

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

---

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ**

**САФАРОВ ЁДГОРЖОН ТОЙИРОВИЧ**

**КАМЁБ МЕТАЛЛАР ХОМАШЁСИНИ ҚАЙТА ИШЛАШ  
ЖАРАЁНЛАРИНИ УЛАРНИНГ КОЛЛОИД-КИМЁВИЙ ВА  
ТЕХНОЛОГИК ХУСУСИЯТЛАРИНИ БОШҚАРИШ ОРҚАЛИ  
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**02.00.11 – Коллоид ва мембрана кимёси; 02.00.19-Камёб, нодир ва радиоактив  
элементлар кимёвий технологияси;**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2025**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)**

**Content of the abstract dissertation of doctor of sciences (DSc)**

**Сафаров Ёдгоржон Тойирович**

Камёб металлар хомашёсини қайта ишлаш жараёнларини уларнинг  
коллоид-кимёвий ва технологик хусусиятларини бошқариш орқали  
такомиллаштириш..... 3

**Сафаров Ёдгоржон Тойирович**

Совершенствование процессов переработки сырья редких металлов  
регулируанием их коллоидно-химических и технологических  
характеристик ..... 29

**Safarov Yodgorjon Toyirovich**

Improvement of the processes of processing raw materials of rare metals by  
regulating their colloid-chemical and technological characteristics ..... 53

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 57

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

---

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ**

**САФАРОВ ЁДГОРЖОН ТОЙИРОВИЧ**

**КАМЁБ МЕТАЛЛАР ХОМАШЁСИНИ ҚАЙТА ИШЛАШ  
ЖАРАЁНЛАРИНИ УЛАРНИНГ КОЛЛОИД-КИМЁВИЙ ВА  
ТЕХНОЛОГИК ХУСУСИЯТЛАРИНИ БОШҚАРИШ ОРҚАЛИ  
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**02.00.11 – Коллоид ва мембрана кимёси; 02.00.19-Камёб, нодир ва радиоактив  
элементлар кимёвий технологияси;**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2025**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2025.3.DSc/T957 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация иши Умумий ва ноорганик кимё институтида бажарилган.

Диссертация автореферати учта тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.ionx.uz](http://www.ionx.uz)) va «ZiyoNET» ахборот таълим порталида ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчилар:**

**Гуро Виталий Павлович**

кимё фанлари доктори, профессор

**Расулова Ситорабону Нормурадовна**

кимё фанлари доктори, катта илмий ходим

**Расмий оппонентлар:**

**Абдикамалова Азиза Бахтияровна**

кимё фанлари доктори, профессор

**Маткаримов Соҳиб Турдалиевич**

техника фанлари доктори, профессор

**Бухоров Шухрат Бўриевич**

техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**Фаргона давлат техника университети**

Диссертация иши ҳимояси ЎзР ФА Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 рақамли бир марталик Илмий кенгашнинг «27» ноябрь 2025 йил соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улугбек кўчаси, 77-а. Тел.: (99871)262-56-60; факс: (99871)262-79-90 email: [ionxanguz@mail.uz](mailto:ionxanguz@mail.uz).)

Диссертация иши билан Умумий ва ноорганик кимё институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (19-рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улугбек кўчаси, 77-а. Тел.: (99871)262-56-60; факс: (99871)262-79-90

Диссертация автореферати 2025 йил « 14 » ноябрь куни тарқатилди  
(2025 йил « 14 » ноябрдаги 19-рақамли реестр баённомаси)



**Б.С. Закиров**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш раиси, к.ф.д., проф

**Д.С. Салтханова**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш котибаси, т.ф.д., проф

**И.Д. Эшметов**

Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш семинар раиси, т.ф.д., проф

## КИРИШ (Фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳондаги камёб металллар тоғ-кон металлургияси саноати оксидланган рудалар захирасини деярли тугатган, ҳозирда фақатгина мураккаб сульфидли хомашё билан иш олиб бормоқда, уни қайта ишлаш қувватларини ошириш учун замонавий саноат ускуналари, янги самарали ёрдамчи материаллар ва жараёнларни қўлламоқда. Улар молибден, вольфрам ва рений бирикмаларининг товар шакллари олишнинг якуний босқичларинигина эмас, балки камёб металллар хомашёсини тайёрлаш, бойитиш ва қайта ишлаш технологияларини ҳам қамраб олади. Булар қаторига тегишли рудаларни флотация, магнитли ва гравитацион бойитиш, сульфидли металлларни руда концентратларида оксидларга айлантиришнинг оксидлаб куйдириш ёки бошқа усуллари ҳамда, охир-оқибат, эритмалардан қимматли, балласт ёки зарарли компонентларни ажратиб олиш усуллари киради. Замонавий жаҳон амалиётида тоғ-кон металлургияси соҳасидаги муаммоларни ҳал этиш бўйича қабул қилинган ёндашувларни ва экологик талабларни инобатга олган ҳолда, технологик жараёнларни жадаллаштириш масаласи янада долзарб аҳамият касб этмоқда.

Дунёда руда концентратларини технологик минерал аралашмалари билан «концентрациянинг тушиши» (суюлтириш) хавфини бартараф этиш, масалан, уларни кулсиз боғловчилар билан алмаштириш орқали; сульфид хомашёсини замонавийлаштирилган реакторларда куйдириш жараёнини тезлаштириш; хомашёни турли қўшимчалардан тозалаш жараёнига тайёрлаш даражасини ошириш; техноген манбаларни жалб этиш ҳисобидан хомашё базасини кенгайтириш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада гидрометаллургия жараёнларини такомиллаштириш йўллари излашга, флотация орқали бойитилган молибденит концентратларини донадорлаш учун кам самарали боғловчиларга муқобил вариантларни топишга, шунингдек, хомашёни гидрокимёвий босқичга тайёрлаш ва бойитиш даражасига таъсир этувчи уларнинг юза коллоид-кимёвий хусусиятларини (гидрофоблик, солиштирма юза) баҳолашга, вольфрам ангидридиди Si, P, As қўшимчаларидан коагуляция ва адсорбция усуллари орқали тозалашни такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикада хомашё базасини кенгайтириш, технологияларни модернизация қилиш, камёб металллар бирикмалари ва улардан тайёрланадиган маҳсулотлар ишлаб чиқаришни жадаллаштириш бўйича илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. 2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистонни ривожлантириш стратегиясида<sup>1</sup> хомашё базасини ноанъанавий хомашё ва иккиламчи ресурслар ҳисобидан кенгайтириш, шунингдек, “Яшил иқтисодиёт” доирасида чиқиндисиз технологияларни ишлаб чиқиш ва жорий этиш зарурлиги таъкидланган. Бу борада, камёб металллар хомашёсини қайта ишлаш йўллари унинг коллоид-кимёвий ва технологик хусусиятларини тартибга солиш орқали такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этади.

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ 60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг Тараққиёт Стратегияси» тўғрисидаги Фармони

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ–60-сонли «2022–2026 йилларда Янги Ўзбекистонни ривожлантириш стратегияси тўғрисида», 2021 йил 24 июндаги ПФ–5159-сонли «Кон-металлургия саноати ва унга боғлиқ бошқа йўналишларни ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2020 йил 26 майдаги ПҚ–4731-сонли «Олмалик КМК АЖ конлар базасида рангли ва қимматбаҳо металллар ишлаб чиқаришни кенгайтириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги 2024 йил 20 майдаги ПҚ–182-сонли «Саноат учун муҳим минералларнинг хомашё базасини шакллантириш ва уларни ишлаб чиқаришни ташкил этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга мазкур диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика илм-фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги:** Мазкур тадқиқот Ўзбекистон Республикасида илм-фан ва технологияларни ривожлантиришнинг VII «Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи.<sup>2</sup>**

Камёб металллар хомашёсини тайёрлаш ва қайта ишлашнинг янги жараёнларини яратиш ҳамда мавжудларини такомиллаштиришга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан The Institute for Geoscience Research, Curtin University (Австралия); Canadian Institute of Mining (Канада); Metallurgy and Petroleum Chemical Engineering Department, Khalifa University, Абу Дхаби (БАА); School of Chemistry and Environment, Yunnan Minzu University (Хитой); School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Henan (Хитой); School of Metallurgy and Environment, School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha Hunan (Хитой); School of Environmental and Chemical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao (Хитой); Department of Materials Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz (Эрон); Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran (Эрон); Metallurgical Complex of LLC “Kazakhmys” Corporation (Қозоғистон); Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul University (Туркия); Д.И. Менделеев номидаги Россия кимё-технология университети (РКТУ); Миллий тадқиқот технологик университети “МТТУ”, Москва (Россия); Санкт-Петербург давлат технология институтида (Россия) амалга оширилмоқда.

Камёб металллар рудаларини қайта ишлаш соҳасида технологик ечимларни ишлаб чиқишга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: Молибденит рудасидан микротўлқинли куйдириш усули орқали натрий молибдат товар маҳсулоти олинган. School of Chemistry and Environment, Yunnan Minzu University (Хитой); молибденни ажратиб олиш учун Mo(VI) ни H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> билан кислотали эритмага

---

<sup>2</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи <http://www.scholar.google.com>, <http://www.sciencedirect.com> ва бошқа манбалар асосида тайёрланган.

ўтказиш–экстракция қилиш - айланма жараёни ишлаб чиқилган School of Metallurgy and Environment, Central South University, Changsha, Hunan (Хитой); сульфат кислотада Ni-Mo рудасидан молибденни эритмага ўтказиш реакциясининг кинетикаси ҳисобланган School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha (Хитой); ренийни сорбция усулида комплекс ажратиб олиш технологияси ишлаб чиқилган Metallurgical Complex of LLC “Kazakhmys” Corporation (Қазоғистон); молибден ва ренийни сульфат кислотада эритмага ўтказиш кинетикаси ва механизми ишлаб чиқилган Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences (Словакия); MoS<sub>2</sub> ни NaClO ёрдамида эритмага ўтказиш кинетикаси ва механизми ишлаб чиқилган Instituto de Geologia Economica Aplicada Universidad de Concepcion (Чиле).

Дунёда минерал-руда хомашёсини гидрометаллургия усуллари билан қайта ишлашга юқори самарали тайёрлашнинг янги ёндашувларини ишлаб чиқиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда, жумладан гетероген руда-минерал акватизимлардаги юза ҳодисаларини ўрганиш ва уларни тартибга солиш йўллари; камёб металл сульфидларининг дисперс тизимларида қимматли компонентлар бўйича бойитиш усуллари; руда ва техноген хомашёдан камёб металлларни айланувчи диск усулида ажратиб олиш реакциялари кинетикасини тадқиқ этиш; шеелит концентратини тайёрлаш ва қайта ишлаш усуллари; вольфрам ангидридини сурма, мышьяк ва фосфор қўшимчаларидан тозалаш усуллари; молибденит ва шеелит концентратларини қайта ишлаш маҳсулотларини рафинация қилиш жараёнларида коагуляция, ион алмашинуви ва экстракция усуллари тақомиллаштириш; камёб металлларнинг техноген хомашёсини утилизация қилиш жараёнларини тақомиллаштириш.

**Муаммони ўрганилганлик даражаси.** Дунё миқёсида руда хомашёсини қайта ишлашга самарали тайёрлаш соҳасида, реакцияларнинг кинетик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда, мақсадли тадқиқотлар қатор нуфузли илмий мактаблар томонидан амалга оширилмоқда. Уларнинг сафидан Ласкорин Б.Н., Зеликман А.Н., Волдеман Г.М., Оспанов Х.К., Лусик В.И., Поташников Й.М. каби олимларнинг илмий мактаблари алоҳида ўрин эгаллайди.

Ўзбекистонда Х.Р. Исматов, Г.А. Сиганов ва Х.Т. Шарипов раҳбарлигида руда ва техноген хомашёни қайта ишлаш бўйича тадқиқотлар билан шуғулланган металлургия мактаби шакллантирилган. Ушбу мактаб вакиллари қаторига Л.М. Богачёва, Р.Дж. Аллабергенов, А.К. Қунбазаров, Б.Д. Дюсебеков, Э.А. Пирматов, М.М. Якубов, Н.П. Исмаилов, И.С. Асадов, Г.А. Лукомская, В.М. Пилетский, А.Б. Ежков, В.П. Гуро ва У.З. Шарафутдинов, Т.О. Камолов киради.

Бундан ташқари, К.С. Ахмедов раҳбарлигидаги коллоид-кимёвий мактаб вакиллари - С.С. Хамраев, А.А. Агзамходжаев, Б.Б. Муинов ва бошқалар - гидрометаллургия эҳтиёжлари учун коагулянтлар, флокулянтлар, флотореагентлар ва сорбентлар каби янги материалларни фаол равишда ишлаб чиқиш билан шуғулланганлар.

Шуни таъкидлаш лозимки, ҳозирги вақтга қадар жараёнларнинг кинетик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда руда хомашёсини самарали тайёрлашга

қаратилган комплекс тадқиқотлар мавжуд эмас. Бу масалалар кўпинча заррачаларнинг чизикли ҳаракатини ҳисобга олувчи, лекин юзага тенг даражада етиб бориш имкониятини инобатга олмайдиган гетероген тизимлар нуқтаи назаридан ёритилади, бу эса ҳақиқий кинетик қонуниятларга мос келмайди. Уларни тўғри тавсифлаш учун айланувчи диск усули зарур. Шунингдек, металлургияда материаллар сарфини минималлашни кўзда тутадиган экологик тоза технологияларга бўлган талаб фақат гетероген тизимлардаги жараёнларни коллоид-кимёвий тартибга солишга таянилган ҳолда қондирилиши мумкин.

**Диссертация тадқиқотининг бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий ишлар режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Умумий ва ноорганик кимё институтининг илмий-тадқиқот ишлари режаларига мувофиқ «Руда-минерал хомашёларида қимматли компонентларни ажратиш олиш жараёнларининг физик-кимёвий асослари ва улар асосида маҳсулот ва янги материаллар яратиш» мавзусидаги давлат дастури доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** камёб металллар хомашёсини қайта ишлаш жараёнларини уларнинг коллоид-кимёвий ва технологик хусусиятларини бошқариш орқали такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

полимер боғловчиларни коллоид кимёвий хоссаларини ҳисобга олган ҳолда асосли танлов асосида МСМ куюндиси доналарини қайта ишлашнинг юқори ғовақлилик, солиштирма юза ва самарадорлигини таъминловчи, каолинга муқобил флотацион бойитилган МСМ ни кулсиз полимер боғловчили донадорлашни ишлаб чиқиш ва синовдан ўтказиш;

янги боғловчининг афзалликларини асослаб адсорбцион-калориметрия усули билан Ленгмюр ва БЭТ изотермаларини қуриш орқали МСМ куюндисининг сув ва азот буғлари бўйича сорбцион сиғимини баҳолаш;

шеелит концентратини эритмага ўтказишда ҳосил бўладиган бутана дисперс системасида коагулянтлар (Al ва Mg тузлари) ҳамда флокулянт (ПАА)ни қўллаган ҳолда коагуляция ва адсорбция усули орқали вольфрам ангидридини Si, P, As қўшимчаларидан тозалаш жараёнини такомиллаштириш имкониятини аниқлаш;

паст навли шеелит концентратини қайта ишлаш маҳсулоти - вольфрам ангидридини қўшимчалардан тозалаш самарадорлигини ошириш учун флокулянт ПАА иштирокида алюминий ва магний тузлари асосидаги коагулянтлар таркибини яхшилаш;

кулсиз полимер боғловчи ва қайновчи қатламли печдан фойдаланиш омиллари ўзаро уйғунлиги синергиясини таъминлайдиган, полимер боғловчи асосидаги МСМ куюндисини қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш ва синовдан ўтказиш;

натрий гипохлорит ва нитрат кислота эритмаларида, уларнинг фарқларини изоҳлаб, молибден дисульфиди ва МСМ ни оксидланиш реакцияларини фаолланиш энергия қийматларини ҳисоблаш;

экспериментал режалаштириш усулидан фойдаланиб, MATLAB дастури бўйича, эритмага ўтказиш самарадорлигининг технологик омилларга

боғлиқлиги графикларини тузиб, оксидловчи эритмада МСМ нинг эриши реакциясининг регрессия тенгламасини ҳисоблаш, оптимал режимни танлаш;

турли конларга мансуб паст навли шеелит хомашёсининг минералогик таркибини таққослаш, уларнинг автоклавда содали ишлов бериш натижаларига таъсирини аниқлаш, қайта ишлашнинг айланма маҳсулотлари таркибини ўрганиш, хомашёни қайта ишлашнинг такомиллаштирилган технологиясини синовдан ўтказиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Олмалиқ кон-металлургия комбинатининг бойитилган молибден саноат маҳсулоти (МСМ), синтез қилинган молибден сульфид ( $\text{MoS}_2$  100%), Ингичка кони шеелит концентрати олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** камёб металллар хомашёсини (молибденит, шеелит концентратлари ва уларнинг саноат маҳсулотларини) қайта ишлаш жараёнлари, уларнинг коллоид-кимёвий ва технологик хусусиятларини тартибга солишни ўрганиш ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда замонавий ва анъанавий физик-кимёвий (атом адсорбцияси, рентген спектрал микроэлементлар таҳлили, рентген фазали таҳлил, сканерловчи электрон микроскопия, дериватография) ҳамда коллоид-кимёвий (қовушқоқлик, ғоваклик, солиштирма юза, адсорбция) хусусиятларни аниқлаш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

ихтиро патенти UZ IAP 06177 билан тасдиқланган, каолинга муқобил, заррача ўлчами 0,074 мм билан тавсифланадиган ҳамда қаттиқ, сульфидли/газли фазалар чегарасида,  $\text{O}_2$  шароитида, 600 °С да диффузион-масса жараёнларини енгиллаштирувчи, флотацион бойитилган молибден саноат маҳсулоти (МСМ) дисперсиясининг янги кулсиз боғловчиси ишлаб чиқилган;

кулсиз боғловчи асосида шакллантирилган МСМ куюндиси доналари каолинли боғловчи билан солиштирганда, пулпада қаттиқ, оксид/сув, реагент фазалар чегарасида кимёвий ўзаро таъсирларни осонлаштирувчи юқори ғоваклилик, солиштирма юзага эга эканлиги аниқланган;

пулпада коагулянтлар (Al, Mg тузлари) ва флокулянт (ПАА) табиати ва массаларининг янги нисбати асосида коагуляция ва адсорбция усули билан шеелит концентратини қайта ишлаш маҳсулотини Si, P, As қўшимчалардан тозалаш жараёни яхшиланиши аниқланган;

кулсиз полимер боғловчи асосида товар молибден тузлари олиш билан МСМ куюндиларини гидрометаллургик қайта ишлашнинг янги технологияси яратилган;

молибденит концентратини гидрометаллургик парчалаш ва эритмага ўтказиш технологияларида молибден дисульфиди ва Mo, Cu, Fe сульфидлар аралашмасининг натрий гипохлорит ва нитрат кислота эритмаларида оксидланиш реакцияларининг кинетик қонуниятлари аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

мавжуд каолин боғловчига нисбатан МСМ куюндисини қайта ишлаш

самарадорлигини оширувчи, кўпроқ ғовакликка, солиштирма юзага ва мукаммал текстурага эга молибден саноат маҳсулотини дондорлаш кулсиз полимер боғловчиси ишлаб чиқилган;

оксидловчи куйдириш жараёнини тезлаштирувчи ва МСМ нинг гидрометаллургик қайта ишланишини енгиллаштирувчу самарани берувчи кулсиз боғловчили МСМ ни дондорлашни кўллаш ва мавҳум қайновчи қатлам печини ишлатишнинг «Олмалиқ КМК» АЖ да кўлланилаётган барабанли куйдириш печига нисбатан синергияси аниқланган;

оксидловчи куйдиришга муқобил сифатида МСМ ни нитрат кислотаси ва натрий гипохлорити эритмаларида гидроксимёвий қайта ишлаш усуллари таклиф этилган, уларнинг солиштирма кинетик хусусиятлари аниқланган;

Шеелит концентратини қайта ишлаш маҳсулоти бўлган вольфрам ангидридини кўшимчалардан тозалашнинг такомиллаштирилган усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Илмий тадқиқотлар замонавий физик-кимёвий ва коллоид-кимёвий усуллардан фойдаланган ҳолда ўтказилган, экспериментал синовлар эса лаборатория ва ишлаб чиқариш шароитларида «Ўзбекистон технологик металллар комбинати» АЖ да амалга оширилган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти коллоид-кимёвий назарияларга асосланиб, МСМ ни оксидловчи куйдиришга тайёрлашда каолин боғловчисини кулсиз боғловчи билан алмаштириш, шунингдек барабанли печини мавҳум қайновчи қатлам печига алмаштириш ва бу омилларнинг синергиясини аниқлаш, шунингдек, натрий гипохлорити ва нитрат кислотаси эритмаларида МСМнинг гидроксимёвий оксидланиш реакциялари кинетикаси қонуниятларини ишлаб чиқиш, шу билан бирга вольфрам ангидридини кўшимчалардан тозалаш усулини такомиллаштириш учун илмий асос яратганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти жараёнларнинг самарадорлигини оширишга (жараёнларни тезлаштириш, қимматли компонентларни тўлиқроқ ажратиш), кўшимчаларсиз тоза товар маҳсулоти олишга йўналтирилган молибден ва вольфрам ишлаб чиқариш хомашёсини тайёрлаш ва қайта ишлаш технологияларини ривожлантиришга, шунингдек, кимё, кимёвий технология ва металлургия соҳалари бўйича олий таълим муассасаларида бакалавр ҳамда магистр мутахассисларни тайёрлаш жараёнида хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Камёб металллар хомашёсини қайта ишлаш жараёнларини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

сульфидли молибденит концентратларини дондорлаш усулига Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги томонидан ихтиро патенти олинган (UZ IAP 06177 20.02.2020). Натижада, каолин ўрнига дондорларнинг ғоваклиги ва солиштирма юзасини оширувчи кулсиз полимер боғловчилардан фойдаланиш усули ишлаб чиқиш имконини берган;

кулсиз полимер боғловчи асосида МСМ куюнди дондорларини қайта ишлаш

технологияси “Ўзбекистон технологик металллар комбинати” АЖ жорий этилган (“Ўзбекистон технологик металллар комбинати” АЖ 2025 йил 17 июндаги 03/03-851-сон маълумотномаси). Натижада МСМ куюнди доналаридан Мо ажралиш даражаси 1% га яъни 98 дан 99% ошириш имконини берган;

натрий вольфрам эритмасини алюминий ва магний нитратлари аралашмаси билан коагуляция қилиш йўли билан аралашмалардан тозалашнинг такомиллаштирилган технологияси “Ўзбекистон технологик металллар заводи” АЖ жорий этилган (“Ўзбекистон технологик металллар комбинати” АЖ 2025 йил 17 июндаги 03/03-851-сон маълумотномаси). Натижада, маҳсулотни Si дан 98,1% га; As дан 93,25% га P дан 77,5% га тозалаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқотнинг асосий натижалари 18 та халқаро ва 7 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси ва материаллари юзасидан 38 та илмий иш чоп этилган, жумладан 1 та патент, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси диссертацияларнинг асосий натижаларини нашр этиш учун тавсия қилган илмий нашрларда 12 та илмий мақола, шундан 8 та республика ва 4 та халқаро журналларда нашр қилинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш қисми, 6 та боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 194 бетдан иборат.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Диссертациянинг кириш қисмида** олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги, мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, танланган мавзунинг республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, илмий янгилик, тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти баён этилган.

**Биринчи боб:** “Камёб металллар хомашёсини қайта ишлаш хусусиятлари, янги жараёнларни ишлаб чиқиш усуллари” молибден ва вольфрам хомашёсини қайта ишлашга тайёрлаш мавзусига қизиқиши қайд этилган, бу саноатнинг камёб металллардан тайёрланган маҳсулотларнинг физик-механик хусусиятларига таъсир қилувчи аралашмаларнинг тозалигига бўлган талаблари билан боғлиқ. Якуний натижаларга кўра, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари белгилаб олинди.

**Иккинчи боб** “Камёб металллар хомашёсини қайта ишлашнинг ўзига хос хусусиятлари, янги технологияларни ишлаб чиқиш усуллари” тадқиқот объектларини тасвирлайди: 1) молибденнинг саноат маҳсулоти (МСМ), таркиби (38% Мо МоS<sub>2</sub> фазасида), м.д. 0,074 мм-75%, ҳ.з. -1,12 г/см<sup>3</sup>, таркиби, %: Мо-38; Re-0,7; Cu-2,5; P-0,009; Sb-0,025; WO<sub>3</sub>-0,05; S-25,2; SiO<sub>2</sub>-10,80; H<sub>2</sub>O-42; Au-35 г/т; Ag-76,3 г/т; 2) синтез қилинган молибден сульфиди (МоS<sub>2</sub> 100%); 3) Ингичка кон шеелит концентрати, таркиби: WO<sub>3</sub>-55,4; CaO-21,88; SiO<sub>2</sub>-2,59; P-0,29; As-0,06; S-0,7; Мо-0,03; 4) МСМ куюндиси (Тш 00193950-074:2018), %: 4) H<sub>2</sub>O-0,09; Мо-36,23; Re-0,010; Cu-1,57; Au-20,20 г/т; Ag-44,60 г/т; P-0,012;

As-0,019. Мос усулларни такомиллаштириш учун молибден ва паст навли вольфрам концентратларини, шу жумладан Ингичка кон материалларини, гидрометаллургик технологиялар асосида қайта ишлаш соҳасида тадқиқотлар олиб бориш режалаштирилган. Полимер эритмаларининг керакли қовушқоқлик даражасини таъминлаш ва назорат қилиш, вольфрам кислотаси тўпланмаларининг флокулянтлар иштирокидаги чўкишини бошқариш, руда кукунларининг дисперслигини назорат қилиш усуллари ўзлаштирилган. Материал намуналари таҳлили куйидаги ускуналар ва усуллар ёрдамида бажарилган: ICP -таҳлил-Agilent 7500 спектрометри, ИҚ-спектроскопия-UR-20 (700-3600 см<sup>-1</sup>), термик таҳлил-Паулик-Эрдей усули, юза таҳлили-SEM-EDS, EVO-MA, JCM-6000 Neoscope II, рентгенофазали таҳлил – XRD Empyrean. Кинетик ўлчовлар айланувчи диск усули орқали амалга оширилган. Экспериментнинг математик режалаштириш усули қўлланилди.

**Учинчи боб** “Молибден саноат маҳсулотини куйдириш учун тайёрлаш жараёнини такомиллаштириш” деб номланади. Унда таъкидланишича, руда флотация йўли билан бойитилганда ҳосил бўлган маҳсулот-(МСМ) қиздириш орқали асосан молибден (VI) оксиди таркибли МСМ куюндисига айланади.

МСМ дисперсияси олдиндан донадорланади, бунинг учун боғловчи ишлатилади. МСМ нодир металлларни қайта ишлаш цехида (НМҚИЦ) 560-600 °С ҳароратда, айланувчи барабанли печда куйдирилади. MoS<sub>2</sub> нинг MoO<sub>3</sub> га оксидланишидан ташқари, куйдириш Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> нинг сублимациясига ва тутилишига олиб келади. “Каолин” технологиясининг салбий томони куюндидаги Мо нинг 4-5% га “суюлтириш” (концентрацияни камайтириш) дир. Каолин Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> нинг учиб чиқишини ва Мо ни эритмага ўтказишни ҳамда кек таркибидан Au ва Ag ни ажратиб олишни қийинлаштиради. Юқорида кўрсатилган камчиликларни бартараф этиш учун каолин ўрнига куйдириш жараёнида ёниб кетадиган, кулсиз СК туркумидаги органик боғловчиларни алмаштириш талаб этилади.

*СК боғловчилари билан МСМ ни донадорлаш.* Каолинли МСМ ни қайта ишлаш самарадорлиги таққосланди (1-шихта, нитрат кислотаси билан МСМ ни очиш), 2-шихта (СК-1) ва 3-шихта (СК-Н), эритмага ўтказиш: Мо учун аммиакли, Au ва Ag учун эса цианидли.

1-Жадвал

Куйидаги боғловчилар асосидаги МСМК ларини қайта ишлаш: №1 - каолин;  
№2 - СК-1; №3 - СК-Н

Шихта	Куйдиришдан олдин, % (г/т)				Куйдиришдан кейин, % (г/т)				Ажратиб олиш, %			
	Mo	Re	Au	Ag	Mo	Re	Au	Ag	Mo	Re	Au	Ag
1	41,3	0,07	(38,1)	(62,2)	-	-	-	-	97	-	94	95
2	37,7	0,06	(34,7)	(56,9)	39,1	0,05	(36,1)	(59,2)	97	15	92	93
3	39,9	0,07	(36,7)	(60,0)	42,2	0,05	(38,2)	(62,0)	99	30	95	95

МСМ куюнди намуналари HNO<sub>3</sub> (pH=1) билан аралашмалардан тозалаш учун ювиб чиқилди. Кейин 25% ли аммиак эритмаси билан ювиб олинди. Жараён 45 дақиқа давомида, Қ:С=1:3 нисбатда ва 60 °С ҳароратда амалга

оширилди. Кек уч марта ювиб чиқилди, бўтана филтрланди ва Mo(VI) қолдикларидан тозалаш учун сув билан pH=7 гача қайта бўтана қилинди. Қайта бўтана қилинган кеклар 20% NaCN бўлган ишқорли цианид эритмаси билан, ҳаво иштирокида, Қ:С=1:3 нисбатда ювиб чиқилди. Намуналар таҳлил қилинди (1-жадвал).

1-жадвалдан кўришиб турибдики, №3 шихта №1 ва №2 шихталарга нисбатан афзалликларга эга: молибден миқдори куйдиришдан олдин ҳам, кейин ҳам юқори; молибденнинг чиқинди кекдаги қолдиқ миқдори 3,0 % дан ошмайди (меёрга жавоб беради), Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> тўлиқроқ сублимацияга ўтади, олтин ва кумушнинг куюндидаги миқдори 95,5–99,0 % гача етади. Тажриба натижаларини аниқлаштириш учун шихта таркибини СК-Н полимерининг концентрацияси 2,0% дан 0,7% гача ўзгартирилди. Куйдириш жараёни 600 °С ҳароратда 6 соат 45 дақиқа давом этди. Тажриба партияларидаги молибден (Mo) миқдори назорат (каолинли) партиясига қараганда юқори; тажрибада олинган куюндида рений (Re) миқдори эса назоратга нисбатан пастроқ: 0,7% СК-Н полимер сарфи мақбул деб топилди.

*МСМ доналарининг куйдириш режимини такомиллаштириш.* Полимерли боғловчилардан фойдаланилган ҳолда донадорланган МСМ лари барабанли печга мос келмайди, чунки МСМ куюндиси деворга ёпишиб қолади. Шу сабабли куйдириш учун қайновчи қатлам печи тавсия этилди. Бундай печда МСМ ни куйдириш грануларда каттароқ ғоваклиликни таъминлайди, бу эса кислороднинг диффузиясини енгиллаштиради.

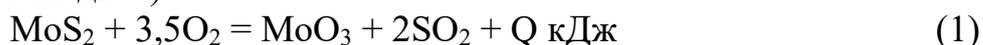
*Иш босқичининг вазифаси:* каолин, СК-К ва СК-Д полимерлари асосида МСМ намунаси тайёрлаш ҳамда уларни коллоид-кимёвий жиҳатдан тадқиқ қилиш (2-жадвал).

2-жадвал

Каолин, СК-К ва СК-Д полимерлари асосидаги шихтадан олинган МСМ доналари

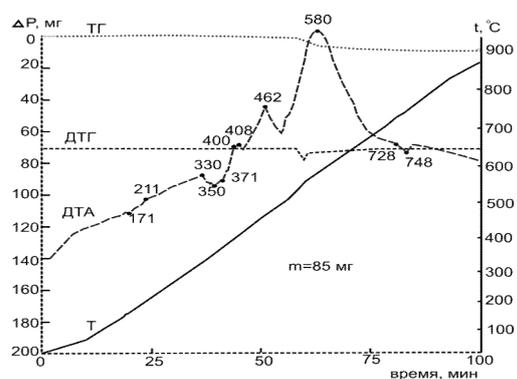
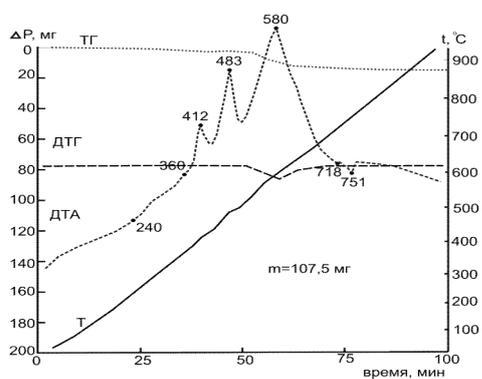
Намуна		01	02	1a	1б	1с	2a	2б	2с	3a	3б	3с
Қайта ишлаш	СК-К, %	100	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0
	СК-Д, %	0	100	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	МСМ, %	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	T, °C	25	25	25	300	600	25	300	600	25	300	600

СК-К ва СК-Д боғловчилари билан тайёрланган доналарнинг 20–900 °С оралиғидаги термокимёвий ҳолати 2a ва 3б дериватограммалар асосида ўрганилди (1-расм, 2-жадвал).

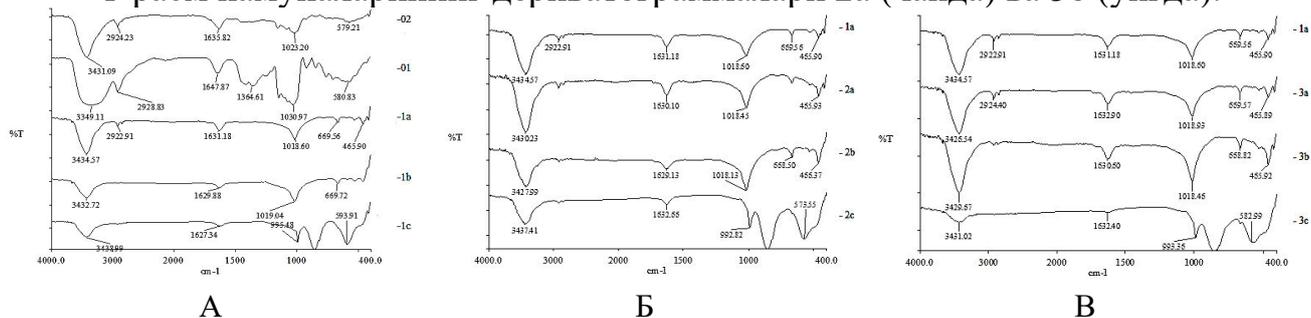


У термодеструкция жараёнида 300 °С дан юқори ҳароратда парчаланувчи компонентлар табиати билан фарқ қилувчи ҳолда индивидуал хусусиятга эга. 600 °С ҳароратда сульфидларнинг ёниш тезлиги кислороднинг диффузияси ва реакция зонасидан олтингугурт (IV) оксидининг чиқарилиши билан чекланади.

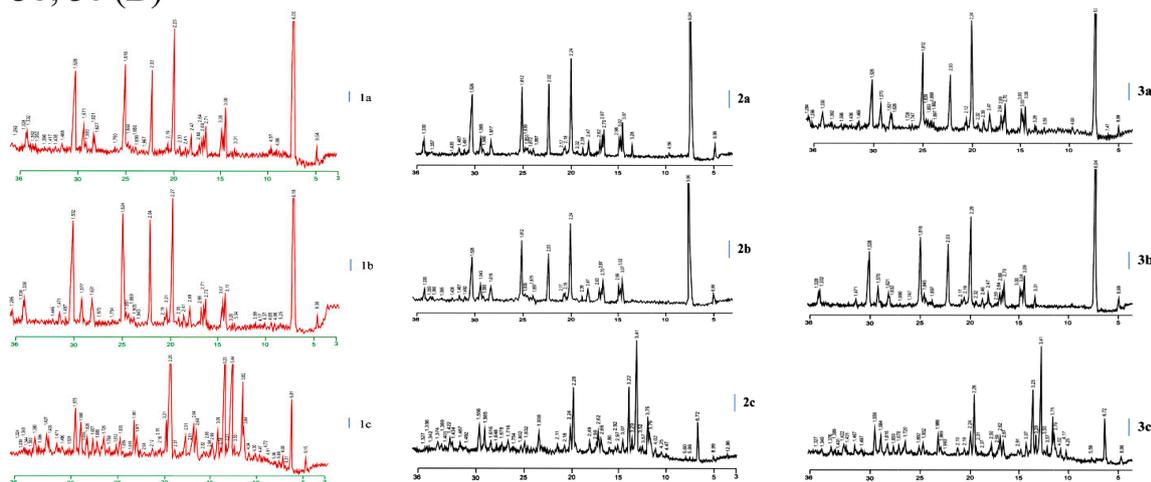
Доналар таркибини таҳлил қилиш натижаларига кўра Мо ва рений Re чиқиши юқорироқ бўлгани кузатилди.



1-расм намуналарининг дериватограммалари 2а (чапда) ва 3б (ўнгда).



2-расм намуналарининг ИҚ-спектрлари: 01,02,1abc (А), 1b, 2a, 2b, 2c (Б), 3a, 3b, 3c (В)



3-расм. МСМ (1), МСМ-СК-К (2), МСМ+СК-Д (3) дифрактограммалари.

Ҳар хил боғловчи моддалар қўлланилган доналарнинг термик барқарорлигини солиштириш қизиқиш уйғотди. 1a, 3a, 3b ва 3c намуналарининг ИҚ-спектрлари кўриб чиқилди (2-расм). 1c намунаси учун куйдиришдан кейин куйидаги частотали чизиклар пайдо бўлган: 3439, 2919, 2852, 1627, 1443, 1206, 1127, 995, 861, 594 ва 487  $\text{cm}^{-1}$ . 995  $\text{cm}^{-1}$  ушбу частоталар  $\text{MoO}_3$  ҳосил бўлганидан далолат беради.

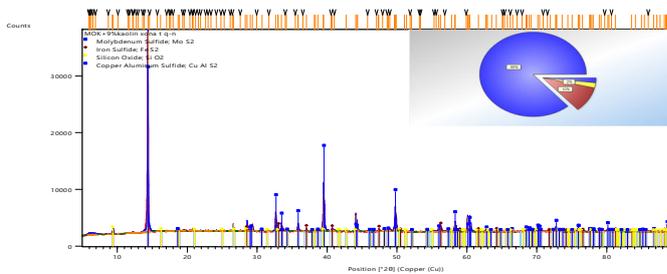
МСМ+1% СК-Д (3c) намунаси учун эса куйидаги частоталар қайд этилган: 3431, 2918, 1632, 993, 857, 666, 583 ва 490  $\text{cm}^{-1}$ . Частотали чизиклар сонидаги ўзгаришлар органик фрагментнинг парчаланишини кўрсатади.

Доналарнинг мустаҳкамлиги, элементар, термик, ИҚ- спектрал таҳлиллари бўйича маълумотларга қўшимча равишда, қиздиришдан кейин рентген фазасини назорат қилиш амалга оширилди: 25-300-600  $^{\circ}\text{C}$ . СК-К (01) ва СК-Д

(02) билан намуналар; МСМ (боғловчисиз) 25, 300, 600 °С да -№1а, 1б, 1с. Қуйидаги диффрактограммалар олинган: (1а); СК-К ва СК-Д кулсиз боғловчи МСМ доналари: № 2а, 2б, 2с; 3а, 3б, 3с (3-4-расм).

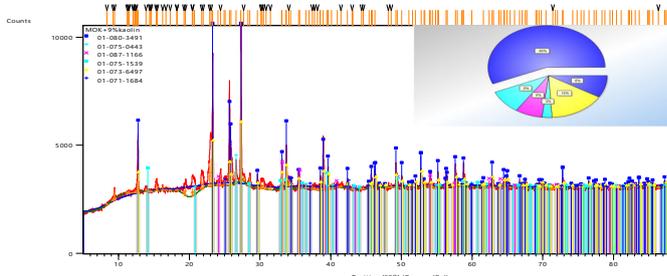
МСМ+(1–3)% СК-Д таркибли 3а, 3б, 3с намуналарнинг рентгенограммаларини таққослаш натижасида юзалараро масофаларда ўзгариш кузатилди. МСМ+1% СК-Д №3а намунасида интенсивлиги 10% дан юқори бўлган кристаллараро масофалар сони-15 та, №3б да-7 та, №3с да-20 тани ташкил этди. Бу эса кристаллик тузилмаларнинг шаклланганини кўрсатади.

№1а – МСМ доналар намунаси, ҳавода 25 °С ҳароратда қуритилган, каолин боғловчиси, дондорлаш шихтаси таркибида 9 %.



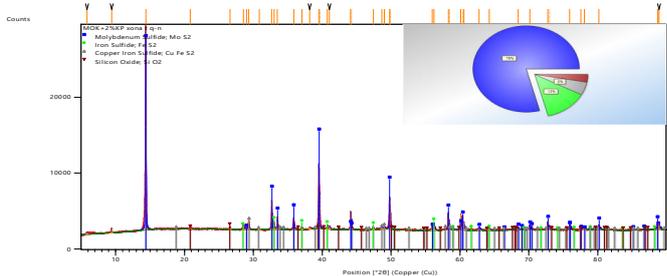
1а

№1б – МСМ доналар намунаси, 600 °С ҳароратда қуйдирилган, каолин боғловчиси, дондорлаш шихтаси таркибида 9 %.



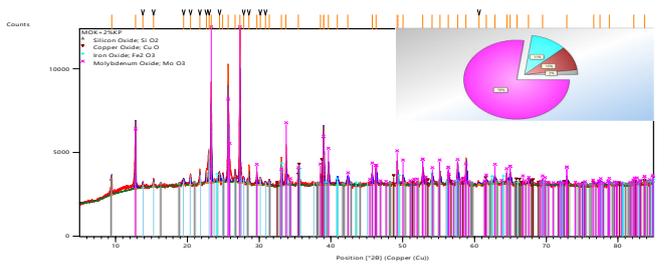
1б

№1с – МСМ гранула намунаси, ҳавода 25 °С ҳароратда қуритилган, СК-К полимер боғловчиси дондорлаш шихтаси таркибида 2 %.



1с

№1д – МСМ гранула намунаси, 600 °С ҳароратда қуйдирилган, СК-К полимер боғловчиси дондорлаш шихтаси таркибида 2 %.



1д

4-расм. МСМ доналарининг 4 та намунаси диффрактограммалари

Ушбу босқичнинг мақсади маҳаллий хом ашёдан каолин билан солиштирганда СК-Н, СК-К, СК-Д қатор боғловчи моддаларни синаш эди. Бунинг учун: 1) ҚҚП реактор ускунаси тайёрланди; 2) СК серияли модификацияланган полимерлар партиялари (СК-Н, СК-К, СК-Д) тайёрланди ва НМҚИЦ га етказиб берилди: мос равишда 2100 кг, 100кг ва 100 кг. 3) ҳар бири 20 кг лик иккита тажриба партияси, МСМ ва 6000 кг лик битта серияли партия саноат грануляторида синовдан ўтказилди - барчаси МСМ № 327 нинг дастлабки партиядан. Шихтанинг таркиби: а) 2,0% СК-К, қолгани МСМ; б)

1,5% СК-Д, қолганлари МСМ; 3) 9% каолин, қолгани МСМ (назорат). № 1 ва 2-сонли тажриба партиялари ҚҚП печида, 3-сонли барабанли печда куйдирилди.

Куюнди намуаларининг таркиби (жадвал 3–4) ва тузилиши (4-расм) ўрганилди. Аниқланди: 1) 1-сонли тажриба партиясидаги Мо миқдори назорат намуасига нисбатан 2,63 % га юқори; 2) 1-сонли тажриба партиясидаги Re миқдори 0,008 %, назорат намуасида-0,016 %; намуалардаги олтингугурт миқдори меёрда; Мо нинг оксидланиш даражаси мос равишда 97 % ва 96,8 %; 3) Тажриба ва назорат намуалари доналари мустаҳкамлиги қониқарли; 4) СК полимери қўшилган МСМ доналари ҚҚ печида 510–570°C ҳароратда куйдирилди.

3-жадвал

Қизиқиш уйғотувчи компонентлар бўйича МСМ нинг бошланғич тўплами таркиби

Mo	Re	Cu	S
36,10%	0,055%	1,57%	28,73%

4-жадвал

Иккита композициядан ташкил топган бошланғич шихта асосидаги МСМ куюндисининг таркиби

Шихта	Mo	Re	Cu	MoS <sub>2</sub> таркибидаги S	Оксидланиш даражаси Мо
Назорат	33,21	0,016	-	0,70	96,8
Тажриба, №1	35,84	0,008	-	0,72	97%

ҚҚ печининг (куйдириш вақти 7 барабар қисқарди) ва полимер боғловчи моддаларнинг (гидрометаллургия осонлашди) биргаликда қўлланилиши синергик таъсири аниқланди. “Полимерли” МСМ нинг, “каолин” дан фарқли ўлароқ, одатда камроқ аралашмалар мавжуд.

**Тўртинчи боб**-«Молибден саноат маҳсулотидagi молибден сульфиднинг реагентли оксидланиш кинетикаси»-Мо (VI) бирикмаларини натрий гипохлорит ва нитрат кислотаси эритмаларида айланувчи диск (АД) усули орқали рудали хомашёдан оксидловчи ювиш жараёнидаги гидроксимёвий реакцияларнинг кинетик қонуниятларига бағишланган. Биринчи ҳолатда, ювилувчи эритмага сульфидли рудадаги окклюзия шаклида бўлган Мо, Au ва Ag ўтади.

*Босқичнинг вазифалари:* 100% молибден дисульфидининг эриш кинетикасини NaClO эритмаларидаги МСМ (таркибида 38% MoS<sub>2</sub>) ҳаракати билан солиштириш, натижаларни нитрат кислота схемаси билан қиёсий таҳлил қилиш.

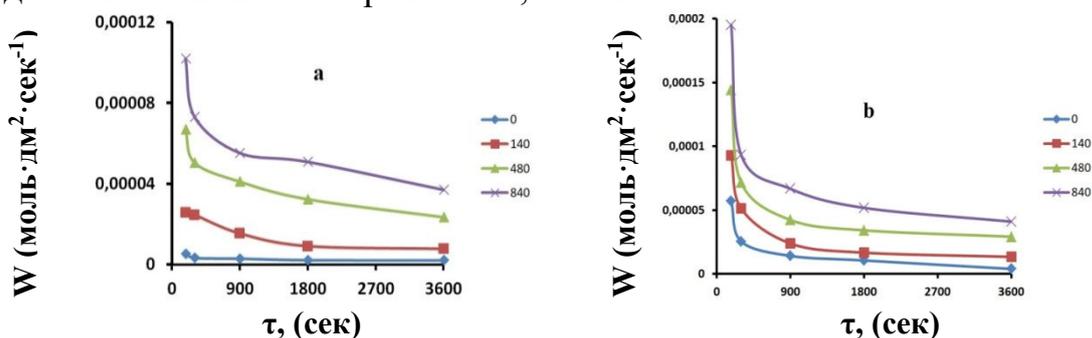
Ушбу боғлиқликларни қуриш учун (1) формула бўйича присланган айланувчи дискда MoS<sub>2</sub> нинг эриши бўйича куйидаги ҳисоблаш қўлланилган.

$$m_i = q_i \cdot \left( \frac{V}{v_i} - i \right) + \sum_{i=1}^n q_i, \quad (1)$$

бу ерда:  $V$  – эритманинг умумий ҳажми см<sup>3</sup>;  $v_i - i$  чи-намунанинг ҳажми, см<sup>3</sup>;  $q_i - i$  чи намунадаги металл массаси, г;  $n$  – намуна сони;  $m_i - i$  -намуна олинган пайтдаги эритилган материал массаси, г. 1 дм<sup>2</sup> АД (юзасидан) эритмага ўтган металл миқдори  $Q_i$  (мол·дм<sup>-2</sup>) куйидаги (2)-формула бўйича аниқланган:

$$Q_i = \frac{m_i}{M \cdot S}, \quad (2)$$

бу ерда  $M$  металлнинг моляр массаси,  $\text{г} \cdot \text{мол}^{-1}$ .



5-расм.  $\text{MoS}_2$  оксидланишнинг  $W$  ( $\text{моль} \cdot \text{дм}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ )га боғлиқлиги ( $\text{Mo}$  миқдори бўйича вақтда ҳисобланган), а ва б – тегишли режимлар: 4%  $\text{NaClO}$   $24^\circ\text{C}$  (а), 4%  $\text{NaClO}$   $35^\circ\text{C}$  (б).

Кинетик эгри чизиқлар қурилди:  $Q_i = f(\tau)$ , бурчак қиялигидан  $W$  нинг эриш тезлиги топилди.  $E^*_{\text{фаол}}$  жараёнлар тезлиги константаларининг тескари ҳароратга (Аррениус), бурчак тезлиги 0-840 айланиш/дақ ва 0-1800 сек оралиғида намуна олиш вақтига боғлиқлигидан топилди.

5-жадвал

$\text{MoS}_2$  нинг 4% ли  $\text{NaClO}$  эритмасида эриши реакциясининг фаолланиш энергияси

τ, сек	T, °C	W, моль·дм <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>			
		ω айланиш/дақ= 0	ω айланиш/дақ= 140	ω айланиш/дақ=480	ω айланиш/дақ=840
180	24	$5,14 \cdot 10^{-6}$	$25,7 \cdot 10^{-6}$	$66,92 \cdot 10^{-6}$	$102 \cdot 10^{-6}$
	35	$5,73 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	$14,4 \cdot 10^{-5}$	$19,5 \cdot 10^{-5}$
	Эа	384,23	204,94	122,1	103,26

6- Жадвал

MCM нинг  $\text{HNO}_3$  ва  $\text{NaClO}$  эритмаларида эриши реакциясининг фаолланиш энергияси  $E_a$ .

τ, сек	Концентрация $\text{NaClO}$ , $\text{HNO}_3$ , %	ω, айл/дақ учун $E_a$ [кЖ·мол <sup>-1</sup> ]			
		0	140	480	840
180	$\text{NaClO}$ 12, (ППМ)	4189.9	-	6694.2	2340.9
	$\text{HNO}_3$ 30, $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5, $\text{O}_2$	449,57	435,44	411,5	134,95
	$\text{NaClO}$ , 4,0	384,23	204,94	122,1	103,26
	$\text{NaClO}$ , 8,0	254,2	115	48,6	72
	$\text{NaClO}$ , 12,0	91,88	156	170	147

Қуйидаги таркибдаги эритмалар ишлатилган: 4%  $\text{NaClO}$ , 8%  $\text{NaClO}$ , 12%  $\text{NaClO}$ . АД нинг 100%  $\text{MoS}_2$  ва МСМ дан эриши кинетик боғлиқликлари тузилган, уларнинг параметрлари ҳисоблаб чиқилган ва натижаларни  $\text{HNO}_3$  даги хатти-ҳаракатлар билан таққослаган ҳолда  $\text{MoS}_2$  оксидланиш реакциясининг диффузия назорати тасдиқланган (5-расм).

5-расмдаги кейинги эгилишлари бўлган тўғри кесмалар материалнинг эриши реакциясининг чекловчи босқичи сифатида диффузияни тасдиқлайди. Диффузия тезлиги ҳароратнинг ошиши ва дискдаги айланишлар сонининг кўпайиши билан ортди.

6-жадвалда мос равишда ( $E_0 = 1,20$ ) ва ( $E_0 = 1,63$ ) оксидланиш-қайтарилиш потенциалли 25%  $\text{HNO}_3$  ва 12%  $\text{NaClO}$  даги  $\text{MoS}_2$ , МСМ оксидланиш реакцияси учун  $E_a$  маълумотлари келтирилган. Сульфидларнинг оксидланиш реакцияси  $\text{NaClO}$  эритмаларида камроқ фаолланиш энергияси билан содир бўлади. МСМ учун у  $\text{HNO}_3$  ва  $\text{NaClO}$  эритмаларида  $\text{MoS}_2$  дан паст бўлади.

7-жадвал.

МСМ ва  $\text{MoS}_2$  нинг эритмада эриши реакциясининг фаолланиш энергияси  $E_a$  [кЖ·мол<sup>-1</sup>], %:  $\text{HNO}_3$ -25,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -5,  $\text{O}_2$ ;  $\omega$  (мин<sup>-1</sup>): 0-480,840,  $T$  °C: 24,70

τ, сек	МСМнинг таркибидаги, $\text{MoS}_2$	Тоза 100 % $\text{MoS}_2$
$W$ , моль·дм <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> , $\omega$ айл/дақ = 0		
180	24,46	284,84
1800	30,12	181,66
$W$ , моль·дм <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> , $\omega$ айл/дақ = 840		
180	36,65	230,35
1800	37,82	134,16

25%  $\text{HNO}_3$ , 5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  эритмаларида реактивли оксидланиш кинетикаси. Соф  $\text{MoS}_2$  нинг реакция кинетикаси ва МСМ таркибидаги  $\text{MoS}_2$  нинг шунга ўхшаш кўрсаткичлари ўртасида таққослаш ўтказилди (7-жадвал). Бундан келиб чиқадики, 100%  $\text{MoS}_2$  МСМ га қараганда фаолланиш энергиясининг катталиги билан тавсифланади. Сабаби, намуналардаги молибденитнинг ҳар хил концентрацияси. МСМ да у 38-40% ни ташкил қилади, бу ерда Fe ва Cu сульфидлари мавжуд. Уларнинг фаолланиш энергияси, масалан, FeS да  $E_a = 38$  кЖ/мол, 100%  $\text{MoS}_2$  дан кам.

$\text{HNO}_3$  эритмаларида МСМ деструкциясининг математик модели. Тажрибани режалаштиришда омилларнинг қийматлари кўрсатилган (8-жадвал). Бокс-Уилсон усули ёрдамида жараённинг оптимал чегаралари аниқланган. Усул экстремумни (мақбул) излашнинг градиент усулига асосланган. Биринчи босқичда моделнинг чизиқли қисмининг коэффицентларини баҳолаш асосида градиентнинг таркибий қисмларини ва унинг йўналишини баҳолаш керак. Градиентни баҳолашда омилларнинг ўзгариши оралиқларининг қийматлари ҳисобга олинган.

Усул икки босқичда оптимални излаш имконини беради: 1) Оптимал майдонда босқичма-босқич тик кўтарилиш. Экспериментлар функциянинг оптималига яқинлашиш учун чиқиш параметрини ўзгартириш йўналиши бўйича ўтказилади; 2) Оптимал ҳудудда қидириш (иккинчи тартибли экспериментал лойиҳа) (8-жадвал).

Оптималлик мезонинг омилларга боғлиқлиги қуйидагича кўринишга эга (4):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (4)$$

Регрессия коэффицентларининг ўртача квадратик чекиниши 8,002, қолган коэффицентлар сони эса 3 та. Гипотеза синови натижалари қуйидаги қийматни берди:  $y = 1,1908$ . Фишер мезонининг ҳисобланган қиймати:  $F_h = 1,36$ ; Катта ва кичик дисперсиялар учун эркинлик даражалари сони: мос равишда  $k_1 = 5$  ва  $k_2 = 7$ . Фишер мезонининг жадвал қиймати:  $F_t = 4,30$ . Хулоса қилинди: фаолланиш энергияси вақт ва айланиш частотасининг ошиши билан камади. Оптимал қиймат-166 кЖ/моль. Айланиш тезлигининг таъсири вақт

омилига қараганда анча аниқ.

8-жадвал

Тажриба режаси, модель:  $\hat{y} = 216,42 + 39,05x_1 + 10,33x_3$

Исм		Факторлар			Натижа			
Параметрлар		Вақт, сон	Айланиш частотаси, айл/дақ	Ҳарора Т, °С	Чиқиш кўрсаткичлари Фаолланиш энергияси $E_a$ [кЖ·мол <sup>-1</sup> ]			
Бошланғич		1890	490	47				
Ишчи қадам		171	3,5	2,3	модель	тажриба		ўртача.
№	Тажриба тури				$\bar{y}$	$y_2$	$y_1$	$\bar{y}$
1	М	1796,00	486,50	46,77	284,84	284,9	285,1	285
2	М	1702,00	483,00	46,54	263,5	263,8	264,2	264
3	М	1608,00	479,50	46,31	243,2	243,5	242,8	243,15
4	Х	1514,00	476,00	46,08	230,35	230,6	229,9	230,25
5	М	1420,00	472,50	45,85	186	185,7	186,4	186,05

бу эрда М - намунавий тажрибалар; Х - ҳисоблаш тажрибалари.

**“Камёб металллар хомашёсининг коллоид-кимёвий тавсифлари ва уларни қайта ишлаш усуллари”** номли бешинчи боб молибден вольфрам ишлаб чиқариш металлургиясига коллоид-кимёвий ёндашувларга бағишланган. У сув муҳитида юқори дисперс ҳолатдаги рудаларни флотацион бойитишдан бошлаб, уларни ювишгача бўлган тайёргарлик босқичларида намоён бўлади.

МСМ нинг полимер боғловчи билан донадорлаш. МСМ ни доналар қилиш учун боғловчи моддалар эритмаларининг қовушқоқлиги ўрганилди (9-жадвал).

9-жадвал

СК-1 эритмасининг кинематик қовушқоқлигининг рН, ҳарорат, суюлтиришга боғлиқлиги (рН H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> нейтралланиши жараёнида) мм<sup>2</sup>/сек.

Ҳарорат, °С	Ҳажмий суюлтириш: бошланғич полимер:сув					
	1:3	1:4	1:5	1:6	1:8	1:10
Бошланғич эритма рН 9 гача нейтралланган						
18	113,22	66,71	45,59	38,56	21,42	16,22
40	59,36	44,98	27,85	23,87	13,46	10,10
Бошланғич эритма рН 5 гача нейтралланган						
18	83,23	38,56	31,21	21,11	14,68	13,46
40	48,04	23,87	20,19	13,77	11,02	9,49

СК-1 ва СК-Н полимерларидан фойдаланишнинг муҳим параметри барқарор ёпишқоқ оқим ҳолатига эришишидир. СК-1 полимер эритмасининг рН га, сув билан суюлтириш даражасига ва ҳароратга қараб қовушқоқлигининг ўзгариши қонуниятларини аниқлаш қизиқиш уйғотди (9-жадвал). Унинг барқарор оқувчан ҳолати 1:5 ва 1:6 нисбатда суюлтирилганда аниқланди. Кузатилдики, полимерли боғловчи моддадан фарқли равишда, каолин 600 °С да куйдирилгандан сўнг Мо (VI) ионларини жуда кам даражада адсорбция қилувчи адсорбент сифатида намоён бўлади, натижада МСМ куюндисини гидрометаллургик эритмага ўтказиш босқичига ҳалал беради.

Боғловчи моддалар билан тайёрланган МСМ доналарининг юза ривожланганлиги

77 К да азотни сорбциялаш усулидан фойдаланган ҳолда кулсиз боғловчили ва каолинли МСМ куюндиси намуналарини ўзига хос сирт майдонини қиёсий баҳолаш қизиқиш уйғотди (10-жадвал).

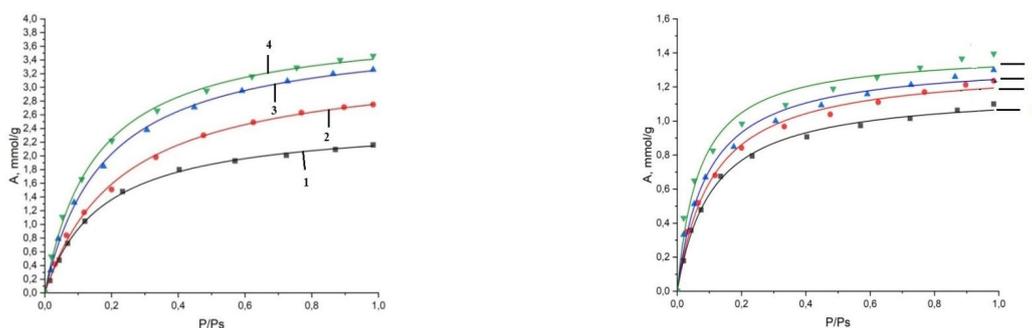
Кўриб чиқилган 7 та система орасида энг паст солиштирма юза МСМнинг боғловчи моддасиз куюнди намунасида (№1) кузатилди. Бошланғич МСМ нинг гидрофоб эканлиги характерлидир, аммо МСМ билан аралашмадаги боғловчилар унга гидрофиллик беради. Доналар юзасининг юқори ғоваклилигини куйидагилар таъминлайди: каолин (№2), каолинли шихта (№3), 1% СК-К (№6) ва СК-Д (№7) (6-расм).

10-жадвал

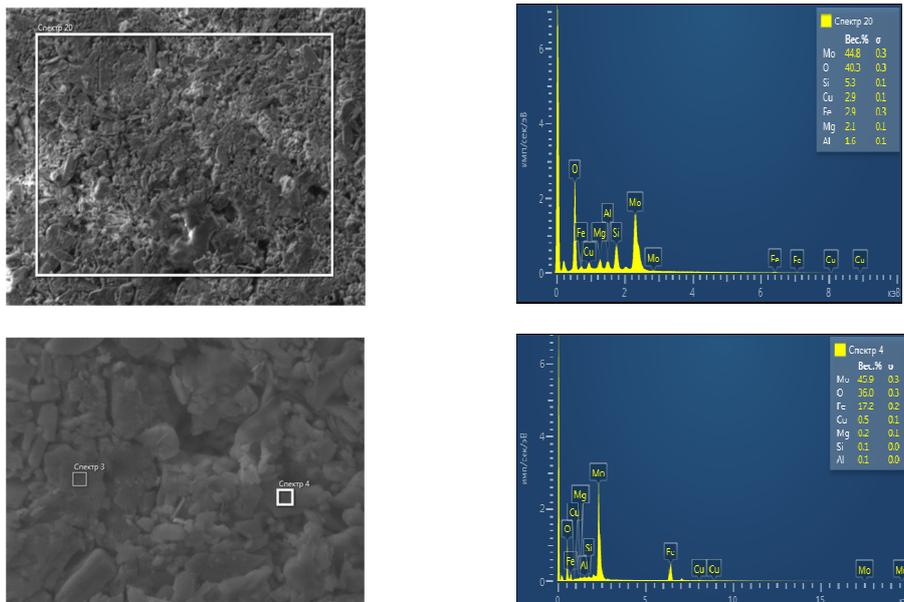
Турли шихталардан олинган МСМ куюнди намуналарининг солиштирма юзаси

№	Донадорлаш шихтасининг таркиби, %	Куюнди оғирлиги, г	Солиштирма юза, м <sup>2</sup> /г
1	МСМ 100,0	0.060	42.0
2	Каолин 100,0	0.060	74.1
3	Каолин 9,0; МСМ 91,0	0.052	77.0
4	СК-Н 3,0; МСМ 97,0	0.065	68.8
5	СК-Н 0,7; КП 0,7; МСМ 99,0	0.051	65.6
6	СК-К 1,0; МСМ 99,0	0.060	75.0
7	СК-Д 1,0; МСМ 99,0	0.060	76.5

МСМ шихтасида каолинни органик боғловчи билан алмаштириш доналарнинг ғоваклигини камайтирмаслиги аниқланди. Бу ғоваклик-куйдириш жараёнида ренийнинг учувчи маҳсулотлар ҳолида ажралиб чиқиши, шунингдек, куюндиларни гидрометаллургик қайта ишлаш жараёнида Мо, Au ва Ag ни ажратиб олиш учун муҳим кўрсаткич ҳисобланади. Бунда, ушбу натижага эришиш учун органик полимерлар массаси каолинга нисбатан 10 баробар кам бўлиши кифоя қилади. 600 °С да куйдирилган МСМ куюнди доналарини совутиш пайтида унинг юзасига сув буғи сорбция изотермалари таққосланди. Шихтадан ғоваклик қийматлари: №1) МСМ 100%;, №2) каолин 100%; 3) МСМ 99%, СК-К 1%; №4) МСМ 99%, СК-Д 1%; (6-расм).



6-расм. Ночизиқли Ленгмюр яқинлашуви билан МСМ куюнди намуналарида азот (чапда) ва сув буғининг (ўнгда) адсорбцион изотермаси. Белгиланиши: сорбент намунасининг рақами МСМ доналари шихтасининг рақамига тўғри келади.



7-расм. Каолин (юқорида) ва СК-К (пастда) билан тайёрланган МСМ доналарининг кўриниши ва таркиби.

7-расмдан кўришиб турибдики, шихта таркибидаги СК-К полимери миқдорини 3% гача ошириш доналарнинг максимал ғоваклигини таъминлайди-бу 9% каолин қўшилган ҳолатдагидан ҳам юқори.

#### *МСМ куйиндисининг текстур хоссаларини ўрганиши*

Олинган боғлиқликлар асосида адсорбцияланиш энергияси ва доналарнинг солиштирма юзаси ҳисоблаб чиқилди. Улар IUPAC классификацияси бўйича I турдаги изотермага ва Брунауэр, Деминг ва Теллер (БДТ) классификацияси бўйича II турдаги изотермага мос келади. IUPAC таснифига кўра I турдаги изотермалар микроғовакли материаллар учун хос бўлиб, куйидаги хусусиятларга эга: паст нисбий босимларда адсорбентнинг тез тўйиниши; графикда микроғовакларнинг тўлишини кўрсатувчи ясси қисм (плато)нинг мавжудлиги. II турдаги изотермалар (БДТ) куйидаги хусусиятлар билан тавсифланади: паст нисбий босимларда юқорига эгилган бошланғич эгри чизик, бу материал юзасида мономер адсорбцияни кўрсатади; босим ошиши билан адсорбциянинг аста-секин ўсиши, бу эса адсорбатнинг ғовакларни тўлдириш жараёнига мос келади. Намуна №1 минимал адсорбцион қувватга эга, бу азот ва сирт ўртасидаги боғланишнинг ўртача яқинлиги ва ўртача мустаҳкамлигини кўрсатади. Унинг махсус сирт майдони (жадвал 11-12 да) каттароқ кўрсаткич билан характерланади.

11–12-жадваллардан кўришиб турибдики, энг юқори адсорбцион сигимни СК-Д боғловчиси асосидаги МСМ намунаси намоён этди, бироз пастроқ кўрсаткич эса СК-К асосидаги намунада кузатилди.

МСМ таркибига 1% СК-Д полимерининг қўшилиши соф МСМ ёки МСМ + каолин билан солиштирганда куюндининг анча ривожланган муайян солиштирма юзага олиб келади. Органик қўшимчалар киритилиши микроғоваклар ва мезоғоваклар ҳажмининг ошишига сабаб бўлади. Ғовакликнинг бундай ортиши органик боғловчилар таркиби билан боғлиқ бўлиб, улар ёниш жараёнида йўқолади ва натижада юзанинг ортишига олиб

келувчи бўшлиқлар ҳосил қилади.

11-жадвал

Азотнинг Ленгмюр модели бўйича адсорбцион хусусиятлари

МСМ намунаси боғловчи билан, оғирлик бўйича %.	$a_{\max}$	$K_L$	Е, Дж/моль	S, м <sup>2</sup> /г	R <sup>2</sup>
Боғловчисиз	2,60067	0,05269	-1884,25	253,72	0,9982
Каолин,9,0	3,31131	0,04613	-1969,37	323,04	0,9978
СК-К 1,0;	3,76835	0,05752	-1828,11	367,64	0,9983
СК-Д 1,0;	3,78773	0,07355	-1670,73	369,52	0,9992

12-жадвал

БЭТ модели бўйича намуналардаги азот адсорбцияси хусусиятлари

МСМ намунаси боғловчи билан, оғирлик бўйича %.	S <sub>БЭТ</sub> , м <sup>2</sup> /г	$a_m$ , ммоль/г	V <sub>a</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>b</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>s</sub> , см <sup>3</sup> /г	R, нм
Боғловчисиз	169,39	1,737	0,071	0,004	0,075	0,88
Каолин,9,0	145,08	1,488	0,088	0,007	0,095	1,31
СК-К 1,0;	198,53	2,036	0,106	0,007	0,113	1,14
СК-Д 1,0;	198,83	2,039	0,111	0,009	0,120	1,21

Эслатма: S<sub>БЭТ</sub> - БЭТ бўйича ўзига хос сирт майдони,  $a_m$  - моноқатлам сизими, V<sub>a</sub> - микроговак ҳажми, V<sub>b</sub> - мезоговак ҳажми, V<sub>s</sub> - умумий говак ҳажми, R – ўртача говак ўлчами.

13-жадвал

БЕТ модели бўйича сув буғининг адсорбцион хусусиятлари

МСМ намунаси боғловчи билан, оғирлик бўйича %.	S <sub>БЕТ</sub> , м <sup>2</sup> /г	$a_m$ , ммоль/г	V <sub>a</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>b</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>s</sub> , см <sup>3</sup> /г	R, нм
Боғловчисиз	64,29	0,989	0,0185	0,001	0,0195	0,62
Каолин,9,0	50,05	0,770	0,020	0,002	0,022	0,89
СК-К 1,0;	58,05	0,893	0,021	0,002	0,023	0,81
СК-Д 1,0;	56,84	0,874	0,0226	0,003	0,0256	0,88

Эслатма: S<sub>БЭТ</sub> - БЭТ бўйича ўзига хос сирт майдони,  $a_m$  - моноқатлам сизими, V<sub>a</sub> - микроговак ҳажми, V<sub>b</sub> - мезоговак ҳажми, V<sub>s</sub> - умумий говак ҳажми, R – ўртача говак ўлчами.

МСМ намуналарида сув буғининг адсорбцияси Ленгмюр модели ёрдамида ҳисобланган. Бундан келиб чиқадики, кулсиз полимер кўшимчалари бўлган намуналар боғловчисиз МСМ ва каолин боғловчи МСМ билан солиштирганда адсорбция сизимининг сезиларли даражада ошишини кўрсатади. (12-жадвал).

МСМ шихтасининг таркибидаги полимерлар сув молекулаларини самарали ушлайдиган микропораларнинг каттароқ улушини шакллантиришга хизмат қилади. Ғовакли тузилмадаги ўзгаришлар материалнинг сорбцион хусусиятларини яхшилашдаги полимерларнинг таъсирини яққол кўрсатади. 14-жадвалдаги маълумотлар шуни кўрсатадики, МСМ куюндисининг органик боғловчи моддалар билан модификацияси унинг адсорбцион қобилятига, айниқса сув молекулаларини ижобий таъсир кўрсатади. Бундай намуналарнинг солиштирма юзасини ва мезоговаклар ҳажмининг ошиши сорбциянинг кучайишига ҳамда гидрометаллургик қайта ишлаш жараёнининг энгиллашишига олиб келади.

Сув буғлари бўйича Ленгмюр константаси азотга нисбатан юқорироқ бўлиб, бу адсорбентнинг сув буғларига нисбатан юқори аффинлигини кўрсатади.

*Боғловчиларга илмий-техник ва патент ҳужжатлари*

МСМ куюндисини ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш учун донадорлаш боғловчисини каолидан кулсиз полимерга алмаштириш таклиф этилди.

14-жадвал

Кеклар ва МСМ куюндисининг турли хил боғловчилар билан таркиби

Намуна	Элементларнинг концентрацияси				
	Mo, %	Re, %	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %
МСМ куюндиси (каолин)	36,65	0,0153	26,20	44,6	1,5
МСМ куюндиси (СК-К)	39,2	0,0009	27,8	45,0	1,5
СК-К асосидаги МСМ ни содали эритмага ўтказиш кеклари	22,9	0,0007	33	48,3	2,13
	11,1	0,0009	36	51,9	2,58
	0,4	0,0008	49	67,3	9,98

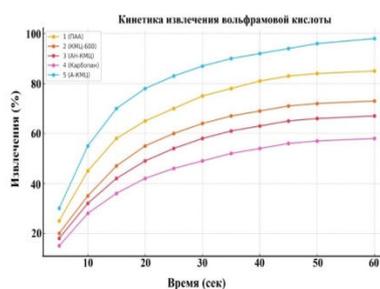
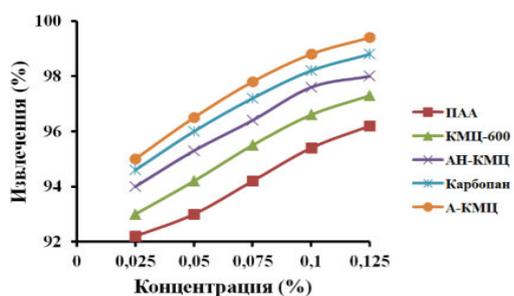
СК Полимерларини сувли эритмаларини олиш усули Тш 23766064-05:2017 Ташкилот стандарти ишлаб чиқилган. У Тш 23766064-05:2017 “СК Полимерларининг сувли эритмалари” экспериментал технологик регламентига мувофиқ амалга оширилади. Техник шартлар. “Молибденит сульфиди концентратларини донадорлаш усули” ихтироси учун UZ № IAP 06177 патенти олинган. МСМ куюндисини қайта ишлашда каолин ўрнига СК дан фойдаланиш самарадорлиги металл тақсимотининг баланси билан кўрсатилган (14-жадвал). Кўриб турганимиздек, кек таркиби г/т: Au-20,2, Ag-44,6, бу каолин кекидагидан юқори.

*Кислотали эритмалардан вольфрам кислотасининг чўкиши*

ЎзКТМ АЖ қошидаги 4-сонли цехнинг саноат пульсация қурилмасида вольфрам кислотасини ювиш амалга оширилди. Янги тайёрланган бутана суспензиясидан уни самарали чўктириш учун флокулянт талаб этилади.

W гидрометаллургиясида сунъий шеелитнинг азот кислотали эритмасидан вольфрам кислотасини ажратиб олиш етарли даражада амалга ошмайди. Фильтр-прессларда қаттиқ фаза яхши ажралмайди, чунки W сакловчи фаза майда дисперсли тузилишга эга. Унинг гранулометриқ таркиби куйидагича: 0,124 мм –1%; 0,295 мм – 83%; 0,351 мм – 10,5%; 0,831 мм–5,5%. Фильтрат билан 0,124 мм ўлчамли вольфрам кислотаси дисперсияларининг 1% қисми ўтиб кетади. Демак, мавжуд ПАА флокулянти билан қўлланилаётган технология етарли даражада самарали эмас (ажралиши 97,6%).

*Тадқиқот босқичининг мақсади* ПАА ўрнига сунъий шеелитнинг нитрат кислота эритмаларидан вольфрам кислотасини чўктириш жараёни учун самарали флокулянтни танлаш эди. Таркибида 60 г/л қаттиқ фаза ( $H_2WO_4$ ) ва эриган вольфрам 2-5 г/л, қаттиқ фаза  $H_2O \cdot WO_3$  бўлган нитрат кислотанинг тайёрланган эритмаси (100-140 г/л) асосидаги дисперс тизимлардан чўктириш йўли билан СФМ-флокулянтлар ёрдамида W ни ажратиб олиш таклиф қилинди: КМЦ-600, АН-КМЦ, А-КМЦ ва Карбопан, уларнинг концентрациясини 0,05-1,0% флокулянт оралиғида ўзгартиради (8-расм).



8-расм. Нитрат кислотали эритмалардан вольфрам (W) ни ажратиб олиш даражасининг флокулянт концентрациясига боғлиқлиги: 1 – ПАА, 2 – КМЦ-600, 3 – АН-КМЦ, 4 – Карбопан, 5 – А-КМЦ.

9-расм. Флокулянтлар билан нитрат кислотали эритмалардан вольфрам (W) ни ажратиб олиш кинетикаси: 1 – ПАА, 2 – КМЦ-600, 3 – АН-КМЦ, 4 – Карбопан, 5 – А-КМЦ; улар конц-си 0,1%

Такдим этилган янги  $H_2WO_4$  чўктириш усули ПАА ўрнига карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) қўллашни назарда тутуди, унинг нархи ПАА нархидан тахминан 4 баравар арзон. ПАА ни КМЦ билан алмаштирилганда, вольфрам кислотасининг кристалланиш жараёнидаги эритмалардаги металл миқдори ҳар 1 литрда 0,22 г га камайдди. КМЦ ни антиоксидантлар ва полимерлар қўшимчалари билан модификациялаш орқали коллоид-кимёвий хусусиятларни (қовушқоқлик, электр ўтказувчанлиги ва бошқалар) ўзгартириш имконияти аниқланди. Шу муносабат билан коллоид-кимёвий жараёнларни тартибга солиш имкониятларини - вольфрам кислотаси бўтанасини чўктириш ва қуюқлаштириш, ишлаб чиқилган сирт фаол моддалар ёрдамида ювиш суюқликларини барқарорлаштириш ва структурасини шакллантириш, улардан фойдаланиш самарадорлигини ўрганиш мақсадга мувофиқдир.

9-расмдан кўриниб турибдики, А-КМЦ СФМ дан фойдаланганда вольфрамни олиш тезлиги (35 секундда) максимал. А-КМЦ флокулянтининг саноат синови 6 соат давомида «ЎзКТМ» нинг №4 цехида пулпаларни шаффофлаш учун флокулянт сифатида ПАА ўрнига қўлланилиб, унинг ўрнини босишда юқори самарадорликни кўрсатди.

15-жадвал

Нитрат кислота эритмасидан W ни флокулянтлар ёрдамида ажратиб олиниши

Флокулянтлар	Муносабат $V_{p-ра} : V_{флок}$	Чўкма оғирлиги г	Эритмадаги W миқдори, г/л	W чиқиши, %
ПАА	100 : 5	1,25	0,151	97,0
	100 : 10	1,25	0,133	97,4
	100 : 15	1,25	0,120	97,6
	100 : 20	1,25	0,120	97,6
А-КМЦ	100 : 5	1,97	0,052	99,1
	100 : 10	2,26	0,022	99,6
	100 : 15	2,26	0,022	99,6
	100 : 20	2,29	0,019	99,7

8–9-расмлар ва 15-жадвал маълумотларидан кўриниб турибдики, қўлланилаётган флокулянтларнинг оптимал концентрацияси 0,1% ни ташкил этади. Агар миқдори 0,05% гача камайтирилса, азот кислота эритмаларидаги

вольфрам кислота чиқарилиши паст бўлади.

А-КМЦ препарати флокулянт ва анионли СФМ сифатида таъсир қилади, у катион-амид гуруҳлари ҳисобига  $WO_4^{2-}$  ионларини боғлайди. Бу эса флокула заррачаларининг ўсишини таъминлайди, металл ионларини тўплаш хусусиятларини кучайтиради. Шунинг учун  $H_2O \cdot WO_3$  зарраларини чўктириш самарадорлиги ионли флокуляция билан бирлаштирилади.

**Олтинчи боб – «Паст навли Шеелит концентратини қайта ишлаш жараёнларидаги янгиликлар»** – уни қайта ишлашнинг янги усулларини ишлаб чиқишга бағишланган. Қайта ишлаш самарадорлигини ва маҳсулот тозаллигини ошириш долзарбдир.

16-жадвал

Конлардан шеелит концентратларининг кимёвий таркиби

Конлар	Компонентлар таркиби, %							
	WO <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	P	As	S	Mo	Орг. қўш-р
Ингичка	55,4	21,88	2,59	0,29	0,06	0,7	0,03	0,46
Кайташ	65,0	11,70	3,62	0,04	0,03	1,2	0,90	0,22
Приморск	53,84	25,5	1,54	1,1	0,03	1,2	0,03	0,25

17-Жадвал

Концентратлар ва қайта ишланган маҳсулотларни эритмага ўтказиш

Шеелит концентрати	Қўшимча As, %	Қўшимча P, %
Лермонтов РБ	0,40-1,5	1,0-1,94
Приморск	1,6	1,1-3,1
Алюмосиликат кеки	0,6	2,5-3,5
"Нордон кек"	0,3	-
АПВ кеки	2,5	0,2

Тадқиқот босқичининг вазифалари конлардан вольфрам хом ашёсининг минералогияси ва таркибини таққослаш ва уларни тозалаш усулини ишлаб чиқиш эди. Турли конларга мансуб Шеелит концентрати намуналари (18-жадвал) сода ёрдамида автоклавли эритмага ўтказиш жараёнига татбиқ этилди. Эритмага ўтказиш ва қўшимча моддалардан тозалаш жараёни давомида айланма маҳсулотларининг намуналари таҳлил қилинди (18-жадвал).

Қўшимча миқдор чегараси: P - 0,03 дан 3,0% гача, As - 0,02 дан 1,6% гача. Айланма маҳсулотларни тозалаш натижалари қуйида келтирилган.

*Алюмосиликат кеки.* Унинг намуналари ҳам парчаланмаган шеелит сақламайдиган, ҳам сақлайдиган ҳолда олинган (филтрация жараёнида пулпа заррачаларининг ўтиб кетиши сабабли). Ишлов бериш режими: сода эритмаси ҳарорати 90 °С (1,37 г/л), вақт 90 дақиқа, Қ:С = 1:5,5. Вольфрам асосий эритмадан биринчи дақиқалардаёқ ажралиб чиқди, парчаланмаган шеелит 70–80% гача сода таъсирида парчаланди. Ҳосил бўлган эритмадаги WO<sub>3</sub> концентрацияси 14–16 г/л ни ташкил этди.

*Кислотали кек.* Кекнинг сода эритмаси билан 60 дақиқа давомида ўзаро таъсирланиши натижасида WO<sub>3</sub> нинг 60–65% ажратилади, WO<sub>3</sub> нинг концентрацияси 60 г/л ни ташкил қилади, As нинг ажралиши 57%, Si 0,46 г/л, Mo 1г/л. Қайта ишлашдан қолган айланма кекдаги WO<sub>3</sub> нинг қолдиқ миқдори тахминан 26% ни ташкил қилди. Ҳосил бўлган эритмаларнинг ранги қўнғир-қора бўлиб, бу ҳолат улар таркибига кислота кекидан ўтган органик бирикмалар мавжудлиги билан изоҳланади.

## P ва As нинг технологик босқичлар бўйича тақсимланиши

Элимент	Технологик босқичлар						
	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> бош.эр.	Кремнийс излантирилган к-н	Фильтр лашдан кейин	pH 3,0-3,5	Сорбция учун эритма	Аммоний вольфрам	АПВ крист. Крист.к-н
P	0,006	0,0018	0,0011	0,0047	0,0081	0,0084	0,127
	0,0046	0,0011	0,0011	0,0011	0,004	0,0115	0,079
	0,0064	0,003	0,0023	0,006	0,0067	0,0091	0,0624
	0,007	0,0038	0,0037	0,0058	0,0084	0,0184	0,136
	0,0029	0,0014	0,004	0,0096	-	0,0155	0,122
	0,0028	0,0019	0,004	0,0096	-	0,016	0,12
As	0,339	0,3	0,28	0,167	0,15	1,95	2,33
	1,79	0,85	0,8	0,358	0,35	-	0,176
	0,649	0,57	0,126	0,029	0,023	0,228	-
	1,62	0,89	0,9	0,468	0,36	0,599	2,4
	0,0328	0,0026	0,0024	0,001	Следи	0,0155	0,122
	0,036	0,0132	0,02	Следи	Следи	0,01	0,1

*АПВ кек.* Кекни ишлов бериш режими: сода эритмаси концентрацияси 130–140 г/л, ҳарорат – 90°C, вақт – 60 дақиқа, (Қ:С) = 1:5. Натижа – кекнинг эриши (93%) ва Wнинг ажралиши (97%). Эритмадаги WO<sub>3</sub> концентрацияси – 135 г/л, SiO<sub>2</sub> – 0,45 г/л, Мо – 0,5 г/л гача. As 50–60 г/л Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> бўлган сода эритмасига 0,5–1,0 г/л миқдорда ўтади. 17–18-жадваллардан кўриниб турибдики, W содала эритма ёрдамида автоклавсиз ажратиб олинади.

*Айланма маҳсулотларни тозалаш усулини такомиллаштириши*

Айланма маҳсулотларда P ва As тўпланади, шунинг учун уларни тозалаш зарур (19-жадвал).

Усул – «ифлос» АПВ ни вакуум-фильтрда дистилланган сув билан ювиш, Қ:С = 1:(1,5–2,0) нисбатида. Фильтратда WO<sub>3</sub> концентрацияси 20–25 г/л ни ташкил қилади.

WO<sub>3</sub> ни аралашмалардан тозалаш даражаси P нинг хатти-ҳаракати унинг натрий вольфрам эритмасига 10-15% ўтиш даражаси билан тавсифланади; ундаги P нинг максимал концентрацияси 0,045+0,06 г/л. Фосфорнинг эритмага бундай паст даражада ўтишининг сабаби ёмон эрийдиган калций фосфатларининг ҳосил бўлишидир. Автоклавда шеезит концентратлари ва қайта ишланган кекларни сода билан ювишда эритма қаттиқ фазага ўтадиган P ва As дан тозаланади.

As, P аралашмалари реактивлар билан чўктириш ёъли билан чиқарилади: Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 50 г/л (19-20-жадваллар).

## Айланма маҳсулотларни мышьякдан тозалаш

Маҳсулот тури	Дастлабки сод. . As, %	Ажратиш дар. As, %	Концентр. As г/л	Кек чиқими,%	Кекдаги As, %
"Нордон кек"	0,13	57,0	0,14	80,0	0,07
«Кек АПВ»	0,39	56,0	0,46	6,25	2,7

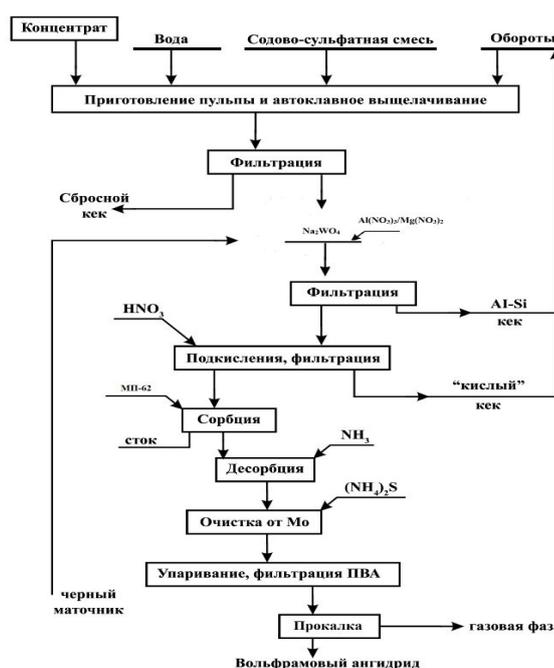
## Натрий вольфрамат эритмаларини тозалашда реагентлар миқдори

Реагентлар миқдори, г/л		Бошланғич эритма, г/л				Яқуний эритма, г/л			
Алюминий нитрат/ Al	Магний нитрат / Mg	WO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	As	P	WO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	As	P
2,84/0,36	-	18,0	0,54	0,02	-	17,74	0,03	0,005	-
1,42/0,18	4,1/0,66	18,0	0,54	0,02	-	17,52	0,02	0,0015	-
2,84/0,36	-	40,0	1,02	0,065	0,008	39,5	0,09	0,0254	0,005
-	4,1/0,66	40,0	1,02	0,065	0,008	38,8	0,085	0,008	0,003
1,42/0,18	2,05/0,33	40,0	1,02	0,065	0,008	39,6	0,092	0,0087	0,009
2,84/0,3 6	-	75,0	0,9	0,2	0,1	73,65	0,02	0,085	0,003
-	4,1/0,66	75,0	0,9	0,2	0,1	72,45	0,04	0,04	0,003

As дан тозалаш 45% га, P дан 85–90% га эришилади, Si дан тозалаш эса Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> эритмаларини алюминий нитрат билан кремнийсизлантириш босқичида амалга оширилади. Si билан бир қаторда P ва As ҳам 35-40% миқдорида олиб ташланади. Кислоталашда P ва As концентрацияси 50-60% га камаяди. 20-жадвалдан кўриниб турибдики, магний тузи билан аралаштирилган алюминий нитрат энг яхши кремнийсизланиш қобилиятига эга.

Тадқиқотнинг вазифаси- юқори миқдордаги аралашмаларни сақловчи иккиламчи маҳсулотларни автоклавсиз шароитда қайта ишлаш усулини ишлаб чиқиш, бунда иккиламчи АПВ таркибидаги аралашмаларни ювиб чиқариш ва сифатли WO<sub>3</sub> олиш кўзда тутилади.

Юқори даражада кўшилмаларни ўз ичига олган қайта ишланувчи маҳсулотларни қайта ишлаш ва «ифлос» АПВ таркибидаги аралашмаларни ювиш усули синовдан ўтказилган ва амалдаги ишлаб чиқаришда қўлланиши мумкинлиги тасдиқланган (10-расм).



10-расм. Паст навли шеелит концентратидан айланма маҳсулотларни қайта ишлашнинг технологик схемаси

## ХУЛОСА

1. Флотобойитилган молибден саноат маҳсулоти (МСМ) дисперсияси учун заррача ўлчами 0,074 мм бўлган, 600°C ҳароратда металл сульфиди / газ, O<sub>2</sub> фазалар чегарасида диффузия ва редокс жараёнларини, шунингдек каолинли боғловчига нисбатан юқори ғоваклик ва солиштирма сирт юзасига эга бўлган МСМ куюндисида 80°C ҳароратда металл оксиди / эритма фазалар чегарасида

кимёвий ўзаро таъсирларни енгиллаштирувчи кулсиз боғловчи ишлаб чиқилган бўлиб, “Ts 23766064-05:2017 «Полимеров СК сувли эритмалари»” ҳамда “Сульфидли молибденит концентратларини донадорлаш усули” номли UZ IAP 06177 ихтиро патенти билан расмийлаштирилган.

2. Адсорбцион калориметрик усулда сув буғлари ва азот бўйича МСМ куюндисини сиғими баҳоланди, бунда Ленгмюр ва БЭТ изотермалари тузилди, полимер боғловчининг каолин боғловчига нисбатан ғовакликка ва солиштирма юза, МСМ ва кекни қайта ишлаш унумдорлиги бўйича афзалликлари аниқланди.

3. Каогуляция ва адсорбция усулида, каогулянтлар (Al, Mg тузлари) ва флокулянтлар (ПАА) биргаликда қўлланилишида Шеелит концентратини эритмага ўтказиш пулпасида 0,074 мм ўлчамдаги доначалар иштирокида вольфрам ангидридини Si, P, As қўшимчаларидан тозалашни такомиллаштириш имконияти яратилди.

4. Вольфрамат эритмаларни фосфор ва мишякдан тозалашда кекларни филтрланиши куйидаги режимда оптималлиги оширилди: кремний диоксиди алюминий сульфатга нисбати  $SiO_2:Al_2O_3=1(0,45+0,55)$  бўлган ҳолда бу коагулянт алюминий нитратга нисбатан самаралироқ, бунда қолдиқ таркиб  $SiO_2$  0,1 г/л бўлиб, унинг самарадорлиги магний сульфат-коагулянти иштирокида янада ошади, уларнинг жараёндаги оптимал сарфи аниқланди.

5. Полимер боғловчи асосида ишлаб чиқилган ва синовдан ўтказилган МСМ куюндисини қайта ишлаш технологиясида кулсиз боғловчидан ҳамда қайнаш қатлами печидан фойдаланиш омилларининг биргаликдаги таъсири орқали синергия эффекти таъминланиб, натижада МСМ куюндисини куйдириш ва қайта ишлаш самарадорлиги ошиши таъминланди.

6. Натрий гипохлориди ва нитрат кислотаси эритмаларида молибден дисульфиди ҳамда молибден саноат маҳсулоти (МСМ)нинг оксидланиш реакциялари учун фаолланиш энергияси қийматлари ҳисоблаб чиқилди, бу қиймат МСМ учун нисбатан кичикроқ экани МСМ таркибида фаолланиш энергияси молибден дисульфидиникидан паст бўлган Cu ва Fe сульфидлари мавжудлиги билан изоҳланди.

7. MatLAB дастурида экспериментни режалаштириш усули орқали МСМ нинг оксидловчи эритмада эриши реакцияси учун регрессия тенгламаси ҳисоблаб чиқилди, эритмага ўтказиш самарадорлигининг ҳарорат, вақт ва диск айланиш тезлигига боғлиқлик графиги тузилди. Фаолланиш энергиясининг минимал қиймати ҳисобидан ҳароратнинг мақбул оралиғи 65–70 °C деб аниқланди.

8. Ҳар хил конлардан олинган паст навли шеелит хом ашёсининг минералогик таркиблари таққосланди ва уларнинг автоклавда содали қайта ишлаш натижаларига таъсири ўрганиб чиқилди. Айланувчи маҳсулотларнинг таркиби ўрганилди: Алюмосиликатли ва нордон кеклар, АПВ кеклари, иккиламчи “ифлос” аммоний вольфрамати, вольфрам хом ашёсининг қайта ишлашнинг такомиллашган технологияси ишлаб чиқилди ва синовдан ўтказилди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 ПО  
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ И  
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

---

**ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

**САФАРОВ ЁДГОРЖОН ТОЙИРОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ  
РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ИХ КОЛЛОИДНО-  
ХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**02.00.11 - Коллоидная и мембранная химия; 02.00.19 – Химическая технология редких,  
благородных и радиоактивных элементов**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

**Ташкент – 2025**

Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2025.3.DSc/T957

Диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу: [www.iopx.uz](http://www.iopx.uz) и Информационно-образовательном портале Ziyonet по адресу: [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)

**Научные консультанты:**

**Гуро Виталий Павлович**  
доктор химических наук, профессор

**Расулова Ситорабону Нормуратовна**  
доктор химических наук

**Официальные оппоненты:**

**Абдикамалова Азиза Бахтияровна**  
доктор химических наук, профессор

**Маткаримов Сохиб Турдалиевич**  
доктор технических наук, профессор

**Бухоров Шухрат Буриевич**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:**

**Ферганский государственный технический университет**

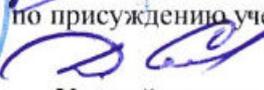
Защита диссертации состоится « 27 » ноября 2025 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании Разового Научного совета DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека 77а. Тел.: (99871)262-56-60; e-mail: [iopxan@uz@mail.ru](mailto:iopxan@uz@mail.ru)

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за №19, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а). Тел.: (99871) 262-56-60); факс: (+99871) 262-79-90.

Автореферат диссертации разослан « 14 » ноября 2025 года.  
(Реестр за № 19 от «14» ноября 2025 года)



  
**Б.С. Закиров**  
Председатель разового научного совета  
по присуждению учёных степеней, д.х.н., проф.

  
**Д.С. Салиханова**  
Учёный секретарь разового научного совета  
по присуждению учёных степеней, д.т.н., проф.

  
**И.Д. Эшметов**  
Председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., проф.

## **ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации на ученую степень DSc)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире горно-металлургическая промышленность редких металлов уже исчерпала ресурсы окисленных руд и имеет дело исключительно с более упорным сульфидным сырьем, применяя, для наращивания мощностей его переработки, современное промышленное оборудование, новые эффективные вспомогательные материалы и процессы. Они затрагивают не только финишные этапы получения товарных форм соединений молибдена, вольфрама и рения, но и технологии подготовки, обогащения и переработки сырья редких металлов. К ним относят флотационное, магнитное, гравитационное обогащение соответствующих руд, окислительный обжиг или иные способы перевода сульфидов металлов в рудном концентрате, в оксиды и, наконец, способы извлечения, как ценных, так и балластных или вредных компонентов из растворов выщелачивания. Учитывая принятые в современной мировой практике подходы к решению проблем горной металлургии, не упуская из вида требования к экологии, интенсификация технологических процессов становится все более актуальной.

Во всем мире ведутся научные исследования, направленные на устранение риска «снижения концентрации» (разбавления) рудных концентратов технологическими минеральными смесями, например, за счёт их замены беззольными связующими; на ускорение процесса обжига сульфидного сырья в усовершенствованных реакторах; на повышение степени подготовки сырья к процессам очистки от различных добавок; на расширение сырьевой базы за счёт вовлечения техногенных источников. В этом направлении особое внимание уделяется поиску путей совершенствования гидromеталлургических процессов, поиску альтернатив малоэффективным связующим при грануляции молибденитовых концентратов, обогащённых флотацией, а также оценке влияния их поверхностных коллоидно-химических свойств (гидрофобность, удельная поверхность) на степень подготовки и уровень обогащения; совершенствованию очистки вольфрамового ангидрида от примесей Si, P и As методами коагуляции и адсорбции.

В республике достигаются научно-практические результаты, направленные на расширение сырьевой базы, модернизацию технологий, ускорение производства соединений редких металлов и продукции на их основе. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы подчёркивается необходимость расширения сырьевой базы за счёт нетрадиционного сырья и вторичных ресурсов, а также разработки и внедрения безотходных технологий в рамках концепции «зелёной экономики». В этом направлении особое значение имеет совершенствование процессов переработки сырья редких металлов посредством регулирования его коллоидно-химических и технологических свойств.

Данное диссертационное исследование, в определенной степени, служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии Развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», УП-5159 от 24 июня 2021 года «О

дополнительных мерах по развитию горнометаллургической промышленности и связанных с ним других направлений», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан ПП-4731 от 26 мая 2020 года «О дополнительных мерах по расширению производства цветных и драгоценных металлов на базе месторождений АО «Алмалыкский ГМК», ПП-182 от 20 мая 2024 года «О мерах по формированию сырьевой базы важных для промышленности минералов и организации их производства», а также других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике Узбекистан: VII «Химические технологии и нанотехнологии».

#### **Обзор иностранных научных исследований по теме диссертации<sup>1</sup>.**

Научные исследования, направленные на создание новых и совершенствование существующих процессов подготовки и переработки сырья редких металлов, осуществляются в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, включая: The Institute for Geoscience Research, Curtin University (Australia), Canadian Institute of Mining (Canada); Metallurgy and Petroleum Chemical Engineering Department, Khalifa University, Abu Dhabi (ОАЭ), School of Chemistry and Environment, Yunnan Minzu University (China); School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Henan (China); School of Metallurgy and Environment, School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha Hunan (China); School of Environmental and Chemical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao (China); Dept. of Materials Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz (Iran); Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran (Iran); Metallurgical Complex of LLC “Kazakhmys” Corporation, (Kazakhstan); Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul University (Turkey); Giprotsvetmet institution; Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (РХТУ), National Research Technological University “MISIS”, Москва (Россия); Санкт-Петербургский Государственный Технологический институт (Россия).

В результате исследований, проведённых в мире по разработке технологических решений в области переработки руд редких металлов, был получен ряд научных результатов, в том числе следующие: из молибденитовой руды методом микроволнового обжига получен товарный продукт – натрий молибдат (School of Chemistry and Environment, Yunnan Minzu University, Китай); разработан циклический процесс извлечения молибдена, основанный на переводе Mo(VI) в кислотный раствор с использованием  $H_3PO_4$  и последующей экстракции (School of Metallurgy and Environment, Central South University, Changsha, Hunan, Китай); рассчитана кинетика реакции перехода молибдена из никель-молибденовой руды в раствор, в среде серной кислоты

---

<sup>1</sup> Обзор зарубежных исследований по теме диссертации разработано на <http://www.scholar.google.com>, <http://www.sciencedirect.com> и других источников.

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha, Китай); разработана технология комплексного извлечения рения методом сорбции (Metallurgical Complex of LLC “Kazakhmys” Corporation, Казахстан); изучены кинетика и механизм перехода молибдена и рения в раствор в сернокислой среде (Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences, Словакия); установлены кинетика и механизм перевода  $\text{MoS}_2$  в раствор с использованием  $\text{NaClO}$  (Instituto de Geología Económica Aplicada, Universidad de Concepción, Чили).

В мире ведутся исследования, направленные на разработку новых, более эффективных подходов к подготовке минерально-рудного сырья для переработки гидрометаллургическими методами, в том числе по следующим приоритетным направлениям: изучение и регулирование поверхностных явлений в гетерогенных рудно-минеральных аквасистемах; разработка методов обогащения дисперсных систем сульфидов редких металлов по ценным компонентам; исследование кинетики реакций извлечения редких металлов из руд и техногенного сырья методом вращающегося диска; разработка способов подготовки и переработки шеелитовых концентратов; совершенствование методов очистки вольфрамового ангидрида от примесей сурьмы, мышьяка и фосфора; усовершенствование процессов коагуляции, ионного обмена и экстракции при рафинировании продуктов переработки молибденитовых и шеелитовых концентратов; оптимизация процессов утилизации техногенного сырья редких металлов.

**Степень изученности проблемы.** Во всем мире целенаправленные исследования в области эффективной подготовки рудного сырья к переработке с учётом кинетических характеристик реакций осуществляются рядом авторитетных научных школ. Среди них особое место занимают научные школы таких учёных, как Ласкорин Б.Н., Зеликман А.Н., Волдеман Г.М., Оспанов Х.К., Луцик В.И. и Поташников И.М.

В Узбекистане под руководством Х.Р. Исмадова, Г.А. Цыганова и Х.Т. Шарипова сформировалась металлургическая школа, занимающаяся исследованиями в области переработки рудного и техногенного сырья. К представителям этой научной школы относятся Л.М. Богачёва, Р.Дж. Аллабергенов, А.К. Кунбазаров, Б.Д. Дюсебеков, Э.А. Пирматов, М.М. Якубов, Н.П. Исмаилов, И.С. Асадов, Г.А. Лукомская, В.М. Пилетский, А.Б. Ежков, В.П. Гуро, У.З. Шарафутдинов и Т.О. Камолов.

Кроме того, представители коллоидно-химической школы под руководством К.С. Ахмедова – С.С. Хамраев, А.А. Агзамходжаев, Б.Б. Муинов и другие – активно занимались разработкой новых материалов, таких как коагулянты, флокулянты, флотореагенты и сорбенты, для нужд гидрометаллургии цветных, редких и благородных металлов.

Следует отметить, что до настоящего времени отсутствуют комплексные исследования, направленные на эффективную подготовку рудного сырья с учётом кинетических характеристик процессов. Эти вопросы, как правило, рассматриваются с точки зрения гетерогенных систем, в которых учитывается линейное движение частиц, однако не принимается во внимание равномерное достижение ими поверхности, что не соответствует реальным кинетическим закономерностям. Для их корректного описания требуется применение метода

вращающегося диска. Кроме того, растущие требования к экологически чистым технологиям, направленным на минимизацию расхода материалов в металлургии, могут быть удовлетворены только при условии регулирования процессов в гетерогенных системах на основе коллоидно-химических принципов.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан в рамках государственной программы на тему «Физико-химические основы процессов извлечения ценных компонентов из рудно-минерального сырья и создание на их основе продуктов и новых материалов».

**Цель исследования** является совершенствование процессов переработки сырья редких металлов путём управления их коллоидно-химическими и технологическими свойствами.

**Задачи исследования:**

разработать, на основе обоснованного выбора, с учетом коллоидно-химических свойств полимеров-связующих, и испытать альтернативное каолину беззольное полимерное связующее окатывания флотобогащенного ППМ, обеспечивающее, в сравнении с каолином, повышенную пористость, удельную поверхность и эффективность переработки гранул огарка ППМ;

оценить адсорбционно-калориметрическим методом удельную сорбционную емкость огарка ППМ по парам воды и азота, с построением изотерм Ленгмюра и БЭТ, обосновав преимущества нового связующего;

выявить возможность совершенствования очистки вольфрамового ангидрида от примесей Si, P, As методом коагуляции и адсорбции, при сочетании коагулянтов (Al, Mg солей) и флокулянта (ПАА), в дисперсной системе - пульпе выщелачивания шеелитового концентрата;

усовершенствовать состав коагулянтов, на основе солей алюминия и магния, в присутствии флокулянта ПАА, для повышения эффективности очистки от примесей вольфрамового ангидрида - продукта переработки низкосортного шеелитового концентрата;

разработать и испытать технологию переработки огарка ППМ на основе полимерного связующего, обеспечивающую синергию от сочетания факторов применения беззольного связующего и печи кипящего слоя;

рассчитать значения энергии активации реакций окисления дисульфида молибдена и ППМ в растворах гипохлорита натрия и азотной кислоты, интерпретировав их различия;

методом планирования эксперимента, по программе MatLAB, рассчитать уравнение регрессии реакции растворения ППМ в растворе окислителя, построив графики зависимостей эффективности выщелачивания от технологических факторов, выбрать оптимальный режим;

сопоставить минералогические составы низкосортного шеелитового сырья разных месторождений, выявить их влияние на результат содовой обработки в автоклаве, изучить состав оборотных продуктов переработки, испытать усовершенствованную технологию переработки сырья.

**Объектами исследования** являются обогащённый промышленный

продукт молибдена (ППМ) Алмалыкского горно-металлургического комбината, синтезированный сульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$  100%) и шеелитовый концентрат Ингичкинского месторождения.

**Предметом исследования** являются процессы переработки сырья редких металлов (молибденитовых и шеелитовых концентратов, а также их промышленных продуктов) и изучение регулирования их коллоидно-химических и технологических свойств.

**Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы использовались современные и традиционные методы определения физико-химических (атомно-адсорбционный, рентгеноспектральный микроэлементный анализ, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия, дериватография) и коллоидно-химических (вязкость, пористость, удельная поверхность, адсорбция) характеристик.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработано новое, подтвержденное Патентом на изобретение UZ IAP 06177, альтернативное каолину, беззольное связующее дисперсии флотобогатенного молибденового концентрата (ППМ), характеризуемой размером частиц 0,074 мм, облегчающее диффузионно-массовые процессы на границе раздела фаз: твердая, сульфидная/газовая,  $\text{O}_2$ , при 600 °С;

установлено, что гранулы спеков ППМ, сформированные на основе беззольного связующего, по сравнению с образцами, содержащими каолиновое связующее, обладают более высокой пористостью и удельной поверхностью, что облегчает химические взаимодействия на границе твердой, оксидной/водной и реагентной фаз в пульпе;

Установлено, что в пульпе процесс очистки продукта переработки шеелитового концентрата от примесей Si, P и As улучшается при использовании коагуляции и адсорбции на основе нового соотношения, природы и масс коагулянтов (солей Al и Mg), и флокулянта (ПАА);

создана новая технология гидрометаллургической переработки огарка ППМ, на основе беззольного полимерного связующего, с получением товарных солей молибдена;

выявлены закономерности кинетики реакций окисления дисульфида молибдена и смеси сульфидов Mo, Cu, Fe в растворах гипохлорита натрия и азотной кислоты, в технологиях гидрометаллургического вскрытия и выщелачивания молибденитового концентрата.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработано беззольное полимерное связующее окатывания промышленного продукта молибденового, обладающее большей пористостью, удельной поверхностью, совершенной текстурой, повышающих эффективность переработки огарка ППМ, в сравнении с существующим каолиновым связующим;

выявлена синергия применения беззольного связующего окатывания ППМ и печи кипящего слоя, создающая преимущество над каолиновым связующим в барабанной печи обжига АО «Алмалыкский ГМК», достигаемый эффект - ускорение окислительного обжига и облегчение гидрометаллургии ППМ;

предложены альтернативные окислительному обжигу гидрохимические способы переработки ППМ в растворах азотной кислоты и гипохлорита натрия, выявлены их сравнительные кинетические характеристики;

разработан усовершенствованный способ очистки вольфрамового ангидрида – продукта переработки шеелитового концентрата от примесей.

**Достоверность результатов исследования.** Исследования проводились с применением современных физико-химических и коллоидно-химических методов, а экспериментальные испытания выполнялись в лабораторных и производственных условиях на АО «Узбекский комбинат технологических металлов».

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость полученных результатов заключается в том, что на основе коллоидно-химических теорий обоснована возможность замены каолинового связующего на беззольное при подготовке ППМ к окислительному обжигу, а также замены барабанной печи на печь с псевдоожиженным слоем и выявления синергии этих факторов. Кроме того, разработаны закономерности кинетики гидрохимических реакций окисления ППМ в растворах гипохлорита натрия и азотной кислоты, а также создана научная основа для совершенствования метода очистки вольфрамового ангидрида от примесей.

Практическая значимость полученных результатов состоит в повышении эффективности технологических процессов (ускорении реакций, более полном извлечении ценных компонентов), развитии технологий подготовки и переработки сырья молибденового и вольфрамового производств, направленных на получение чистого товарного продукта без примесей, а также в возможности использования результатов исследования, в процессе подготовки бакалавров и магистров по направлениям «Химия», «Химическая технология» и «Металлургия», в высших учебных заведениях.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов совершенствования процессов переработки сырья редких металлов: на способ гранулирования сульфидных молибденитовых концентратов получен патент на изобретение, выданный Министерством юстиции Республики Узбекистан (UZ IAP 06177 от 20.02.2020). В результате разработана возможность использования вместо каолина беззольных полимерных связующих, повышающих пористость и удельную поверхность гранул;

Технология переработки огарка гранул ППМ, разработанная на основе беззольного полимерного связующего, внедрена на АО «Узбекистон технологик металлар комбинати» (справка АО «Узбекский комбинат технологических металлов» № 03/03-851 от 17 июня 2025 г.). В результате применение данной технологии позволило повысить степень извлечения молибдена из спековых гранул ППМ на 1 %, то есть с 98 до 99 %;

Усовершенствованная технология очистки натриевольфраматного раствора от примесей методом коагуляции с использованием смеси нитратов алюминия и магния внедрена на АО «Узбекистон технологик металлар комбинати» (справка АО «Узбекский комбинат технологических металлов» № 03/03-851 от 17 июня 2025 г.). В результате внедрения данной технологии обеспечена степень очистки продукта от Si – на 98,1 %, от As – на 93,25 % и от P – на 77,5 %.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты данного положения исследования обсуждались на 18 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликование результатов исследования.** По теме и материалам

диссертации опубликовано 38 научных работ. Из них 1 патент, 12 научных статей, в том числе 8 в республиканских и 4 - в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 194 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** диссертации обоснована актуальность проведенного исследования, его цель и задачи, охарактеризованы объект, предмет исследования, показано соответствие выбранной темы приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна, научная и практическая значимость результатов.

В первой главе: **«Особенности переработки сырья редких металлов, методы разработки новых процессов»** отмечен интерес к теме подготовки молибденового и вольфрамового сырья к переработке, вызванный требованиями промышленности к чистоте по примесям, влияющей на физико-механические свойства изделий из редких металлов, к которым предъявляются жесткие требования. По итогам, намечены цель и задачи исследования

Вторая глава **«Особенности переработки сырья редких металлов, методы разработки новых процессов»** описывает объекты исследования: 1) промышленный продукт молибденовый (ППМ), состава (38% Mo в фазе MoS<sub>2</sub>), кл. 0,074 мм, 75 %, н.м. 1,12 г/см<sup>3</sup>, состав, %: Mo 38; Re 0,7; Cu 2,5; P 0,009; Sb 0,025; WO<sub>3</sub> 0,05; S 25,2; SiO<sub>2</sub> 10,80; H<sub>2</sub>O 42, Au 35 g/t, Ag 76,3 g/t); 2) синтезированный сульфид молибдена (MoS<sub>2</sub> 100%), 3) шеелитовый концентрат месторождения Ингички, состава: WO<sub>3</sub> 55,4; CaO 21,88; SiO<sub>2</sub> 2,59; P 0,29; As 0,06; S 0,7; Mo 0,03; 4) огарок ППМ, Ts 00193950-074:2018, %: 0,09 H<sub>2</sub>O; 36,23 Mo; 0,010 Re, 1,57 Cu; 20,20 г/т Au; 44,60 г/т Ag; 0,012 P; 0,019 As.

Для совершенствования соответствующих способов намечено проведение исследования в области гидрометаллургических технологий переработки сырья, включая молибденовые и низкосортные вольфрамовые концентраты. Освоены методы достижения и контроля требуемой вязкости растворов полимеров, седиментации осадков вольфрамовой кислоты, в присутствии флокулянтов, контроля дисперсности порошков руд. Анализ проб материалов выполнялся на ICP-Agilent 7500 спектрометре; ИК-спектральный анализ - методами: UR-20 (700-3600 см<sup>-1</sup>); термоанализ - Паулик-Эрдей дериватограф; поверхности – SEM-EDS, EVO-MA, JCM-6000 Neoscope II; рентгенофазового анализа - XRD Empyrean; кинетические измерения - методом вращающегося диска, Применен метод математического планирования эксперимента.

Третья глава **«Совершенствование процесса подготовки промпродукта молибденового к обжигу»**. В ней отмечено, что продукт флотационного обогащения руды – ППМ, посредством обжига переводится в огарок ППМ, преимущественно - триоксид молибдена. Предварительно, дисперсию ППМ гранулируют, используя связующее каолин. Обжиг ППМ проводят в Цехе переработки редких металлов (ЦПРМ) при 560-600 °С, во вращающейся барабанной печи. Помимо окисления MoS<sub>2</sub> до MoO<sub>3</sub>, обжиг приводит к возгону и улавливанию Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Издержкой «каолиновой» технологии является

«разубоживание» (снижение концентрации) Мо в огарке на 4-5 %. Каолин затрудняет возгон  $Re_2O_7$  и выщелачивание Мо, извлечение Au, Ag из кеков. Для снятия вышеуказанных недостатков требуется замена каолина беззольным органическим связующим серии СК, сгорающим при обжиге.

*Гранулирование ППМ со связующими СК.* Выполнено сравнение эффективности переработки ППМ с каолином (шихта 1, с азотнокислым вскрытием ППМ), шихты 2 (СК-1) и 3 (СК-Н), выщелачиванием: аммиачным – для Мо, цианидным для Au, Ag. Пробы огарки ППМ промывали ( $HNO_3$ ), pH 1, для удаления примесей, выщелачивали 25% раствором аммиака, процесс вели 45 мин при Т:Ж=1:3, t = 60 °С. Кек выщелачивали трижды, фильтровали пульпу, отмывали кек от Мо(VI) водой до pH 7 репульпацией. Распульпованные кеки выщелачивали цианидным щелочным раствором, 20% NaCN на воздухе, Т:Ж 1:3. Анализировали пробы (табл. 1).

Таблица 1

Переработка ОППМ с связующим: №1 каолин; №2 СК-1, №3 СК-Н

шихта	До обжига, % (г/т)				После обжига, % (г/т)				Извлечение, %			
	Mo	Re	Au	Ag	Mo	Re	Au	Ag	Mo	Re	Au	Ag
1	41,3	0,07	(38,1)	(62,2)	-	-	-	-	97	-	94	95
2	37,7	0,06	(34,7)	(56,9)	39,1	0,05	(36,1)	(59,2)	97	15	92	93
3	39,9	0,07	(36,7)	(60,0)	42,2	0,05	(38,2)	(62,0)	99	30	95	95

Из табл. 1 следует, что шихта № 3 имеет преимущества перед №1 и №2: содержание Мо выше как до, так и после обжига; остаточное содержание Мо в отвальном кеке не выше 3,0 % (норма),  $Re_2O_7$  полнее переходит в возгон, содержание золота и серебра в огарке достигает 95,5-99,0 %. Для уточнения опытного состава шихты варьировали концентрацию полимера СК-Н от 2,0 до 0,7%. Обжиг вели при 600 °С 6 ч 45 мин. Содержание Мо в опытных партиях выше, чем в контрольной (каолиновой); содержание Re в опытном огарке ниже, чем в контрольном: расход 0,7% полимера СК-Н приемлем.

*Совершенствование режима обжига гранул ППМ.* Для полимерных связующих гранулирования ППМ барабанная печь не годится, из-за налипания огарка на стенки печи: рекомендована печь кипящего слоя. Обжиг в ней обеспечивает большую пористость гранул, облегчая диффузию кислорода.

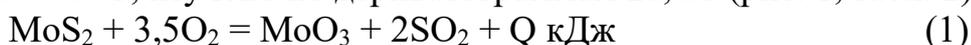
*Задача этапа работы:* изготовление образцов ППМ на основе каолина, полимеров СК-К, СК-Д и коллоидно-химические их исследования (табл. 2).

Таблица 2

Гранулы ППМ из шихты с каолином, полимерами СК-К, СК-Д,

Образец	01	02	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	
обработка	СК-К, %	100	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0
	СК-Д, %	0	100	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	ППМ, %	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	T, °С	25	25	25	300	600	25	300	600	25	300	600

Термохимическое поведение гранул со связующими: СК-К и СК-Д, в диапазоне 20-900 °С, изучено по дериватограммам 2a, 3b (рис. 1, табл. 2):



Оно характеризуется, как индивидуальное, отличаясь природой

компонентов, подвергаемых термодеструкции при нагреве выше 300 °С. Скорость обжига сульфидов при 600°С лимитируется диффузией кислорода и отводом диоксида серы из зоны реакции. Отмечен большой выход Мо и Ре, как показал контроль состава гранул.

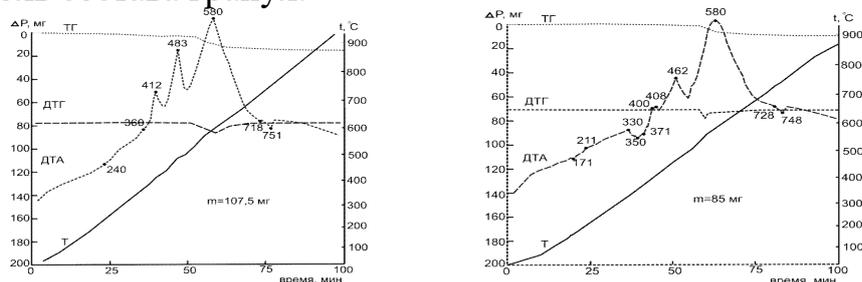


Рис. 1. Дериватограмма образца 2а (слева) и 3b (справа)

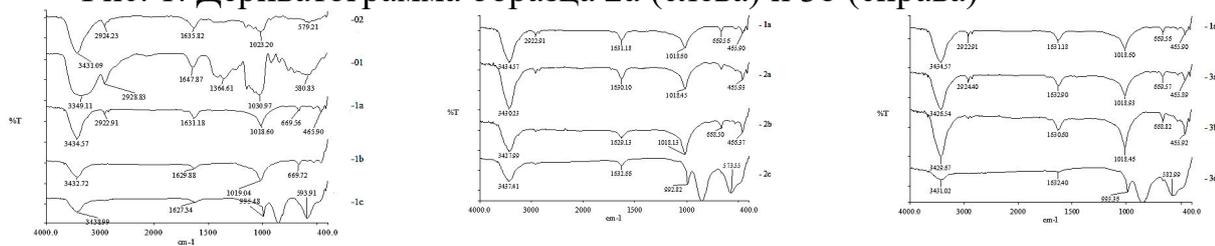


Рис. 2. ИК-спектры образцов 01,02,1а (А), 1b, 2а, 2b, 2с (Б), 3а, 3b, 3с (В)

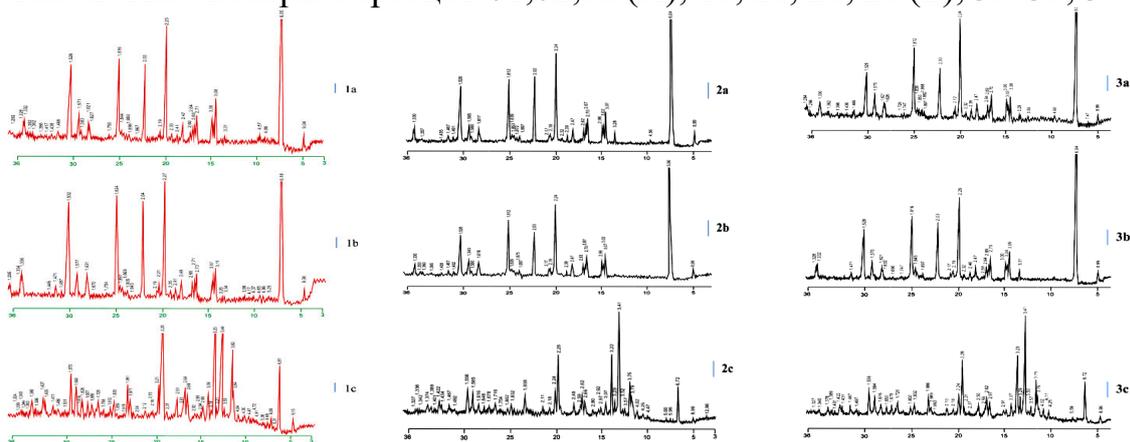


Рис. 3. Дифрактограммы ППМ (1), ППМ+СК-К (2), ППМ+СК-Д (3)

Представляю интерес сравнить термостойкость гранул с разными связующими. Рассмотрены ИК-спектры образцов 1а, 3а, 3b, 3с. (рис. 2). Для (1с), после обжига, появились полосы: 3439, 2919, 2852, 1627, 1443, 1206, 1127, 995, 861, 594, 487  $\text{см}^{-1}$ . Частота 995  $\text{см}^{-1}$  свидетельствует о получении  $\text{MoO}_3$ . Для образца ППМ +1%СК-Д (3с) - частоты 3431, 2918, 1632, 993, 857, 666, 583 и 490  $\text{см}^{-1}$ . Наблюдается изменение в количестве частотных полос: органический фрагмент разлагается.

В дополнение к данным прочности гранул, элементного, термического, ИК-спектрального анализа, проведен рентгенофазовый контроль после прогрева: 20-110-300-600°С. Образцы с СК-К (01)и СК-Д (02); ППМ (без связующего) при 20, 300, 600°С – 1а, 1b, 1с. Получены дифрактограммы: (1а) гранул с беззольным связующим СК-К и СК-Д: №2а, 2b, 2с; 3а, 3b, 3с (рис. 3-4).

Сравнение рентгенограмм образцов ППМ+(1-3)%СК-Д № 3а, 3b, 3с показало изменение межплоскостных расстояний. Для образца ППМ+1%СК-Д №3а количество межплоскостных расстояний с интенсивностью выше 10%: 15, у №3b: 7; №3с: 20. Сформированы кристаллические структуры.

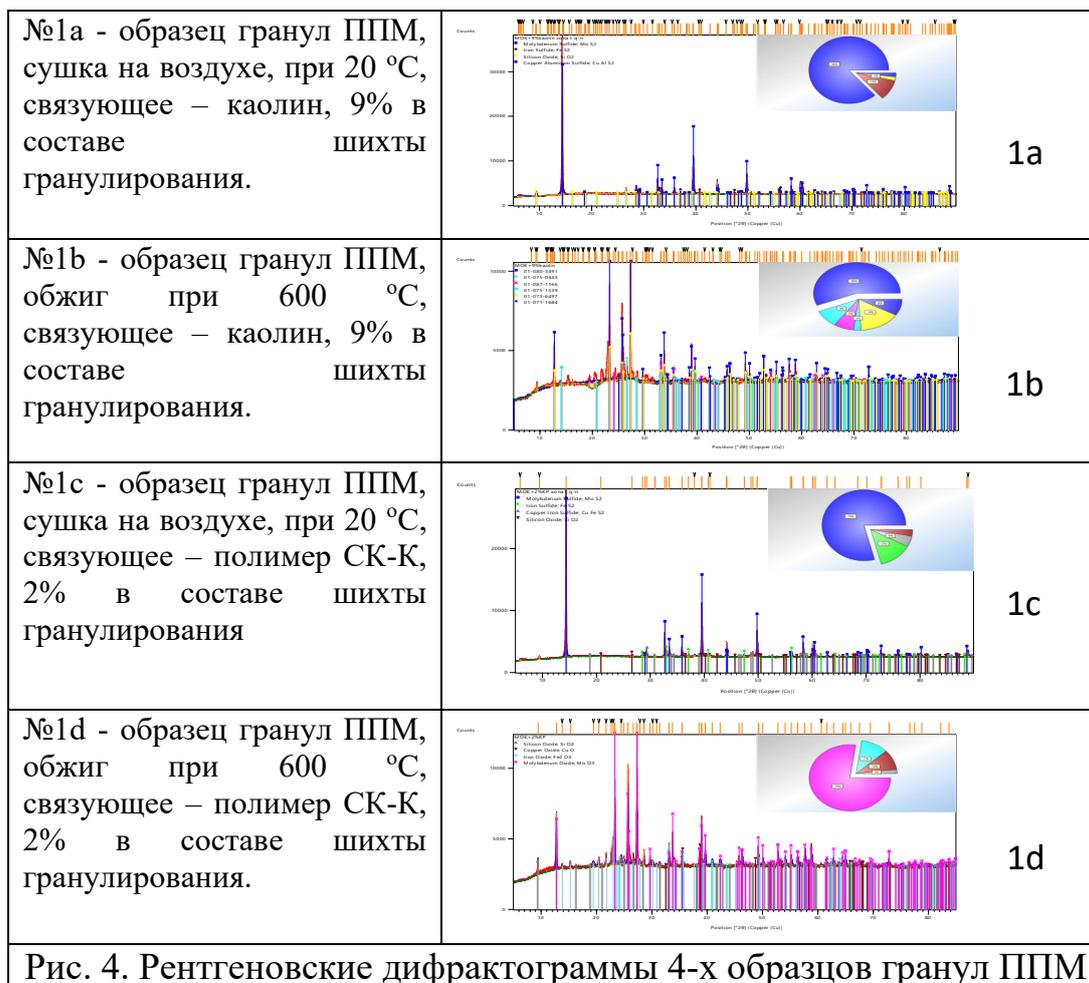


Рис. 4. Рентгеновские дифрактограммы 4-х образцов гранул ППМ

*Задача этапа* - испытание серии: СК-Н, СК-К, СК-Д, из местного сырья, в сравнении с каолином. Для этого: 1) изготовлена установка реактора КС, 2) изготовлены и поставлены в ЦПРМ партии модифицированных полимеров серии СК (СК-Н, СК-К, СК-Д): 2100 кг, 100 и 100 кг, соответственно. 3) в промышленном грануляторе обкатаны две опытные партии, по 20 кг каждая, ППМ, одна серийная, 6000 кг – все из исходной партии ППМ № 327.

Состав шихты: а) 2,0 % СК-К, остальное ППМ; б) 1,5 % СК-Д, остальное ППМ; 3) 9% каолина, остальное ППМ (контрольная). В печи КС обожжены опытные партии №1, №2, а в барабанной печи - №3.

Таблица 3

Состав исходной партии ППМ по интересующим компонентам

Mo	Re	Cu	S
36,10%	0,055%	1,57%	28,73%

Таблица 4

Состав огарка ППМ, исходная шихта 2-х композиций

Шихта	Mo	Re	Cu	Сера из MoS <sub>2</sub>	Степень окисления Mo
Контрольная	33,21	0,016	-	0,70	96,8
Опытная, №1	35,84	0,008	-	0,72	97%

Изучен состав (табл. 3-4) и структура образцов огарков (рис 4). Показано: 1) содержание Mo в опытной партии №1 выше, чем в контрольной на 2,63%; 2) содержание Re в партии №1 0,0087%, в контрольной - 0,016%; сера в образцах в норме; степень окисления Mo 97% и 96,8%, соответственно; 3) прочность

гранул - опытной и контрольной, удовлетворительная; 4) обжиг гранул ППМ с полимером СК вели в печи КС, при температуре 510-570°C.

Выявлен синергетический эффект от сочетания печи КС (время обжига снижено в 7 раз) и полимерных связующих (облегчена гидрометаллургия). В “полимерном” ППМ, в отличие от “каолина” характерно меньше примесей.

**Четвертая глава «Кинетика реагентного окисления дисульфида молибдена в промпродукте молибденовом»** посвящена кинетическим закономерностям гидрохимических реакций окислительного выщелачивания соединений Mo(VI) из рудного сырья в растворах гипохлорита натрия и азотной кислоты методом вращающегося диска (ВД).

В первом случае в раствор выщелачивания переходят Mo, Au, Ag, находящиеся в окклюзиях сульфидной руды.

*Задачи этапа:* Сравнение кинетики растворения 100%-го дисульфида молибдена с поведением ППМ (содержащего 38% MoS<sub>2</sub>), в растворах NaClO, сравнительный анализ результатов с азотнокислотной схемой.

Для построения этих зависимостей использован расчет показателя растворения MoS<sub>2</sub>, запрессованного во вращающийся диск, по формуле (1).

$$m_i = q_i \cdot \left( \frac{V}{v_i} - i \right) + \sum_{i=1}^n q_i, \quad (1)$$

где:  $V$  – общий объем раствора, см<sup>3</sup>;  $v_i$  – объем  $i$ -й пробы, см<sup>3</sup>;  $q_i$  – масса металла в  $i$ -й пробе, г;  $n$  – количество проб;  $m_i$  – масса растворенного материала к моменту после отбора  $i$ -й пробы, г. Количество металла, перешедшего в раствор с 1 дм<sup>2</sup> ВД,  $Q_i$  (моль·дм<sup>-2</sup>) определяли по (2):

$$Q_i = \frac{m_i}{M \cdot S}, \quad (2)$$

где  $M$  – молярная масса металла, г·моль<sup>-1</sup>.

Строили кинетические кривые:  $Q_i = f(\tau)$ , по тангенсу угла наклона находили скорость растворения  $W$ .  $E^*_{\text{акт}}$  находили из зависимости констант скорости процессов от обратной температуры (Аррениус), для угловой скорости 0-840 об/мин, времени отбора проб, в диапазоне 0-1800 сек.

Использовали растворы: 4% NaClO, 8% NaClO, 12% NaClO. Построены кинетические зависимости растворения ВД из 100% MoS<sub>2</sub> и ППМ, расчет их параметров и подтверждение диффузионного контроля реакции окисления MoS<sub>2</sub>, сопоставив результаты с поведением в HNO<sub>3</sub> (рис. 5).

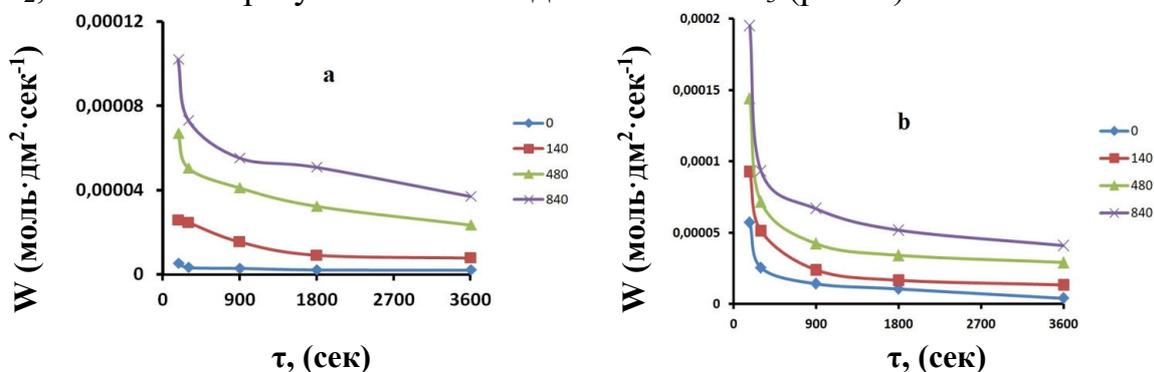


Рис. 5. Зависимость  $W$  (моль·дм<sup>2</sup>·сек<sup>-1</sup>) окисления MoS<sub>2</sub> (по Mo во времени), а, b – режимы, соответственно: 4% NaClO 24°C (а), 4% NaClO 35°C (b);

Таблица 5

Энергия активации реакции растворения  $\text{MoS}_2$  в растворе 4%  $\text{NaClO}$ 

t, сек	T, °C	$W$ , моль·дм <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>			
		$\omega$ об в мин = 0	$\omega$ об в мин = 140	$\omega$ об в мин = 480	$\omega$ об в мин = 840
180	24	$5,14 \cdot 10^{-6}$	$25,7 \cdot 10^{-6}$	$66,92 \cdot 10^{-6}$	$102 \cdot 10^{-6}$
	35	$5,73 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	$14,4 \cdot 10^{-5}$	$19,5 \cdot 10^{-5}$
	$E_a$	384,23	204,94	122,1	103,26

Таблица 6

 $E_a$  реакции растворения ППМ в растворах  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NaClO}$ 

t, сек	Концентрация $\text{NaClO}$ , $\text{HNO}_3$ , %	$E_a$ [кДж·моль <sup>-1</sup> ] для $\omega$ , об/мин			
		0	140	480	840
180	$\text{NaClO}$ , 12 (ППМ)	4189.9	-	6694.2	2340.9
	$\text{HNO}_3$ , 30 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 5, барботаж $\text{O}_2$	449,57	435,44	411,5	134,95
	$\text{NaClO}$ , 4,0	384,23	204,94	122,1	103,26
	$\text{NaClO}$ , 8,0	254,2	115	48,6	72
	$\text{NaClO}$ , 12,0	91,88	156	170	147

Прямолинейные участки с дальнейшими изгибами на рис. 5 подтверждают диффузию, как лимитирующую стадию реакции растворения материала. Скорость диффузии возросла с увеличением температуры и ростом числа оборотов диска.

В табл. 6. приведены данные  $E_a$  реакции окисления  $\text{MoS}_2$ , ППМ, в 25%  $\text{HNO}_3$  и 12%  $\text{NaClO}$  ( $E^0=1,20$ ) и ( $E^0=1,63$ ), соответственно. Реакция окисления сульфидов протекает с меньшей энергией активации в  $\text{NaClO}$  растворах. Для ППМ она ниже, чем для  $\text{MoS}_2$  в растворах  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NaClO}$ .

Таблица 7

$E_a$  [кДж·моль<sup>-1</sup>] реакции растворения ППМ и  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ -25%,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5%,  $\text{O}_2$ ; при  $\omega$  (мин<sup>-1</sup>): 0, 480, 840, T °C: 24

t, сек	$\text{MoS}_2$ в составе ППМ	Чистый 100 % $\text{MoS}_2$
$W$ , моль·дм <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> , $\omega$ об в мин = 0		
180	24,46	284,84
1800	30,12	181,66
$W$ , моль·дм <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> , $\omega$ об в мин = 840		
180	36,65	230,35
1800	37,82	134,16

*Кинетика реагентного окисления в растворах 25%  $\text{HNO}_3$ , 5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .*

Проведено сравнение кинетики реакций чистого  $\text{MoS}_2$  с аналогичными показателями  $\text{MoS}_2$  в составе ППМ (табл. 7) Из нее следует, что 100%-й  $\text{MoS}_2$  характеризуется на порядок большей энергией активации, чем ППМ. Причина - в различной концентрации молибденита в образцах. В ППМ его 38-40% где, содержатся также сульфиды Fe, Cu. Их энергия активация, например, у  $\text{FeS}$   $E_a = 38$  кДж/моль, меньше, чем у 100%  $\text{MoS}_2$ .

*Математическая модель деструкции ППМ в растворах  $\text{HNO}_3$ .* Заданы значения факторов при планировании эксперимента (табл. 8). Определены оптимальные границы процесса с использованием метода Бокса-Уилсона. Метод основан на градиентном методе поиска экстремума (оптимума). На первом этапе необходимо оценить составляющие градиента и его направление,

исходя из оценки коэффициентов линейной части модели. При оценке градиента учтены значения интервалов изменения факторов.

Метод позволяет искать оптимум в два этапа: 1) *Пошаговое крутое восхождение в области оптимума*. Проводятся эксперименты в направлении изменения выходного параметра для приближения к оптимуму функции; 2) поиск в области оптимума (план эксперимента второго порядка) (табл. 8).

Таблица 8

План эксперимента, модель:  $\hat{y} = 216,42 + 39,05x_1 + 10,33x_3$

Имя		Факторы			Результат			
Параметр		Время, сек	Частота вращения, об/мин	Температура, °С	Выходной параметр Энергия активации $E_a$ [кДж·моль <sup>-1</sup> ]			
Исходный		1890	490	47				
Рабочий шаг		171	3,5	2,3	модель	эксперимент		средн.
№	Тип эксперимента				$\bar{y}$	$y_2$	$y_1$	$y$
1	М	1796,00	486,50	46,77	284,84	284,9	285,1	285
2	М	1702,00	483,00	46,54	263,5	263,8	264,2	264
3	М	1608,00	479,50	46,31	243,2	243,5	242,8	243,15
4	Р	1514,00	476,00	46,08	230,35	230,6	229,9	230,25
5	М	1420,00	472,50	45,85	186	185,7	186,4	186,05

где *М* – модельные эксперименты; *Р* – расчётные эксперименты.

Зависимость критерия оптимальности от факторов выглядит так (4):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (4)$$

Среднеквадратичное отклонение коэффициентов регрессии = 8,002, а число оставшихся коэффициентов - 3. По результатам проверки гипотезы получено значение:  $y = 1,1908$ . Вычисленное значение критерия Фишера:  $F_n = 1,36$ ; Число степеней свободы для большой и малой дисперсий:  $k_1 = 5$  и  $k_2 = 7$ , соответственно. Табличное значение критерия Фишера:  $F_t = 4,30$ . Сделаны выводы: энергия активации уменьшается с увеличением времени и частоты вращения. Оптимальное значение 166 кДж/моль. Влияние частоты вращения более выражено, по сравнению с фактором времени.

**Пятая глава «Коллоидно-химические характеристики сырья редких металлов и способов его переработки»** посвящена коллоидно-химическим подходам к металлургии молибденового вольфрамового производства. Он проявляется на этапах подготовки, начиная с флотообогащения руд в высокодисперсном состоянии в аква-среде, заканчивая их выщелачиванием.

*Гранулирование ППМ с полимером-связующим.*

Изучена вязкость растворов связующих гранулирования ППМ (табл 9).

Изучена вязкость растворов связующих гранулирования ППМ (табл 9).

Важным параметром использования полимеров СК-1 и СК-Н является достижение стабильного вязко-текущего состояния. Представляло интерес выявить закономерности изменения вязкости растворов СК-1, в зависимости от рН, степени разбавления его водой и температуры (табл. 9). Стабильно текучее состояние его устанавливалось при разбавлении 1:5 и 1:6. Показано, что, в отличие от полимерного связующего, каолин после 600 °С обжига обладает свойством незначительно выраженного адсорбента Mo(VI)-ионов, тем самым

препятствуя гидрометаллургической стадии выщелачивания огарка ППМ.

Таблица 9

Зависимость кинематической вязкости раствора СК-1 от pH, температуры, разбавления (pH по мере нейтрализации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) мм<sup>2</sup>/сек

Температура, °С	Объемное разбавление: исходный полимер:вода					
	1:3	1:4	1:5	1:6	1:8	1:10
Исходный раствор нейтрализован до pH 9						
18	113,22	66,71	45,59	38,56	21,42	16,22
40	59,36	44,98	27,85	23,87	13,46	10,10
Исходный раствор нейтрализован до pH 5						
18	83,23	38,56	31,21	21,11	14,68	13,46
40	48,04	23,87	20,19	13,77	11,02	9,49

*Развитость поверхности гранул ППМ со связующими*

Представляла интерес сравнительная оценка удельной поверхности образцов огарка ППМ, из шихты с беззольными связующими и с каолином, методом сорбции азота, при 77 К (табл. 10).

Минимальное значение удельной поверхности, из рассмотренных 7 систем, демонстрирует огарок ППМ без связующего (№ 1). Характерно, что исходный ППМ гидрофобен, но связующие, в смеси с ППМ, придают ему гидрофильность. Большую пористость поверхности гранул обеспечивают каолин (№ 2), каолиновая шихта (№ 3), 1%-ые СК-К (№ 6), СК-Д (№ 7) (рис 6).

Таблица 10

Удельная поверхность образцов огарка ППМ из разной шихты

№	Состав шихты гранулирования, %	Масса огарка, г	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
1	ППМ 100,0	0.060	42.0
2	Каолин 100,0	0.060	74.1
3	Каолин 9,0; ППМ 91,0	0.052	77.0
4	СК-Н 3,0; ППМ 97,0	0.065	68.8
5	СК-Н 0,7; КП 0,7; ППМ 99,0	0.051	65.6
6	СК-К 1,0; ППМ 99,0	0.060	75.0
7	СК-Д 1,0; ППМ 99,0	0.060	76.5

Показано, что замена каолина в шихте ППМ на органическое связующее не уменьшает пористость гранул – важный параметр, определяющий извлечение рения в возгоны при обжиге, а также Mo, Au, Ag, при гидрометаллургической переработке огарков. Но при этом, органических полимеров необходимо для этого в 10 раз меньше по массе, чем каолина. Проведено сравнение изотерм сорбции воды поверхностью гранул ППМ, обожженных при 600 °С, при остывании. Значения пористости, из шихты: №1) ППМ 99%, СК-Д 1%; 2) ППМ 99%, СК-К 1%; 3) ППМ 98,6 %, СК-Н 0,7%; СК-К 0,7%; 4) ППМ 91,0 %, каолин 9,0 %; 5) ППМ 97%, СК-К 3%; 6) каолин 100%, укладывалась в ряд: №5> №.3> №6> №4> №1> №2 (рис 6).

*Исследование текстурных свойств огарка ППМ*

На основе полученных зависимостей, выполнен расчет энергии адсорбции, удельной поверхности гранул. Они соответствуют изотерме типа I по классификации IUPAC и изотерме типа II по классификации Брунауэра,

Деминга и Теллера (БДТ). Изотермы типа I по IUPAC характерны для микропористых материалов и включают в себя следующие особенности: быстрое насыщение адсорбента при низких относительных давлениях и плато на графике, указывающее на заполнение микропор.

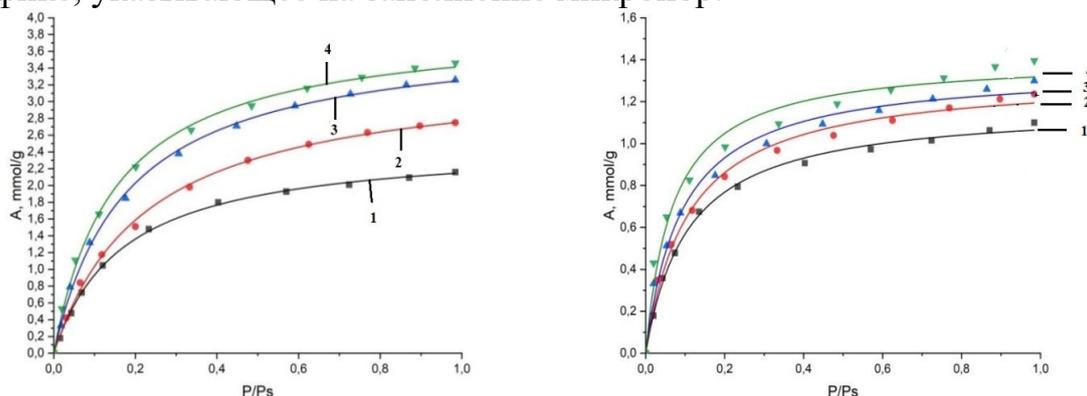


Рис. 6. Изотерма адсорбции азота (слева) и водяных паров (справа) на образцах огарка ППМ с нелинейным приближением Ленгмюра. Обозначение: номер образца сорбента совпадает с номером шихты гранулирования ППМ.

Изотермы типа II (БДТ) характеризуются начальным изгибом вверх, при низких относительных давлениях, что указывает на мономолекулярную адсорбцию на поверхности материала, с постепенным увеличением адсорбции по мере роста давления, что соответствует заполнению пор адсорбата.

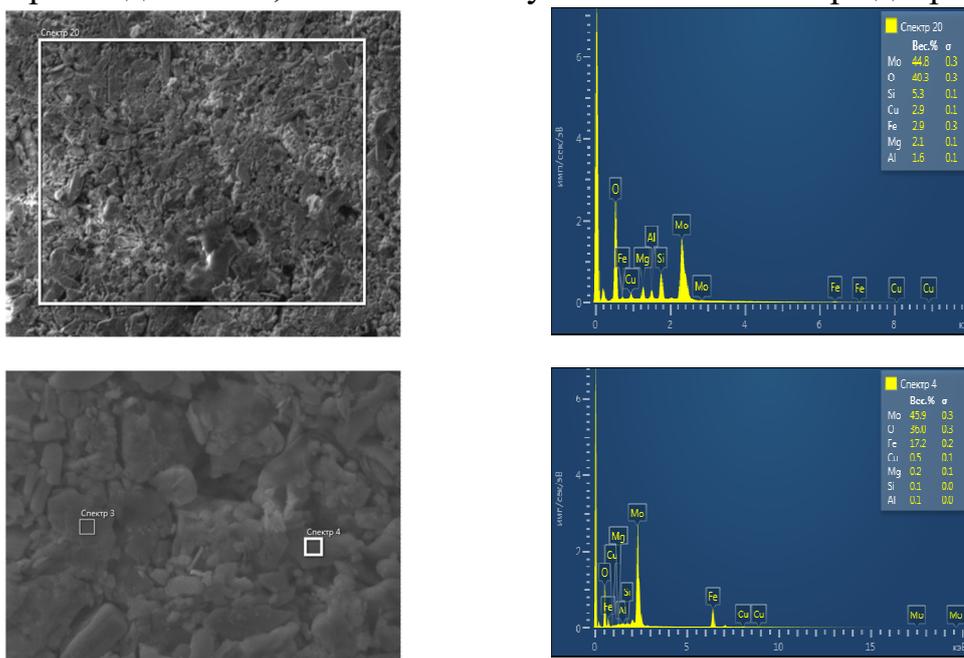


Рис. 7. СЭМ - состав гранул ППМ с каолином (вверху) и СК-К (внизу)

Образец №1 имеет минимальную адсорбционную емкость, что указывает на умеренную аффинность и среднюю прочность связи между азотом и поверхностью. Его специфическая поверхность (табл. 11-12) характеризуется большим по величине показателем.

Как следует из табл. 11-12, высокую адсорбционную емкость продемонстрировал ППМ на основе связующего СК-Д, чуть менее – на основе СК-К.

Таблица 11

## Характеристики адсорбции азота по модели Ленгмюра

Образец ППМ со связующим, % масс.	$a_{\max}$	$K_L$	$E$ , Дж/моль	$S$ , м <sup>2</sup> /г	$R^2$
Без связующего	2,60067	0,05269	-1884,25	253,72	0,9982
Каолин,9,0	3,31131	0,04613	-1969,37	323,04	0,9978
СК-К 1,0;	3,76835	0,05752	-1828,11	367,64	0,9983
СК-Д 1,0;	3,78773	0,07355	-1670,73	369,52	0,9992

Таблица 12

## Характеристика адсорбции азота образцами по модели БЭТ

Образец ППМ со связующим, % масс	$S_{\text{БЭТ}}$ , м <sup>2</sup> /г	$a_m$ , ммоль/г	$V_a$ , см <sup>3</sup> /г	$V_b$ , см <sup>3</sup> /г	$V_s$ , см <sup>3</sup> /г	$R$ , нм
Без связующего	169,39	1,737	0,071	0,004	0,075	0,88
Каолин,9,0	145,08	1,488	0,088	0,007	0,095	1,31
СК-К 1,0;	198,53	2,036	0,106	0,007	0,113	1,14
СК-Д 1,0;	198,83	2,039	0,111	0,009	0,120	1,21

Примечание:  $S_{\text{БЭТ}}$  – удельная площадь поверхности по БЭТ,  $a_m$  – емкость монослоя,  $V_a$  – объем микропор,  $V_b$  – объем мезопор,  $V_s$  – общий объем пор,  $R$  – средний размер пор.

Таблица 13

## Характеристики адсорбции водяного пара по модели БЭТ

Образец ППМ со связующим, % масс	$S_{\text{БЭТ}}$ , м <sup>2</sup> /г	$a_m$ , ммоль/г	$V_a$ , см <sup>3</sup> /г	$V_b$ , см <sup>3</sup> /г	$V_s$ , см <sup>3</sup> /г	$R$ , нм
Без связующего	64,29	0,989	0,0185	0,001	0,0195	0,62
Каолин, 9,0	50,05	0,770	0,020	0,002	0,022	0,89
СК-К 1,0;	58,05	0,893	0,021	0,002	0,023	0,81
СК-Д 1,0;	56,84	0,874	0,0226	0,003	0,0256	0,88

Примечание:  $S_{\text{БЭТ}}$  – удельная площадь поверхности по БЭТ,  $a_m$  – емкость монослоя,  $V_a$  – объем микропор,  $V_b$  – объем мезопор,  $V_s$  – общий объем пор,  $R$  – средний размер пор

Добавка 1% СК-Д в ППИ приводит к более развитой удельной поверхности огарка ППМ, по сравнению с чистым ППМ или ППМ плюс каолин. Введение органических добавок приводит к росту объема микропор и мезопор, Этот рост пористости связан с составом органических связующих, которые, сгорая, оставляют поры, увеличивая площадь поверхности материала.

Расчитана адсорбция водяного пара на образцах ППМ в модели Ленгмюра. Из нее следует, что образцы с добавками беззольных полимеров демонстрируют значительное увеличение адсорбционной ёмкости, по сравнению с ППМ без связующих, и ППМ с каолиновым связующим (табл.12).

Полимеры в составе шихты ППМ способствуют формированию большей доли микропор, эффективно захватывающих молекулы воды. Изменения в пористой структуре подчеркивают влияние полимеров на улучшение сорбционных свойств материала. Данные табл. 13 указывают на то, что модификация огарка ППМ с помощью органических связующих положительно сказывается на его способности к адсорбции, особенно молекул воды. Увеличение удельной поверхности таких образцов и их объема мезопор приводит к повышению сорбции и облегчению гидрометаллургической переработки.

Значение константы Ленгмюра по водяным парам выше, чем по азоту, что

указывает на более высокую аффинность адсорбента к водяным парам.

*Научно-техническая и патентная документация на связующие*

Предложена модернизации технологии производства огарка ППМ путем замены связующего гранулирования ППМ каолина, на беззольный полимер

Таблица 14

Состав кеков и огарка ППМ с разными связующими

Образец	Концентрация элемента				
	Mo, %	Re, %	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %
Огарок ППМ (каолин)	36,65	0,0153	26,20	44,6	1,5
Огарок ППМ (СК-К)	39,2	0,0009	27,8	45,0	1,5
Кеки содового выщелачивания огарка ППМ на основе СК-К	22,9	0,0007	33	48,3	2,13
	11,1	0,0009	36	51,9	2,58
	0,4	0,0008	49	67,3	2,984

Разработан Стандарт организации Ts 23766064-05:2017 *Способ получения полимеров СК водных растворов*. Он реализуется в соответствии с опытным технологическим регламентом TSh 23766064-05:2017 «Полимеров СК водные растворы. Технические условия». Получен Патент UZ № IAP 06177 на изобретение «Способ окомкования сульфидных молибденитовых концентратов». Об эффективности применения СК, взамен каолина, при переработке огарка ППМ говорит баланс распределения металлов (табл. 14). Как видим, кек содержит, г/т: Au 20,2, Ag 44,6, что выше каолинового кека.

*Осаждение вольфрамовой кислоты из кислотных растворов*

Промывка вольфрамовой кислоты осуществлялась на промышленной пульсационной установке цеха №4 в АО «УзКТМ». Для ее эффективного осаждения из свежеприготовленной пульпы-суспензии требуется флокулянт.

В гидрометаллургии W извлечение вольфрамовой кислоты из азотно-кислотного раствора искусственного шеелита недостаточно. Плохо отделяется твердая фаза в фильтр-прессах из-за мелкодисперсности W-содержащей фазы Гранулометрический ее состав: 0,124 мм – 1%; 0,295 мм – 83%; 0,351 мм – 10,5%; 0,831 мм – 5,5%. Унос фильтратом дисперсий размером 0,124 мм вольфрамовой кислоты составляет 1%. Следовательно, существующая технология с флокулянтом ПАА недостаточно эффективна (разделение 97,6%).

*Задачей этапа исследования* стал подбор эффективного флокулянта процесса осаждения вольфрамовой кислоты из азотнокислых растворов искусственного шеелита, взамен ПАА. Предполагалось извлекать W методом осаждения из дисперсных систем, на основе приготовленного азотнокислого раствора (100–140 г/л) вольфрамовой кислоты, содержащего 60 г/л твердой фазы (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>) и растворенного вольфрама 2-5 г/л, твердую фазу H<sub>2</sub>O\*WO<sub>3</sub>, с помощью ПАВ-флокулянтов: КМЦ–600, АН-КМЦ, А-КМЦ и «Карбопан», варьируя их концентрации в пределах 0,05-1,0% флокулянта (рис. 8).

*Предложен новый способ* осаждения H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> с заменой ПАА на карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), цена которой ≈ в 4 раза ниже цены ПАА. При замене ПАА на КМЦ содержание металла в маточных растворах кристаллизации вольфрамовой кислоты снижается на 0,22 г на 1 л. Выявлена возможность изменения коллоидно-химических свойств (вязкость, электропроводность и др.) при модификации КМЦ добавками антиоксидантов и полимеров. В связи с этим, целесообразно изучить возможности регулирования коллоидно-химических процессов: осаждения и сгущения

пульпы вольфрамовой кислоты, стабилизации и сгусторообразования промывочных жидкостей при помощи разработанных ПАВ, эффективности их применения.

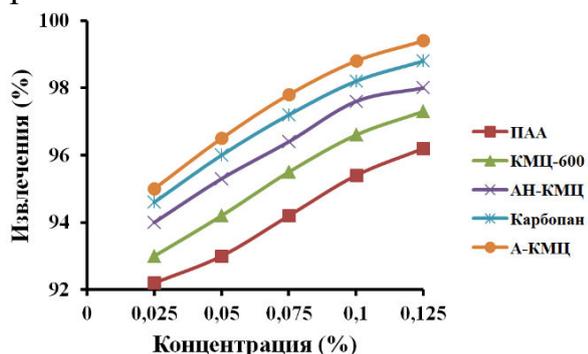


Рис. 8. Зависимость извлечения W из азотнокислых растворов от концентрации флокулянта: 1 - ПАА, 2 - КМЦ-600, 3 – АН-КМЦ, 4 - Карбопан, 5- А-КМЦ

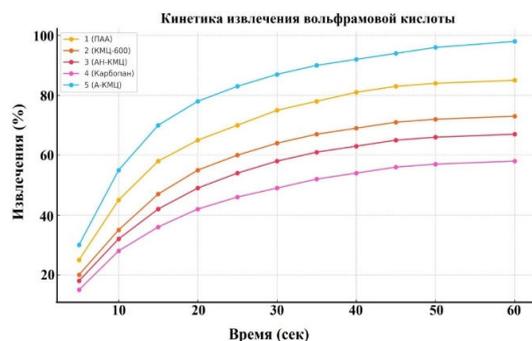


Рис 9. Кинетика извлечения W из азотнокислых растворов с флокулянтами: 1-ПАА, 2-КМЦ-600, 3-АН-КМЦ, 4-Карбопан, 5А-КМЦ; их концентрации 0,1%

Из рис. 9 видно, что скорость извлечения вольфрама (за время 35 сек) при применении ПАВ А-КМЦ максимальна. Промышленное испытание флокулянта А-КМЦ в течение 6 ч в ц. №4 УзКТМ для осветления пульпы, как флокулянта, взамен ПАА, выявило высокую эффективность замены.

Таблица 15

Извлечение W из азотно-кислотного раствора флокулянтами

Флокулянты	Отношение $V_{p-ра} : V_{флок}$	Вес осадка г	Содержание W в р-ре г/л	Извлечение W %
ПАА	100 : 5	1,25	0,151	97,0
	100 : 10	1,25	0,133	97,4
	100 : 15	1,25	0,120	97,6
	100 : 20	1,25	0,120	97,6
А-КМЦ	100 : 5	1,97	0,052	99,1
	100 : 10	2,26	0,022	99,6
	100 : 15	2,26	0,022	99,6
	100 : 20	2,29	0,019	99,7

Как следует из данных рис. 8-9, табл. 15, оптимальной концентрацией применяемых флокулянтов является 0,1%. При меньших количествах (0,05%) извлечение вольфрамовой кислоты из азотнокислых растворов низкое.

Препарат А-КМЦ действует как флокулянт и анионный ПАВ, который связывает ионы  $WO_4^{2-}$  за счет амидных групп, что обуславливает рост частиц флокул, усиливает свойства собирателя ионов металла. Следовательно, эффективность осаждения частиц  $H_2O * WO_3$  сочетается с ионной флокуляцией.

**Шестая глава «Новое в процессах переработки низкосортного шеелитового концентрата»** посвящена способам его переработки. Повышение эффективности переработки и чистоты продукта актуальны.

Задачами этапа исследования стали сравнение вольфрамового сырья месторождений по минералогии и составу, разработка метода их очистки. Образцы шеелитовых концентратов разных месторождений (табл.18) подвергали содовому автоклавному выщелачиванию. По мере выщелачивания и очистки от примесей пробы оборотных продуктов анализировали (табл. 18).

Пределы содержания примесей: Р - от 0,03 до 3,0 %, As – от 0,02 до 1,6 %.  
Результат очистки оборотных продуктов представлен ниже.

Таблица 16

Химический состав шеелитовых концентратов месторождений

Месторождение	Содержание компонентов, %							
	WO <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	P	As	S	Mo	Орг.
Ингички	55,4	21,88	2,59	0,29	0,06	0,7	0,03	0,46
Кайташ	65,0	11,70	3,62	0,04	0,03	1,2	0,90	0,22
Приморск	53,84	25,5	1,54	1,1	0,03	1,2	0,03	0,25

Таблица. 17

Выщелачивание концентратов и оборотных продуктов

Шеелитовый концентрат	Примесь As, %	Примесь Р, %
Лермонтовское РУ	0,40-1,5	1,0-1,94
Приморский	1,6	1,1-3,1
Алюмосиликатный кек	0,6	2,5-3,5
«Кислый кек»	0,3	-
Кек ПВА	2,5	0,2

*Алюмосиликатный кек.* Бралась его образцы, как не содержащие неразложенный шеелит, так и содержащие (из-за проскока частиц пульпы при фильтрации). Режим обработки: температура содового раствора 90°С (1,37 г/л), время 90 мин, Т:Ж=1:5,5. Вольфрам из маточного раствора извлекался в первые минуты контакта, неразложенный шеелит разлагался содой на 70-80%. Концентрация WO<sub>3</sub> в получаемом растворе 14-16 г/л.

Таблица 18

Распределение Р и As по технологическим стадиям

элемент	Технологические стадии						
	Исх. Ра-ор Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	После обескремнивания	После фильтрации	После дождов до рН 3,0-3,5	Раствор на сорбцию	вольфрамат аммония	Маточный раствор кристаллизации ПВА
Р	0,0060	0,0018	0,0011	0,0047	0,0081	0,0084	0,1270
	0,0046	0,0011	0,0011	0,0011	0,0040	0,0115	0,0790
	0,0064	0,0030	0,0023	0,0060	0,0067	0,0091	0,0624
	0,0070	0,0038	0,0037	0,0058	0,0084	0,0184	0,1360
	0,0029	0,0014	0,0040	0,0096	-	0,0155	0,1220
	0,0028	0,0019	0,0040	0,0096	-	0,0160	0,1200
	0,0110	0,0064	0,0060	0,0071	0,0091	0,0123	0,2200
As	0,3390	0,3000	0,2800	0,1670	0,1500	1,9500	2,3300
	1,7900	0,8500	0,8000	0,3580	0,3500	-	0,1760
	0,6490	0,5700	0,1260	0,0290	0,0230	0,2280	-
	1,6200	0,8900	0,9000	0,4680	0,3600	0,5990	2,4000
	0,0328	0,0026	0,0024	0,0010	Следы	0,0155	0,1220
	0,0360	0,0132	0,0200	Следы	Следы	0,0100	0,1000
0,0340	0,0200	0,0160	0,0066	Следы	0,0220	0,2700	

*Кислый кек.* За 60 мин взаимодействия кека с содовым раствором извлекалось 60-65% WO<sub>3</sub>, концентрация WO<sub>3</sub> 60 г/л, извлечение As 57%, Si 0,46

г/л, Мо 1 г/л. Остаточное содержание  $WO_3$  в оборотном кеке ~26%. Цвет образующихся растворов - темно-коричневый, что объяснено наличием в нем органических соединений, перешедших в раствор из кислого кека.

*Кек ПВА.* Режим обработки кека содовым раствором 130-140 г/л,  $t$  °С - 90°С, время 60 мин., Т:Ж=1:5. Результат - растворение кека (93%) и извлечению W (97%). Концентрация  $WO_3$  в растворе 135 г/л,  $SiO_2$  - 0,45 г/л, Мо до 0,5 г/л. As переходит в содовый раствор, с концентрацией  $Na_2CO_3$  50-60 г/л, присутствуя в нем в концентрации 0,5-1,0 г/л. Как видно из табл. 17-18, W извлекается содовым раствором без автоклава.

*Совершенствование способа очистки оборотных продуктов*

Оборотные продукты накапливают P, As, необходима очистка (табл. 19).

Способ - отмывка дистиллированной водой «грязного» ПВА на вакуум-фильтре при Т:Ж=1:(1,5-2,0). Концентрация  $WO_3$  в фильтрате 20-25 г/л.

Таблица 19

Очистка оборотных продуктов от мышьяка

Вид продукта	Исходное сод. As, %	Степень извл. As, %	Концентр. As, г/л	Выход кека, %	As в кеке, %
«Кислый кек»	0,13	57,0	0,14	80,0	0,07
«Кек ПВА»	0,39	56,0	0,46	6,25	2,7

Задача этапа исследования - разработка способа переработки высоко-примесных оборотных продуктов в безавтоклавных условиях, с отмывкой примесей из оборотов вторичного ПВА и получением качественного  $WO_3$ . Способ переработки высокопримесных оборотных продуктов и отмывки примесей из «грязного» ПВА протестирован и показал возможность использования в действующем производстве (рис.10).

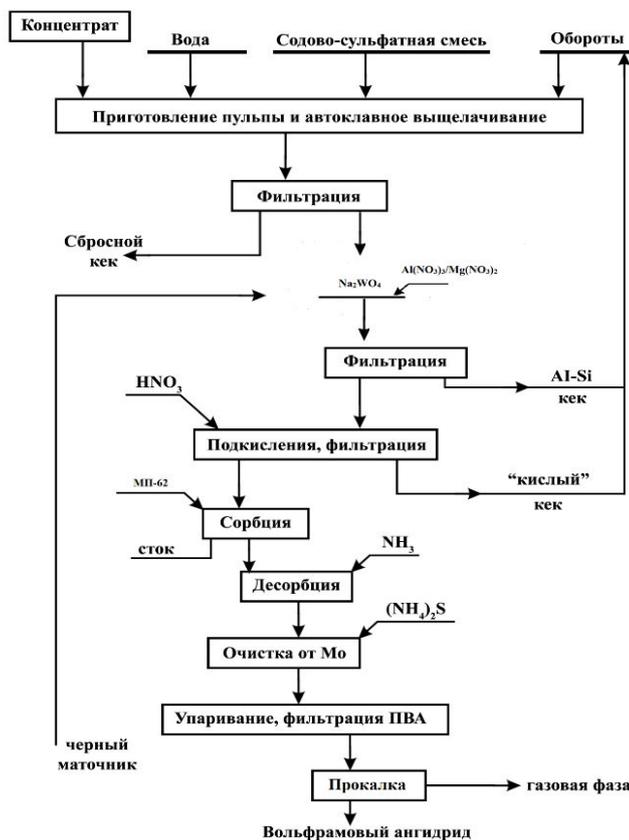


Рис. 10. Технологическая схема переработки оборотных продуктов из низкосортного шеелитового концентрата.

*Степень очистки  $WO_3$  от примесей* Поведение P описывается степенью перехода его в раствор вольфрамата натрия (10-15%); максимум концентрация P в нем 0,045+0,06 г/л. Причиной столь низкого перехода фосфора в раствор является образование малорастворимых фосфатов кальция. В автоклаве, при содовом выщелачивании шеелитовых концентратов и оборотных кеков,

происходит очистка раствора от Р и As, которые переходят в твердую фазу.

Примеси As, Р удаляли осаждением реагентами:  $Al(NO_3)_3$ ,  $Mg(NO_3)_2$ , 50 г/л (табл. 19-20). Очистка от As достигала 45%, от Р - 85-90 %, от Si – достигалась на этапе обескремнивания растворов  $Na_2WO_4$  нитратом алюминия. Помимо Si, удалялись Р, As на 35-40 %. При подкислении, концентрация Р и As снижается на 50-60 %. Как видно из табл. 20, лучшей обескремнивающей способностью обладает нитрат алюминия в смеси с солью магния.

Таблица.20

Дозы реагентов при очистке растворов вольфрамата натрия

Дозировка реагентов, г/л		Исходный раствор, г/л				Финишный, г/л			
Нитрат алюминия/Al	Нитрат магния/Mg	WO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	As	P	WO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	As	P
2,84/0,36	-	18,0	0,54	0,02	-	17,74	0,03	0,005	-
1,42/0,18	4,1/0,66	18,0	0,54	0,02	-	17,52	0,02	0,0015	-
2,84/0,36	-	40,0	1,02	0,065	0,008	39,5	0,09	0,0254	0,005
-	4,1/0,66	40,0	1,02	0,065	0,008	38,8	0,085	0,008	0,003
1,42/0,18	2,05/0,33	40,0	1,02	0,065	0,008	39,6	0,092	0,0087	0,009
2,84/0,3 6	-	75,0	0,9	0,2	0,1	73,65	0,02	0,085	0,003
-	4,1/0,66	75,0	0,9	0,2	0,1	72,45	0,04	0,04	0,003

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработано беззольное связующее дисперсии флотобогащенного промпродукта молибденового (ППМ) (0,074 мм), облегчающее диффузию и редокс-процессы на границе раздела фаз: сульфид металла / газ, O<sub>2</sub>, при 600°C; а для огарка ППМ, обладающего, в сравнении с каолиновым связующим, повышенной пористостью, удельной поверхностью, облегчающее химические взаимодействия в пульпе, на границе раздела фаз: оксид металла/раствор, при 80°C; оформлены Ts 23766064-05:2017 «Полимеров СК водные растворы», Патент UZ IAP 06177 на изобретение «Способ окомкования сульфидных молибденитовых концентратов».

2. Адсорбционно-калориметрическим методом оценена емкость огарка ППМ по парам воды и азота, с построением изотерм Ленгмюра и БЭТ, выявлено преимущество полимерного связующего перед каолиновым по пористости, удельной поверхности, эффективности переработки ППМ и кеков.

3. Методом коагуляции и адсорбции, при сочетании коагулянтов (Al, Mg солей) и флокулянта (ПАА), в пульпе выщелачивания шеелитового концентрата, размером частиц 0,074 мм, выявлена возможность совершенствования очистки вольфрамового ангидрида от примесей Si, P, As.

4. Показано, что различия в очистке вольфраматных растворов от фосфора и мышьяка, фильтруемости кеков, оптимальны при отношении масс кремнезема к сульфату алюминия:  $SiO_2:Al_2O_3=1:(0,45+0,55)$ , этот коагулянт более эффективен, чем нитрат алюминия, обеспечивая остаточное содержание  $SiO_2$  0,1 г/л, его эффективность повышается в присутствии коагулянта -

сульфата магния, определен оптимальный их расход а процессе.

5. Разработана и испытана технология переработки огарка ППМ на основе полимерного связующего, обеспечивающая синергию от сочетания факторов применения беззольного связующего и печи кипящего слоя: достигаемый эффект – рост эффективности обжига и переработки огарка ППМ.

6. Рассчитаны значения энергии активации реакций окисления дисульфида молибдена и ППМ в растворах гипохлорита натрия и азотной кислоты: выявленное на порядок меньшее их значение для ППМ объяснено присутствием в ППМ сульфидов Cu, Fe, чьи значения энергии активации меньше, чем у дисульфида молибдена.

7. Методом планирования эксперимента по программе MatLAB рассчитано уравнение регрессии реакции растворения ППМ в растворе окислителя, построен график зависимости эффективности выщелачивания от температуры, времени, скорости оборотов диска. Из расчета минимума энергии активации выведен оптимальный интервал температур 65–70°C.

8. Сопоставлен минералогический состав низкосортного шеелитового сырья разных месторождений и его влияние на результат содовой обработки в автоклаве. Изучен состав оборотных продуктов: алюмосиликатных и кислых кеков, кеков ПВА, вторичного «грязного» паравольфрамата аммония, разработана и протестирована усовершенствованная технология переработки вольфрамового сырья.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF GENERAL AND  
INORGANIC CHEMISTRY**

---

**INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY**

**SAFAROV YODGORJON TOYIROVICH**

**IMPROVEMENT OF RARE METALS' PROCESSING METHODS BY  
REGULATION OF THEIR COLLOIDAL-CHEMICAL AND  
TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS**

**02.00.11 - Colloidal and membrane chemistry; 02.00.19 – Chemical technology of rare, noble  
and radioactive elements**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

**Tashkent - 2025**

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under B2025.1.DSc/T375.

The dissertation has been carried out at the Institute of General and inorganic chemistry of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan. The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, English, Russian (resume)) is available on the website at [www.ionx.uz](http://www.ionx.uz) and on the website of «Ziyonet» information-educational portal [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Scientific consultant:**

**Guro Vitaliy Pavlovich**  
doctor in chemistry, professor

**Rasulova Sitorabonu Normuratovna**  
doctor in chemistry, senior researcher

**Official opponents:**

**Abdikamalova Aziza Baxtiyarovna**  
doctor in chemistry, professor

**Matkarimov Sohob Turdaliyovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Bukhorov Shuxrat Buriyevich**  
doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:**

**Fergana State Technical University**

The defense of the dissertation will occur by \_\_\_\_\_ 2025 at 10.00 o'clock at a meeting of Scientific council DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 on awarding scientific degrees of the Institute of general and inorganic chemistry of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan. Address: 77-a. Mirzo Ulug'bek Street, Mirzo Ulug'bek District, 100170, Tashkent, tel.: (+99871) 262-56-60, e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource center of the Institute of General and Inorganic Chemistry, (registered under No. \_\_\_\_\_). Address: 77-a. Mirzo Ulug'bek Street, Mirzo Ulug'bek District, 100170, Tashkent, tel.: (+99871) 262-56-60.

The abstract of the dissertation has been distributed by July « \_\_\_\_ » 2025.  
Protocol at the registration № \_\_\_\_ « \_\_\_\_ » July, 2025.



**B.S. Zakirov**

Chairman of the one-time scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of chemical sciences, professor

**D.S. Salikhanova**

Scientific secretary of the one-time scientific  
council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**I.D. Ishmetov**

Chairman of the one-time scientific seminar  
at the Scientific council on the award of a scientific  
degree, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

**The aim of the research work:** is to improve the processes of rare metal raw material processing by controlling their colloid-chemical and technological properties.

**The object of the research work:** enriched industrial molybdenum product (IMP) of the Almalyk Mining and Metallurgical Complex, synthesized molybdenum sulfide ( $\text{MoS}_2$  100%), scheelite concentrate from the Ingichka deposit.

**The scientific novelty of the study is as follows:**

a new kaolin-free, ashless binder for the dispersion of flotation-enriched industrial molybdenum product (IMP) was developed confirmed by Invention Patent UZ IAP 06177, facilitating diffusion–mass transfer processes at the solid, sulfide/gas, and  $\text{O}_2$  phase interfaces at 600 °C;

it has been established that the sintered granules of the industrial molybdenum product formed using an ashless binder, compared to those containing a kaolin binder, possess higher porosity and specific surface area, which facilitates chemical interactions at the interfaces of the solid, oxide/water, and reagent phases in the pulp;

it has been established that, in the pulp, the purification process of the scheelite concentrate processing product from Si, P, and As impurities is improved when applying coagulation and adsorption based on a new ratio of the nature and masses of coagulants (Al and Mg salts) and the flocculant (PAA);

A new hydrometallurgical processing technology for IMP clinker has been developed based on an ashless polymer binder, allowing the production of commercial molybdenum salts;

the kinetic patterns of oxidation reactions of molybdenum disulfide and a mixture of Mo, Cu, Fe sulfides in solutions of sodium hypochlorite and nitric acid in IMP leaching technologies were revealed;

**Implementation of the research results.** Based on the obtained results on improving the raw material processing rules:

a patent for the method of granulating sulfide molybdenite concentrates has been granted by the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan (UZ IAP 06177, dated February 20, 2020). As a result, the possibility of using ashless polymer binders instead of kaolin has been developed, which increases the porosity and specific surface area of the granules;

The technology for processing IMP clinker granules, developed on the basis of an ashless polymer binder, has been implemented at JSC “Uzbek Technological Metals Plant” (Certificate of JSC “Uzbek Technological Metals Plant” No. 03/03-851 dated June 17, 2025). As a result, the application of this technology made it possible to increase the molybdenum extraction rate from IMP clinker granules by 1 %, i.e., from 98 % to 99 %;

An improved technology for purifying sodium tungstate solution from impurities by coagulation using a mixture of aluminum and magnesium nitrates has been implemented at JSC “Uzbek Technological Metals Plant” (Certificate of JSC “Uzbek Technological Metals Plant” No. 03/03-851 dated June 17, 2025). As a result of implementing this technology, the product purification efficiency was achieved at

98.1% for Si, 93.25% for As, and 77.5% for P.

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation work consists of an introduction, six chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation work is 194 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLICATIONS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Патент UZ IAP 06177 Гуро Виталий Павлович (UZ), Сафаров Ёдгоржон Тайирович(UZ), Ибрагимова Матлуба Анваровна(UZ), Юсупов Фарход Махкамович (UZ) Способ окомкования сульфидных молибденитовых концентратов
2. Safarov E.T., Allabergenev R.D., Guro V.P., Rasulova S.N., Adinayev X.F. Regulations of oxidation of rhenium heptasulphide at rhenium concentrate processing // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 56, 6, 2021. Pp 1279 – 1284. (Scopus)
3. Сафаров Ё.Т., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф., Расулова С. Н. Молибденит концентратини донадорлаш шихтаси боғловчиларини модификациялаш // Фарғона политехника институти илмий техника журнали 2020.Том 24. №6, Б.210-213. (05.00.00.№20)
4. Сафаров Ё.Т., Расулова С. Н., Гуро В.П., Ибрагимова М. А., Адинаев Х.Ф., Абдурахмонов Э.Б Сорбционные свойства гранул огарка промышленного продукта молибденового // Узбекский химический журнал №1/2024 С. 28-32. (02.00.00.№6)
5. Сафаров Ё.Т., Расулова С.Н., Гуро В.П. Усовершенствование технологии переработки молибденитового концентрата // UNIVERSUM Химия и биология №7(121)/2024, С.49-52. (02.00.00.№2).
6. Сафаров Ё.Т., Рахимжонов З.Б., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф., Рузиев У.Н. Экстракция меламина молибдена из растворов выщелачивания огарка промышленного продукта молибденового // Узбекский химический журнал №3/2024, С.3-9. (02.00.00.№6)
7. Сафаров Ё.Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Маматалиев Н.Н., Абдурахмонов Э.Б., Ибрагимова М.А. Исследование текстурных свойств огарка промышленного продукта молибденового // Узбекский химический журнал №4/2024 С.92-96. (02.00.00.№6)
8. Сафаров Ё.Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Кинетика реагентного окисления дисульфида молибдена в растворах азотной кислотой // Узбекский химический журнал №5/2024 С.10-16. (02.00.00.№6)
9. Сафаров Ё.Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Кинетика реагентного окисления дисульфида молибдена в растворах гипохлорита натрия// Узбекский химический журнал №1/2025 С.8-14. (02.00.00.№6)
10. Сафаров Ё.Т., С. Н. Расулова, Ф. Р. Абдуллаев, У.Н. Рузиев, А. И. Асадов, В. П. Гуро Совершенствование технологии получения вольфрамового ангидрида // Узбекский химический журнал №1/2025 С.15-19. (02.00.00.№6)
11. Сафаров Ё. Т., Расулова С. Н., Гуро В. П., Адинаев Х. Ф., Абдуллаев Ф. Р., Султонов Г.А. Переработка низкосортного шеелитового концентрата с очисткой вольфрамового ангидрида от примесей // UNIVERSUM Химия и биология №4 (130) / 2025 г. С.54-59. (02.00.00.№2).
12. Ё. Т. Сафаров, С. Н. Расулова, В. П. Гуро, Х. Ф. Адинаев, Х.С. Талипова Энергия активации дисульфида молибдена при окислении азотной кислотой //

13. Ё. Т. Сафаров, С. Н. Расулова, У.Н. Рузиев, Ф.Р. Абдуллаев, А.И. Асадов, Г.А. Султанов, В. П. Гуро Сравнительная оценка подходов к переработке шеелитовых концентратов разных месторождений // Узбекский химический журнал №2/2025 С. 20-24. (02.00.00.№6)

## II бўлим (II часть; part II)

14. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Рузиев У.Н., Гуро В.П., Ибрагимова М.А. Пассивация и реагентная активация поверхности сульфидных руд // Материалы Международной научно-технической конференции «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли республики узбекистан» ГП ИМР Ташкент, 2018. С.406-407

15. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Рузиев У.Н., Гуро В.П., Пилотная установка печи кипящего слоя для обжига сульфидных минералов // Материалы Международной научно-технической конференции «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли республики узбекистан» ГП ИМР Ташкент, 2018. С.410-411

16. Guro V.P., Ibragimova M.A., Rasulova S. Oxidation and passivation of sulfide ores in gold and molybdenum hydrometallurgy // Metal 2018 27-international conference on Metallurgy and Materials Czech Republic. P.1442-1447

17. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Исследование обжигово-аммиачной и безобжигово-гипохлоритной схем вскрытия и выщелачивания Мо-концентрата // Международного Узбекско-Казакского Симпозиума «Актуальные проблемы развития химической науки и промышленности» Ташкент, 2019. С.104-111

18. Сафаров Ё. Т., Рузиев У.Н., Гуро В.П., Расулова С.Н. Технология реагентного окисления молибденитового концентрата // Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 90-летию со дня основания института «Уралмеханобр» «Современные тенденции области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья» г.Екатеринбург 2019г. С.440-441

19. Сафаров Ё. Т., Гуро В.П., Расулова С.Н. Кинетика гидрохимического окисления молибденитового концентрата// XXI Asr intellktual yoshlar asri mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferentsiyasi. Toshkent sh. 29-mart 2019y. С.177-178

20. Адинаев Х.Ф., Расулова С.Н., Гуро В.П. Пилотный реактор обжига молибденитового концентрата АО «Алмалыкский ГМК» // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук» Ташкент 2020г. 20-21 ноябрь, С.543-547

21. Safarov Y. T., Guro V.P., Rasulova S.N., Adinayev X. F. Metals recovery from molybdenite concentrate by electrooxidation and leaching // Materials Science and Engineering 848 (2020)012076 doi:10.1088/1757-899X/848/1/012076

22. Сафаров Ё. Т., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Пилотная Печь Псевдооживленного слоя обжига молибденитового концентрата // Материалы

международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки» Алматы, Казакстан 2020г. С.201-205

23. Rasulova S.N., Guro V.P., Adinaev X.F., Molybdenite concentrates kinetics of leaching in nitric acid and hypochlorite electrolytys // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии в химической и строительной отраслях промышленности и решение актуальных экологических проблем» Ташкентский химико-технологический институт 23-24 ноября 2021 года. С.27

24. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Рузиев У.Н., Адинаев Х.Ф. Обжиг молибденитового концентрата АО «Алмалыкский ГМК» в печи псевдоожигенного слоя // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии в химической и строительной отраслях промышленности и решение актуальных экологических проблем» Ташкентский химико-технологический институт 23-24 ноября 2021 года.С.32-33

25. Сафаров Ё. Т., Адинаев Х.Ф., Расулова С.Н., Гуро В.П. Режим обжига гранул молибденитового концентрата // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Инновационные технологии на основе местного сырья и вторичных ресурсов» Ургинч, 2021г. 19-20 апрель С.346-347

26. Сафаров Ё. Т., Адинаев Х.Ф., Расулова С.Н., Гуро В.П. Разработка способа обжига молибденитового концентрата в пилотном реакторе псевдоожигенного слоя // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы химии» Ташкент, 2021г. 4-5 февраль С.462

27. Сафаров Ё. Т., Адинаев Х.Ф., Гуро В.П. Реактор псевдоожигенного слоя для обжига молибденитового концентрата // Материалы международной научно-практической конференции “Интеграция науки, образования и производства-залог прогресса и процветания ”, посвященной 5-летию основания Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан Навоий, 2022г.9-10 июнь С.16-19

28. Сафаров Ё. Т., Адинаев Х.Ф., Гуро В.П. Разработка серии органических связующих для обжига молибденитового концентрата в печи кипящего слоя // Материалы международной научно-практической конференции “Интеграция науки, образования и производства-залог прогресса и процветания ”, посвященной 5-летию основания Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан Навоий, 2022г.9-10 июнь С.14-16

29. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Рузиев У.Н., Адинаев Х.Ф. Кинетика сравнительного реагентного выщелачивания Мо- огарка и Мо-концентрата // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии переработки минерального и техногенного сырья химической, металлургической, нефтехимической отраслей и производства строительных материалов». Посвящена 75-летию доктора Шарипова Хасана Турабовича. Ташкент. 2022 г. 12-14 май С.59-60

30. Сафаров Ё. Т., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Турли боғловчилар асосида олинган молибденит концентрати доналарини куйдиришдан сўнг ғоваклик даражаси // “Глобаллашув шароитида ноорганик моддалар ва материаллар ишлаб чиқаришда инновацион технологияларни ривожлантириш истиқболлари” Республика илмий-амалий конференцияси. Тошкент кимё-технология институти.

9-10 ноябрь 2023 йил. Б.161

31. Сафаров Ё. Т., Гуро В.П., Расулова Э. Эффективность переработки промышленного продукта молибденового предварительно окатанного с разными связующими // Международная научная-неделя. «Устойчивое развитие и зеленая экономика» 20-25 мая 2024 года. Ташкент. ТКТИ. Узбекистан. С.498-499

32. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Изучение пористости гранул молибденитового концентрата // Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlanish yutuqlari, muammolari va istiqbollari V-xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. 18-19 fevral, 2024 Navoi, Uzbekistan b.378-379

33. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Кинетика реагентного окисления дисульфида молибдена в растворах азотной кислотой // Международная научно-практическая конференция. «Роль коллоидной химии в сфере нефтегазопереработки, химической технологии и экологии» посвящена памяти академика Карима Садыковича Ахмедова и его последователей. Академии наук Республики Узбекистан. 10-11 октябрь 2024 года. Ташкент. С.363-365

34. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П. Исследование текстурных свойств огарка промышленного продукта молибденового // «Kimyo sanoatining dolzarb muammolari, innovatsion yechimlari va istiqbollari» mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to'plami 1-2 noyabr, 2024 Olmaliq sh., Uzbekistan b.75-76

35. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф., Рузиев У.Н., Абдуллаев Ф.Р. Органическое связующее в шихте гранулирования промпродукта молибденового Международная научно-техническая конференция. Коллоидная химия : Инновация и решения для химической технологии, экологии и промышленности. Термизский Государственный университет. 7-8 февраля 2025 года. С. 1156-1158

36. Сафаров Ё. Т., Расулова С.Н., Гуро В.П., Адинаев Х.Ф. Кинетика реагентного окисления дисульфида молибдена в растворах гипохлорита натрия // Международная научно-техническая конференция. Коллоидная химия : Инновация и решения для химической технологии, экологии и промышленности. Термизский Государственный университет. 7-8 февраля 2025 года. С. 1156-1158

37. Сафаров Ё.Т., Гуро В.П., Расулова С.Н., Исроилова М.Б., Адинаев Х. Ф. Совершенствование технологии получения высокочистого вольфрамового ангидрида // Материалы Международная научная неделя «Устойчивое развитие и зеленая экономика» 27-30 мая 2025 года, Ташкент, Узбекистан. С.137-139

38. Сафаров Ё.Т., Гуро В.П., Расулова С.Н., Адинаев Х. Ф, Ибрагимова М.А. Улавливание рения в скруббере печи кипящего слоя // Материалы Международная научная неделя «Устойчивое развитие и зеленая экономика» 27-30 мая 2025 года, Ташкент, Узбекистан. С.186-188

Avtoreferat «O‘zbekiston kimyo jurnali» tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillariga matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

**Bosmaxona litsenziyasi:**



**9338**

Bichimi: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» garniturası.  
Raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i: 3,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 30/25.

Guvohnoma № 851684.  
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.

