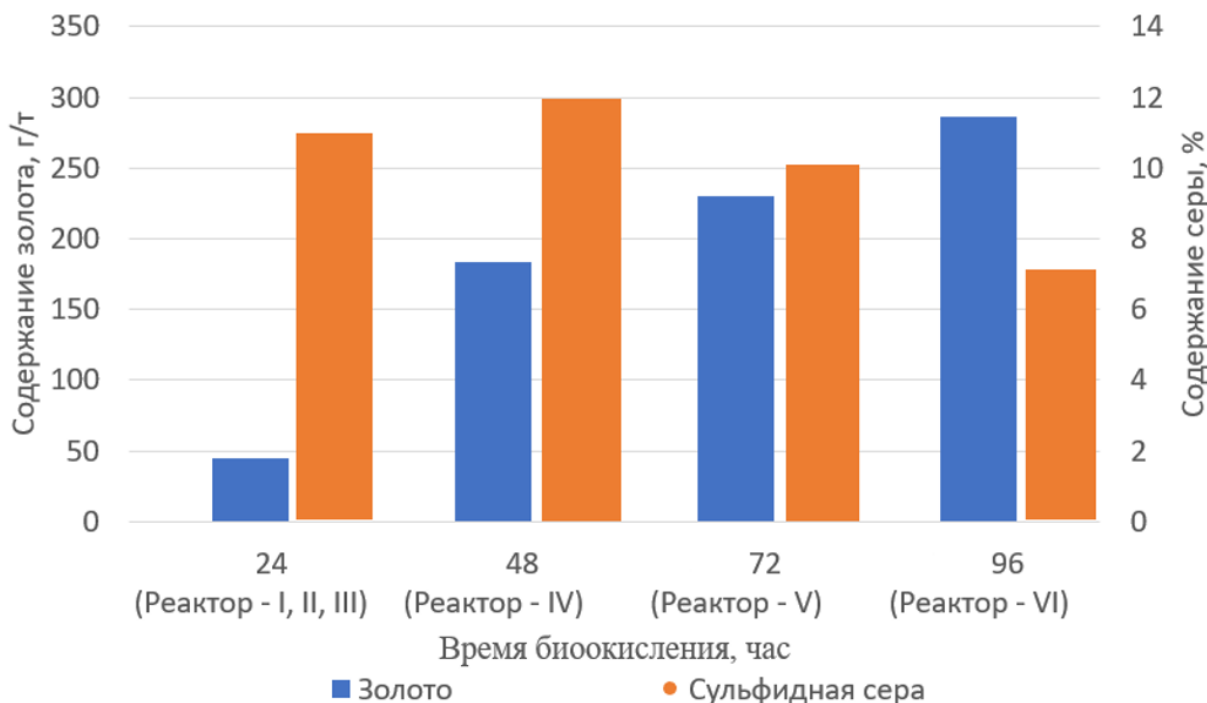


Рис. 2. Содержание золота и сульфидной серы в пенном продукте биоокисления

Процентные соотношения форм нахождения золота по рациональному анализу показывают, что легкодоступное для цианистых растворов золото в пенном продукте составило 51%; золото, покрытое пленками,

ассоциированное с антимонитом и аморфным кремнеземом - 6,8% от общей массы; имеется золото, связанное сульфидами и углеродистым веществом, количество которых равно 8% и 16,4% соответственно; тонковкрапленное золото в породообразующие минералы составило 17,8%, если учитывать, что пенный продукт имеет класс крупности 98,8% класса -0,044 мм, то в данном случае речь, скорее всего, идет о наноразмерном золоте.

Минеральный состав пенного продукта биоокисления был определен методом порошкового рентгеноструктурного анализа. Было обнаружено наличие в ней следующих минералов: пирит, арсенопирит, кварц, мусковит/иллит, альбит, хлорит, стибнит, ярозит, гипс двуводный, тальк, анатаз, сомолюнокит, меркаллит, графит, сера, копиапит.

Количественным рентгенофазным анализом, выполненным методом Ритвельда с помощью программного обеспечения «Profex – Open source XRD and Reitveld Refinement», установлено, что общее количество пирита и арсенопирита в пенном продукте составляет 20,4%. При этом, массовая доля арсенопирита намного меньше, чем пирита, что говорит о том, что в процессе биоокисления сначала окисляется соединение мышьяка. В образце присутствует графитовый углерод в количестве около 4,64%.

Высокое содержание серы и углерода в пенном продукте обуславливают применение окислительного обжига в качестве предварительной обработки для вскрытия упорного золота. В связи с чем, вызвана необходимость проведения термических исследований, который позволяет изучить поведение компонентов пенного продукта во время обжига и его тепловых характеристик при контролируемом нагреве. В данную группу анализов включены термогравиметрия (ТГ), дифференциальная термогравиметрия (ДТГ) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Результаты исследований подтвердили интенсивное окисление пирита и арсенопирита при температуре 450-500°C и сгорание органического вещества при температуре 400-450°C. Таким образом, оптимальная температура обжига, в случае его применения в качестве предварительной обработки для вскрытия упорного золота, при которой осуществляется высокая степень десульфуризации и декарбонизации пенного продукта, соответствует значению 444-529°C.

В третьей главе **«Исследование возможности отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления»** приведены результаты исследований по подбору оптимальной технологии переработки пенного продукта в отдельном цикле и изучено влияние пеносяема в процессе биоокисления на качественные показатели сорбционного цианирования биокека. Также исследована возможность применения вспомогательных процессов при отдельной переработке пенного продукта.

Наличие повышенного содержания серы, органического углерода и ультратонкого золота делает пенный продукт особо упорным. В связи с этим, для повышения извлечения из него ценного компонента необходимо вскрытие заблокированного золота посредством предварительной обработки. В

условиях ГМЗ-3 с учетом вышеперечисленных факторов упорности уместно применение окислительного обжига, который обеспечивает высокую степень десульфуризации и декарбонизации. А повышенные содержания золота, серы и углерода вынуждает применить более жесткие условия сорбционного цианирования. Поэтому в лабораторных исследованиях была отработана схема по отдельной переработке пенного продукта на основе окислительного обжига и интенсивного цианирования (рис. 3).

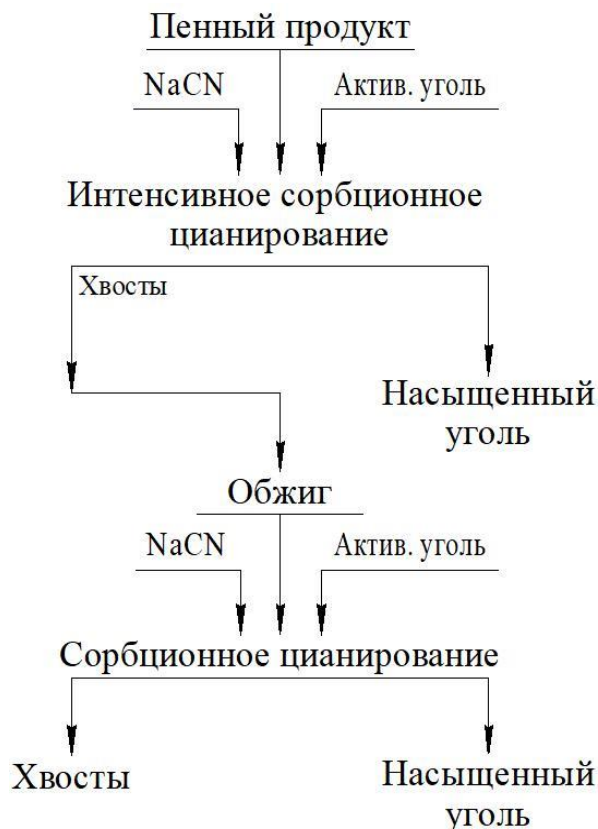


Рис. 3. Схема переработки пенного продукта в лабораторных условиях

Согласно схеме, пенный продукт подвергался интенсивному сорбционному цианированию при концентрации $C_{NaCN} - 10000$ мг/л и загрузки угля 10%. Далее хвосты интенсивного цианирования обжигали при температуре 500-550°C и затем обожженный продукт снова цианировали в условиях ГМЗ-3: $C_{NaCN} - 3000$ мг/л и загрузки угля 6%.

Таблица 3

Результаты интенсивного цианирования пенного продукта

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах					Au в тв. хв., г/т	Au в жид. фазе, мг/л	Извлечение Au, %
	Au, г/т	S _{общ.} , %	S _{s.} , %	C _{общ.} , %	C _{орг.} , %			
Пена биореакторов	230,2	15,76	10,01	17,14	16,44	51,7	Отс (<0,01)	77,54

Согласно полученным данным, извлечение металла в процессе интенсивного цианирования при исходном содержании 230,2 г/т составило 77,54% (табл. 3). При обжиге хвостов интенсивного сорбционного

цианирования пенного продукта достигнуто снижению содержания сульфидной серы и органического углерода до 0,08% и 0,04% соответственно. С учетом потери массы при обжиге содержание ценного компонента увеличилось от 51,7 г/т до 75,7 г/т (табл. 4).

Таблица 4

Результаты обжига хвостов интенсивного цианирования

Наименование проб	Содержание элементов до обжига					Содержание элементов после обжига					Выход огарка %
	Au, г/т	S _{общ} , %	S _S , %	C _{общ} , %	C _{орг} , %	Au, г/т	S _{общ} , %	S _S , %	C _{общ} , %	C _{орг} , %	
Хвосты интенсив. цианир. пенного продукта	51,7	15,76	10,09	17,14	16,44	75,7	5,55	0,08	0,2	0,04	67,8

Извлечение золота при сорбционном цианировании огарка в условиях ГМЗ-3 составило 86,17% (табл. 5). Общее извлечение золота по схеме отдельной переработки пенного продукта составило 96,9%.

Таблица 5

Результаты сорбционного цианирования огарка

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах					Au в тв. хв., г/т	Au в жид. фазе, мг/л	Извлечение Au, %
	Au, г/т	S _{общ} , %	S _S , %	C _{общ} , %	C _{орг} , %			
Огарок	75,7	5,55	0,08	0,2	0,04	10,47	Отс (<0,01)	86,17

Следует отметить, что в целях определения оптимальных режимов переработки пенного продукта были изучены влияние концентрации цианистого натрия, загрузка угля и продолжительности процесса при интенсивном цианировании. Было установлено, что оптимальными условиями интенсивного цианирования являются $C_{NaCN}=10$ г/л с загрузкой угля 10%, время процесса $\tau=16$ ч. При этом извлечение металла составляет около 77%. Оптимальная температура 500-550°C обжига была подобрана исходя из термического анализа пенного продукта.

Для изучения влияния съема пены в процессе биоокисления на показатели сорбционного цианирования биокека в лабораторных условиях был проведен эксперимент с полной имитацией процесса. После снятия пены, выход которой составил 7,8%, оставшийся биокек подвергли сорбционному цианированию в условиях ГМЗ-3: $C_{NaCN} - 3000$ мг/л с коррекцией концентрации на протяжении всего процесса, Т:Ж = 1:2,1; pH – 10,5-11,0, загрузка угля 6% от объема пульпы, время сорбции 16 часов. Результаты сорбционного цианирования биокека со съемом пены представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты сорбционного цианирования биокека со съемом пены

Содержание элементов в пробах					Au в тв. хв., г/т	Au в жид. фазе, мг/л	Извлечение Au, %	Расход реагентов	
Au, г/т	S _{общ} , %	S _s , %	S _{общ} , %	S _{орг} , %				NaCN, кг/т	CaO, кг/т
11,64	7,21	1,12	1,48	1,08	1,64	0,077	85,9	11,2	11,3

При сорбционном цианировании биокека со съемом пены в условиях ГМЗ-3 удалось извлечь 85,9% металла. Для сравнения неоднократные опыты по биоокислению флотоконцентрата в лабораторных условиях без съема пены в разные периоды времени показали эффективность извлечения при цианировании в условиях ГМЗ-3 82 – 84%, при содержании золота в хвостах 4 – 5 г/т. Следовательно, установлено, что съем пены с биореакторов улучшает показатели сорбции биокека за счет снижения в нем содержания органического углерода, что приводит к снижению содержания ценного компонента в хвостах сорбции биокека.

В лабораторных условиях были проведены опыты по сгущаемости пенного продукта. Тончайший размер зерен пенного продукта (свыше 98% класса -0,044 мм), его низкий удельный вес (2,3 г/см³) негативно отразились на процессе сгущения.

При удельном весе твердой фазы пенного продукта 2,3-2,4 кг/дм³ отношение твердого к жидкому в пульпе пенного продукта при ее плотности 1240 г/л составляет Т:Ж≈1:2. После защелачивания пенного продукта известковым молоком плотность пульпы составила $\rho = 1270$ г/л. Таким образом, в результате изучения плотности пульпы пены и плотности пульпы после защелачивания, а также учитывая низкую сгущаемость пенного продукта рекомендуется пульпу пенного продукта после защелачивания напрямую направить на интенсивное цианирование без сгущения.

Учитывая размер зерен пенного продукта (98,8% класса крупности -0,044 мм), в промышленных условиях в процессе обжига прогнозируется высокий пылеунос перерабатываемого материала. Поэтому логичным решением для предупреждения и минимизации потерь золота с пылью является укрупнение размера зерен пенного продукта. В этой связи были проведены дополнительные исследования по его грануляции.

Для определения связующего материала, обеспечивающего наиболее высокую прочность, были изготовлены три группы гранул пенного продукта на основе извести, цемента и бентонита при 15% шихтовке связующего материала. Проверяли устойчивость гранул к механическому разрушению путем интенсивного встряхиванию в закрытом сосуде. Опыты проводились на гранулах крупностью -2мм +1мм. Наиболее устойчивыми к механическому разрушению оказались гранулы, изготовленные из бентонита. Для определения оптимальной его дозировки было решено провести опыт повторно с гранулами на основе бентонита с дозировкой 3%, 5% и 10% от общего веса. Из них более крепкими оказались, соответственно, гранулы с

10% бентонитом. Но хотя динамика разрушения гранул на основе 10% бентонита и 15% бентонита схожа, все же последние обладают более высокой крепостью.

С целью выявления влияния добавления бентонита на качество сорбционного цианирования, гранулы сначала подвергли обжигу при температуре 550°C в течении 2 часов и уже потом направили на интенсивное цианирование, извлечение составило 92,5%.

В четвертой главе «Разработка и технико-экономическое обоснование рекомендуемой технологии переработки флотоконцентрата со съемом и отдельной переработкой пенного продукта процесса биоокисления» приведены результаты полупромышленных испытаний переработки флотоконцентрата со съемом и отдельной переработкой пенного продукта процесса биоокисления и на их основании произведен ориентировочный экономический расчет. Схема цепи аппаратов отдельной переработки пенного продукта представлена на рис. 4.

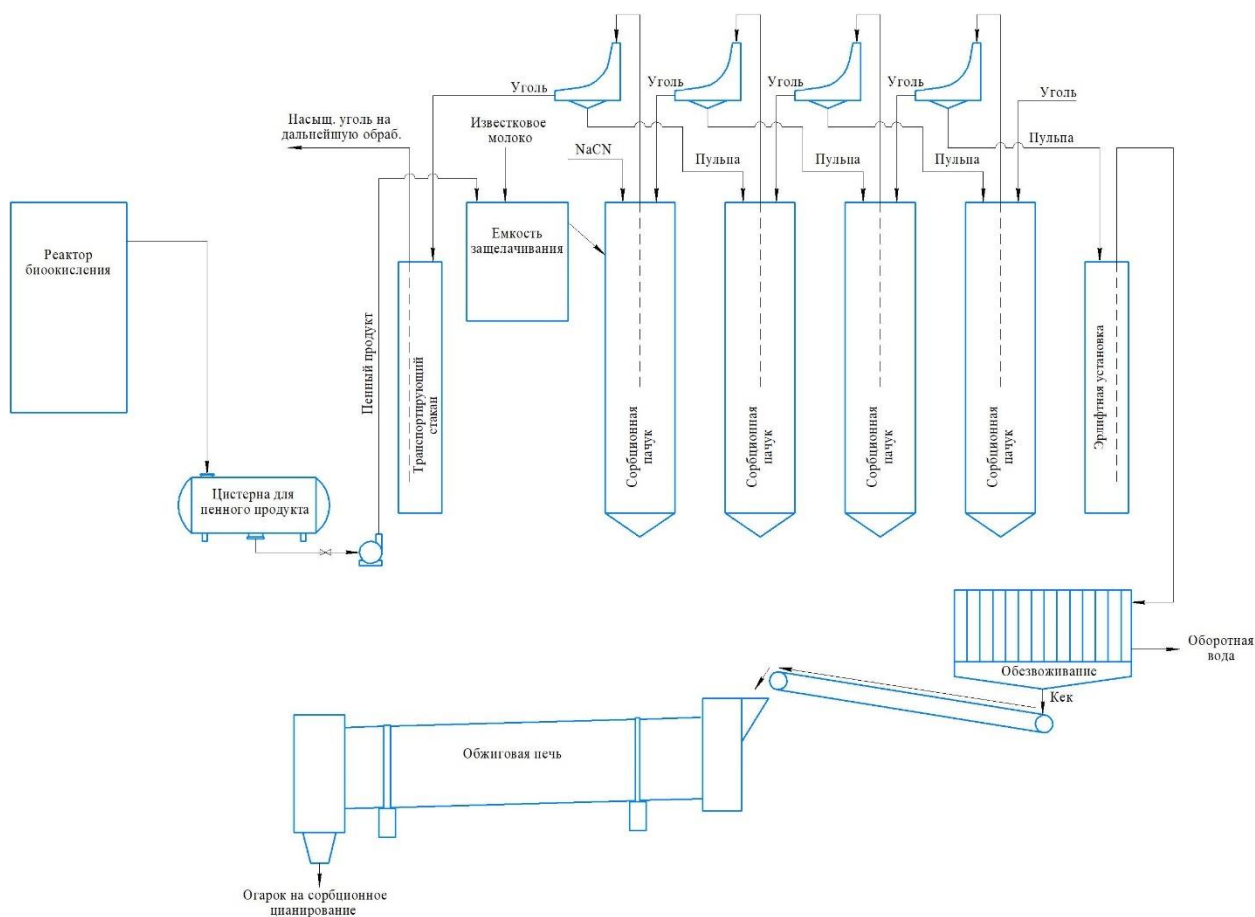


Рис. 4. Схема цепи аппаратов переработки пенного продукта процесса биоокисления в отдельном цикле

Качественные показатели переработки пенного продукта в отдельном цикле представлены в табл. 7.

Таблица 7

Качественные показатели полупромышленных испытаний отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм	Значение
Интенсивное цианирование			
1	Т:Ж пульпы		1:2,4
2	рН пульпы		10,5÷11,5
3	Содержание в исходной пульпе:		
	Au	г/т	135÷140
	S _s	%	6÷10
	C _{орг}	%	17÷20
4	Концентрация NaCN	г/л	20
5	Объем сорбента	% об/об	10
6	Общее время процесса	ч	8
7	Удельный расход NaCN	кг/т	130÷150
8	Извлечение	%	78÷82
Обжиг хвостов интенсивного цианирования			
1	Температура обжига	°С	500÷550
2	Время обжига	ч	2
3	Содержание элементов до обжига		
	Au	г/т	25÷30
	S _s	%	6÷10
	C _{орг}	%	17÷20
4	Содержание элементов после обжига		
	Au	г/т	36÷42
	S _s	%	2÷3
	C _{орг}	%	2÷3
Цианирование огарка			
1	Т:Ж пульпы		1:2,1
2	рН пульпы		10,5÷11,5
3	Концентрация NaCN	г/л	3
4	Объем сорбента	% об/об	8
5	Общее время процесса	ч	16
6	Содержание Au в хвостах	г/т	24÷31
7	Извлечение от операции	%	30÷35
8	Общее извлечение	%	85-90

Всего по схеме отдельной переработки пенного продукта в полупромышленных условиях удалось извлечь около 85-90% золота: 78-82% – на стадии интенсивного цианирования и 30-40% частного извлечения при цианировании обожжённого продукта хвостов интенсивного цианирования.

В промышленных условиях изучалось также качественные показатели переработки биокека со съемом пены и без съема. Цианирование осуществлялось в условиях ГМЗ-3: C_{NaCN} – 3000 мг/л; Т:Ж = 1:2,1; рН = 10,5÷11,5; загрузка угля 8% от общего объема пульпы; время сорбции τ=16 ч. Результаты цианирования представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты сорбционного цианирования биокека со съемом и без съема пены

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах			Au в тв. хв., г/т	Au в жид. фазе, мг/л	Извлечение Au, %
	Au, г/т	Ss, %	C _{орг} , %			
Биокек без снятия пены	29,1	4,71	2,2	5,15	0,01	82,3
Биокек со съемом пены	16	3,96	1,19	2,11	0,02	86,8

Проведенные исследования подтвердили повышения качества переработки биокека цианированием при съеме пены в процессе биоокисления и отдельной ее переработки. Так, извлечение золота в процессе сорбционного цианирования биокека без съема пены составило 82,3%, а со съемом пены 86,8% с содержанием в хвостах 5,15 г/т и 2,11 г/т соответственно.

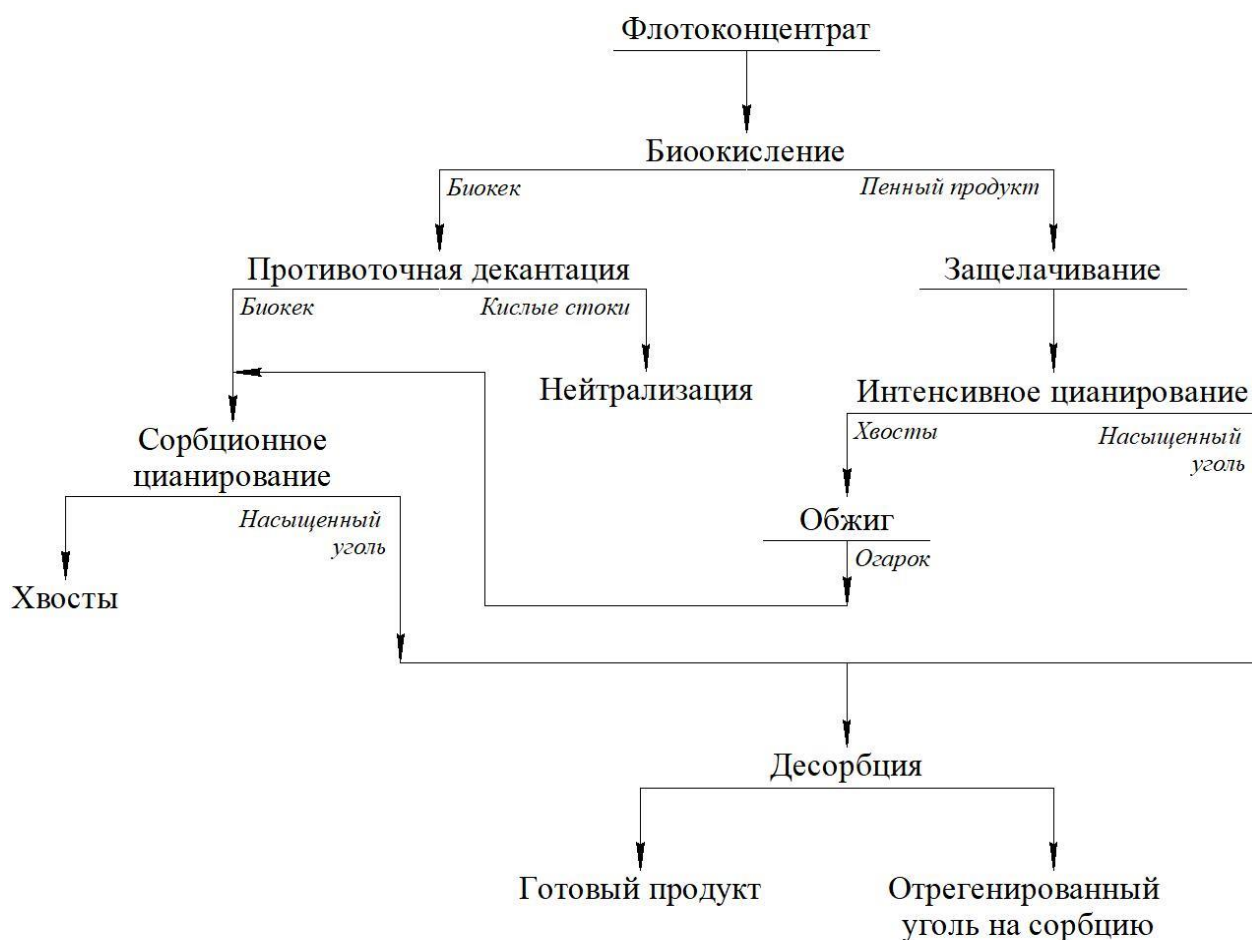


Рис. 5. Рекомендуемая технологическая схема переработки флотоконцентрата со съемом и отдельной переработкой пенного продукта процесса биоокисления

Объединив хвосты переработки пенного продукта с хвостами цианирования биокека и проведя соответственный расчет можно подытожить следующее: при среднем содержании золота 29,7 г/т в хвостах переработки пенного продукта, выход которого составляет около 5% с учетом потерь массы

в процессе обжига и при содержании золота 2,11 г/т в хвостах цианирования биокека, полученного в режиме биоокисления со съемом пены, объединенный продукт имеет содержание золота до 4,12 г/т. Следовательно, общее извлечение в процессе сорбционного цианирования по схеме переработки биокека со съемом пены и переработке последней в отдельном цикле составляет около 85,8%. Это на 3,5% выше по сравнению с извлечением золота из биокека без съема пены при биоокислении.

Таким образом, согласно проведенным лабораторным исследованиям и полупромышленной апробации полученных результатов рекомендуемая технологическая схема переработки флотоконцентрата будет иметь следующий вид, представленный на рис. 5.

На основании результатов полупромышленных испытаний предложенная технологическая схема переработки флооконцентрата, предусматривающую съем и отдельную переработку пенного продукта биоокисления по сравнению с действующей обеспечивает прирост золота на 3,5%. Это позволило получить дополнительную прибыль (без учета налогообложения) в размере 388 122 тыс. сум в сутки (данные по цене золота на мировом рынке и конвертации доллара США на узбекский сум приняты от 27.09.2021 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Повышение технологических показателей переработки биокека путем отдельной переработки пенного продукта» сделаны следующие заключения, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. Процесс биоокисления золотосодержащих концентратов сопровождается обильным пенообразованием. Установлено, что пенный продукт биоокисления является высокоупорным продуктом. В нем сосредоточена значимая часть углеродистого вещества. Также установлена зависимость содержания золота в пенном продукте от содержания углерода, который свидетельствует, что золото (в сульфидах) имеет вкрапленность внутри углеродистого вещества в виде взаимопрорастания сульфидных минералов и углеродистого вещества.

2. Предложено пену выводить и отдельно ее перерабатывать по схеме интенсивного цианирования в сочетании с окислительным обжигом.

3. Изучены оптимальные параметры процесса интенсивного цианирования. Экспериментально, в лабораторных условиях был установлен следующий режим интенсивного цианирования: $C_{\text{NaCN}}=10$ г/л с загрузкой угля 10%, время процесса $\tau=16$ ч, – при котором извлечение составляет 77,54%.

4. Результатами дифференциального термического анализа пенного продукта установлено, что полное окисление сульфидов и сгорание органического углерода обеспечиваются при температуре 444-529°C.

5. Предложена эффективная технологическая схема переработки пенного продукта, включающая интенсивное цианирование пенного продукта, обжиг

хвостов интенсивного цианирования и последующее сорбционное цианирование огарка в условиях ГМЗ-3. Извлечение золота в лабораторных условиях составило 96,9%.

б. На основании результатов полупромышленных испытаний предложена технологическая схема переработки флооконцентрата, предусматривающую пеносьем с реакторов биоокисления, защелачивание пенного продукта с последующим интенсивным цианированием, обжиг хвостов интенсивного цианирования пенного продукта, сорбционное цианирование огарка совместно с биокеком. Предлагаемая технологическая схема по сравнению с действующей обеспечивает прирост золота на 3,5%. Это позволило получить дополнительную прибыль (без учета налогообложения) в размере 388 122 тыс. сум в сутки.

**SCIENTIFIC ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES COUNCIL
DSc.17/04.06.2021.T.06.01 AT NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

KHAMIDOV RUSTAM ABDUGAFUROVICH

**INCREASING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF BIOCECK
PROCESSING BY SEPARATE PROCESSING OF THE FOAM PRODUCT**

04.00.14 – Mineral processing

**DISSERTATION ABSTRACT
for the doctor of philosophy (PhD) of technical sciences**

Navoi – 2022

The topic of the dissertation of a Doctor of Philosophy (PhD) is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2020.2.PhD/T1556.

The dissertation was completed at the Navoi State Mining Institute.

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

Scientific supervisor:

Ergashev Ulugbek Abdurasulovich
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Official opponents:

Mukhiddinov Bakhodir Fakhriddinovich
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Xudoyarov Suleyman Rashidovich
Doctor of Philosophy in Technical Sciences,
Associate Professor

Leading organization:

Tashkent State Technical University
named after Islom Karimov

The defense of the dissertation will be held on «28» 03 2022 at 16⁰⁰ at the meeting of the Scientific council DSc.17/04.06.2021.T.06.01 at the Navoi State Mining Institute. Address: 210100, Navoi, M.Torobiy street 72. Phone: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66; e-mail: info@ndki.uz, nsmi@gmail.com.

The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Centre of the Navoi State Mining Institute under No 88 Address: 210100, Navoi, M.Torobiy street, 72. Phone: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66.

The abstract of the dissertation is distributed on «14» 03 2022.

Protocol at the register No 5 dated «14» 03 2022.



K. Sanakulov
Chairman of the Scientific Council for
awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

O.U. Fuzaylov
Scientific Secretary of the Scientific Council for
Awarding the scientific degrees,
Doctor of philosophy (PhD) in Technical Sciences

N.A. Doniyarov
Chairman of the scientific seminar under the Scientific
Council for awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the research work is to increase the technological parameters of biocake processing by separate processing of the foam product.

The objects of the research are biocake and the foam product of biooxidation of flotation concentrate of Hydrometallurgical Plant №3 of the SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine".

The scientific novelty of the research is as follows:

based on the results of the study of the material and mineral composition, for the first time, the high resistance of the foam product was established in comparison with biokek;

the dependence of the gold content in the foam product on the carbon content has been established, which indicates that gold (in sulfides) is impregnated inside the carbonaceous matter in the form of intergrowth of sulfide minerals and carbonaceous matter;

the results of differential thermal analysis studied the patterns of behavior of the components of the foam product during firing and determined the optimal process temperature at which a high degree of desulfurization and decarbonization of the foam product is carried out (444-529°C);

a new technological scheme has been developed and the optimal parameters for the processing of flotation concentrate with the removal and separate processing of the foam product of the biooxidation process have been determined, which provides an increase in recovery by 3.5% in comparison with the existing scheme.

Implementation of research results. Based on the obtained scientific results on increasing the technological parameters of biocake processing by separate processing of the foam product:

a method for combating foaming based on the removal of foam and separate processing of the foam product was introduced in the process of biooxidation at the Hydrometallurgical Plant No. 3 of the Navoi Mining and Metallurgical Combine (certificate of the Navoi Mining and Metallurgical Combine No. 02-02-06 / 10583 dated November 02, 2021). As a result, the amount of foam in biooxidation reactors was reduced and the quality indicators of biocake processing in the process of sorption cyanidation were improved.

an integrated technology for processing flotation concentrate with removal and separate processing of the foam product of the biooxidation process has been introduced at the Hydrometallurgical Plant No. 3 of the Navoi Mining and Metallurgical Combine (certificate of the Navoi Mining and Metallurgical Combine No. 02-02-06 / 10583 dated November 02, 2021). As a result, the through extraction of the base metal at the stage of sorption cyanidation was increased by an average of 3.5%.

The structure and volume of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references, appendices. The volume of the thesis is 114 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, part I)

1. Санакулов К.С., Эргашев У.А., Хамидов Р.А. Современные способы переработки упорных золотосодержащих руд // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №4. – С. 45-49 (04.00.00; №3)
2. Эргашев У.А., Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Содержание серы и углерода - основной критерий упорности пенного продукта процесса биоокисления // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2021. – №5(86). – С. 24-27(02.00.00; №1)
3. Эргашев У.А., Хамидов Р.А. Полупромышленные испытания схемы отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021. – №3. – С. 40-43 (04.00.00; №3)
4. Хамидов Р.А. Выбор схемы отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2021. – №8. – С. 30-33 (04.00.00; №35)

II бўлим (II часть; part II)

5. Ergashev U.A., Khamidov R.A.. Prospects for the application of nanotechnology in the metallurgical industry // The international conference on integrated innovative development of zarafshan region achievements, challenges and prospects. – Navoi, 2019. – pp. 159-162.
6. Санакулов К., Эргашев У.А., Хамидов Р.А. Проблема пенообразования в реакторах биоокисления // Международная конференция «Наука и инновации». – Ташкент, 2020. – С. 103-106.
7. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Исследования по отдельной переработке пенного продукта процесса бактериального окисления с применением обжига // X международная научно-практическая конференция: «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». – Кузбасс, 2021. – С. 176.
8. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Перспектива отдельной переработки пенного продукта процесса бактериального окисления золотосодержащих руд // X международная научно-практическая конференция: «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». – Кузбасс, 2021. – С. 177.
9. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Влияние серы и углерода на извлечение золота при сорбционном цианировании пены биоокисления // III Международная научная конференция: «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». – Казань, 2021. – С. 129-130.

10. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Пути совершенствования технологии переработки руд месторождений Кокпатас и Даугызтау на ГМЗ-3 // III Международная научная конференция: «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». – Казань, 2021. – С. 131-132.

11. Калонов А.К., Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. К вопросу выбора схемы отдельной переработки пенного продукта процесса биоокисления в условиях ГМЗ-3 // Международная научно-практическая онлайн конференция «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов». – Алмалык, 2021. – С. 262 -263.

12. Ашуров О.Т., Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Роль термических исследований сульфидного и углистого материала с целью изучения физико-химических превращений при его обжиге // Международная научно-практическая онлайн конференция «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов». – Алмалык, 2021. – С. 192 -193.

13. Хамидов Р.А. Пена реакторов процесса биоокисления – особо упорный золтосодержащий продукт // XXV Международной научно-практической конференции «Инновация-2021». Сборник статей. – Ташкент, 2021. – С. 237-239.

14. Hamidov H., Fuzaylov O., Narzullayev J. and Khamidov R. Investigation of Chemical Transformations During Roasting of Bioleaching Tailings in the Production of Gold // The Ninth International Conference on Engineering for Resources. – Akita, 2021. – A-8.

Автореферат «Ўзбекистон кончилик хабарномаси» журналидан таҳрирдан ўтказилди.

Бичими 60x84¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 2,5. Адади 100. Буюртма № 75.

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