

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/05.05.2023.K/T.35.02  
RAQAMLI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI  
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**MAXMAREJABOV DILMUROD BAXTIYAROVICH**

**SULFIDLI MINERALLARNI FLOTATSIYALASH JARAYONLARINI  
TAKOMILLASHTIRISH USULLARI VA ILMIY ASOSLARINI ISHLAB  
CHIQUISH**

**02.00.19 – Kamyob, nodir va radioaktiv elementlar kimyoviy texnologiyasi**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

**Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)**  
**Content of the dissertation abstract of doctor of science (DSc)**

**Maxmarejabov Dilmurod Baxtiyarovich**

Sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish  
usullari va ilmiy asoslarini ishlab chiqish.....3

**Махмарежабов Дилмурод Бахтиярович**

Разработка методов и научных основ совершенствования  
процессов флотации сульфидных минералов.....29

**Makhmarezhabov Dilmurod Bakhtiyarovich**

Development of Methods and Scientific Foundations for  
Improving the Flotation Processes of Sulfide Minerals.....55

**E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ  
List of published  
works.....59

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/05.05.2023.K/T.35.02  
RAQAMLI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI  
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**MAXMAREJABOV DILMUROD BAXTIYAROVICH**

**SULFIDLI MINERALLARNI FLOTATSIYALASH JARAYONLARINI  
TAKOMILLASHTIRISH USULLARI VA ILMIY ASOSLARINI ISHLAB  
CHIQISH**

**02.00.19 – Kamyob, nodir va radioaktiv elementlar kimyoviy texnologiyasi**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.DSc/T820 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uchta tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)). Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.ionx.uz) va «Ziyonet» axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy maslahatchi:**

**Matkarimov Soxibjon Turdaliyevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Pasmiy opponenlar:**

**Samadov Alisher Usmanovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Sharafutdinov Ulugbek Ziyatovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasulova Sitorabonu Normurodovna**  
kimyo fanlari doktori

**Yetakchi tashkilot:**

**Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti**

Dissertatsiya ishi himoyasi O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti huzuridagi DSc.02/05.05.2023.K/T.35.02 raqamli bir martalik Ilmiy kengashning «9» aprel 2025 yil soat 14<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60; faks: (99871) 262-79-90, e-mail: ionx@academy.uz).

Dissertatsiya ishi bilan Umumiy va noorganik kimyo institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 64 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo-Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60; faks: (+99871) 262-79-90

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «26» mart kuni tarqatildi.

(2025 yil «26» martdagi 64 - raqamli reestr bayonnomasi).



**N.X. Usanbayev**

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

**J.S. Shukurov**

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash kotibi, t.f.d., professor

**Sh.S. Namazov**

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash qoshidagi bir martalik ilmiy  
seminar raisi, t.f.d., professor, akademik

## KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahondagi davlatlar orasida sulfidli minerallardan qimmatbaho metallarni ajratib olish va qayta ishlash texnologiyasi bo'yicha O'zbekiston yetakchi davlatlardan biri hisoblanadi. Ishlab chiqarishning o'sishi bilan birga boy va oson boyitiluvchi sulfidli rudalarning zaxiralari kamayishi ortidan, ishlab chiqarish sanoati uchun qiyin boyitiluvchi sulfidli rudalarni qayta ishlashga bo'lgan talab ortib bormoqda. Tarkibida kamyob, nodir va radioaktiv metallar saqlovchi sulfidli rudalarning qidirib topilgan zaxiralaridan olingan rudalarda oltin, kumush, mis, molibden va boshqa foydali komponent miqdorlarining kamligi, qimmatbaho komponent zarralarining strukturaviy notekis taqsimlanganligi, boyitish jarayonlarida ishlatiladigan asosiy reagentlarning chet davlatlardan xarid qilinishi, boyitishda ruda tarkibida turli zararli qo'shimchalarning mavjudligi olinadigan boyitma sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi va foydali komponentlarning tannarxini qimmatlashishiga olib keladi. Shuning uchun, sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Dunyoda metallurgiya sanoatida mineral xomashyolardan oqilona foydalanish, tarkibida kamyob, nodir va radioaktiv metall rudalarni boyitish va kimyoviy qayta ishlashning texnologik sxemalarini takomillashtirish, yangi kamxarj texnologik va texnik yechimlarni ishlab chiqish yo'li bilan qayta ishlashning samaradorligini oshirish bo'yicha ko'plab ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada qiyin boyitiluvchi sulfidli rudalar tarkibidan kamyob, nodir va radioaktiv metallarni boyitish hamda qayta ishlash samaradorligini oshirish masalalarini hal etishda katta yutuqlarga erishilganiga qaramay, reagentlarni faollashtirish hamda mahalliy sanoat korxonalaridan olinadigan reagentlarni qo'llab, boyitish texnologiyalarini qo'llashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda mavjud konlardan olingan sulfidli rudalarni an'anaviy va yangi mahalliy reagentlardan foydalanib boyitish texnologiyalarini qo'llash bo'yicha ko'plab ilmiy-amaliy natijalarga erishilmoqda. Jumladan, "Olmaliq KMK" AJ tasarrufidagi Mis boyitish fabrikasining sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirishda yangi usullarni ishlab chiqishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqotlar muhim ahamiyatga ega. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining farmonida<sup>1</sup> «Mahalliy xomashyo bazasidan samarali foydalanish va ilg'or texnologiyalarga asoslangan sanoatni rivojlantirish» kabi muhim vazifalar belgilangan. Bu borada, boyitilishi qiyin bo'lgan sulfidli rudalarni qayta ishlashda qo'llaniladigan flotoreagentlarning faolligini oshirish hamda flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirilgan usullarini qo'llanishi mumkin bo'lgan texnologiyalarni ishlab chiqish va kamyob, nodir va radioaktiv metallar mavjud bo'lgan rudalarini qayta ishlashga qaratilgan tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli «Yangi O'zbekistonni 2022-2026-yillarda rivojlantirish strategiyasi» to'g'risidagi Farmoni, 2021-yil 24-iyundagi PQ-5159-sonli «Kon-metallurgiya sanoati va unga

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-avgustdagi PF-158-sonli "O'zbekiston – 2030" strategiyasi" to'g'risida Farmoni.

bog‘liq sohalarni rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida» gi, 2019-yil 17-yanvardagi PQ-4124-sonli «Kon-metallurgiya tarmog‘i korxonalari faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida» gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning Respublika ilm-fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyasini rivojlantirishning VII. «Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar» ning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

**Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi<sup>2</sup>.**

Foydali qazilmalarni boyitish usullaridan flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish bo‘yicha qator ilmiy tadqiqotlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta‘lim muassasalarida, jumladan University of California, Montana Technological University (AQSh), Central South University (Xitoy), University of Toronto (Kanada), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (Avstraliya), Qarag‘anda davlat sanoat universiteti (Qozog‘iston), Sankt-Peterburg konchilik universiteti, Irkutsk milliy tadqiqotlar texnika universiteti, Milliy texnologik tadqiqotlar universiteti MISiS (Rossiya) va boshqa ilmiy-tadqiqot muassasalari tomonidan keng qamrovli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Dunyoda sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullarini yaratish hamda samarali texnologiyalarni ishlab chiqishga oid olib borilgan tadqiqotlar natijasida qator quyidagi ilmiy natijalar olingan, jumladan minerallarni flotatsiyalash va qayta ishlashning samarali texnologiyalari ishlab chiqilgan (University of California (AQSh); sulfidli minerallarning kimyoviy flotoreagentlar bilan reaksiyaga kirishish qonuniyatlari aniqlangan (Montana School of Mines (AQSh), sulfidli minerallarni flotatsiyalash bo‘yicha zamonaviy texnologiyalari ishlab chiqilgan Milliy texnologik tadqiqotlar universiteti MISiS (Rossiya) va (Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (Avstraliya); sulfidli minerallarni flotatsiyalashda elektrokimyoviy ishlov berish usullari yaratilgan (Central South University (Xitoy); minerallarni flotatsiyalash va reagentlar bilan sirt reaksiyalarni sodir bo‘lishi aniqlangan (University of Toronto (Kanada); sulfidli minerallarning elektrokimyosi va flotatsiyasiyalash metodikasi ishlab chiqilgan (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Avstraliya).

Jahonda sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish bo‘yicha quyidagi ustuvor yo‘nalishlarda ilmiy izlanishlar olib borilmoqda, jumladan: flotatsiya usulida boyitish jarayonining kimyoviy va fizik parametrlarini optimallashtirish orqali sulfidli minerallarning ajratilish samaradorligini oshirish; yangi flotatsion reagentlarni ishlab chiqish va qo‘llash imkoniyatlarini o‘rganish; ilg‘or texnologiyalarni joriy etish orqali flotatsiya jarayonining samaradorligini oshirish;

---

<sup>2</sup>Dissertatsiya mavzusi ilmiy tadqiqotlar sharhi <https://www.universityofcalifornia.edu/impact/education>,  
<https://www.mtech.edu/>, <https://en.csu.edu.cn/>, <https://future.utoronto.ca>, <https://www.csiro.au/>,  
<https://kgiu.kz/?lang=en>, <https://mggu.ru/>, <https://misis.ru/>, <https://www.istu.edu/>, <https://spmi.ru/>,  
<https://smi.uq.edu.au/jkmrc> va boshqa manbalar asosida ishlab chiqilgan.

flotatsiya jarayonida energiya sarfini kamaytirish va resurstejamkor usullarni qo‘llash; kimyoviy flotoreagentlar va tabiiy resurslardan oqilona foydalanishni ta‘minlash; flotatsiya jarayonlarini amaliy jihatdan takomillashtirish va sanoatga tatbiq qilish; yuqori sifatli konsentratlar olish orqali mahsulot qiymatini oshirish va bozordagi raqobatbardoshlikni ta‘minlash.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Ilmiy texnik adabiyotlarda tarkibida kamyob, nodir va radioaktiv metallar bo‘lgan sulfidli rudalarni boyitish texnologiyasini yaratish va flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish bo‘yicha A.A.Abramov, V.A.Chanturiya, V.M.Avdoxin, J.R.Roos, J.P.Celis, A.S.Sudarsono, V.E.Vigdergauz, N.G.Yagodkina, I.N.Kuznetsova, E.A.Shrader, sulfidli rudalarni flotatsiyalash jarayonlari uchun yangi iqtisodiy hamda resurstejamkor flotoreagentlarni ishlab chiqish va ularni minerallarga fizik-kimyoviy ta‘sirini o‘rganish bo‘yicha J.M.Cases, A.N.Buckley, R.Wood, B.P.Singh, E.D.Kriveleva, V.A.Konev, J.Lekki, T.Chmielewski, P.Nowak, J.Leja, L.H.Little, G.W.Polling, O.S.Bogdanov, A.M.Golman, I.A.Kakovskiy, I.S.Maksimov tomonidan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilgan. Ular tomonidan kon-metallurgiya sanoatida sulfidli rudalarni flotatsiyalash texnologiyalarini takomillashtirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan va flotatsiyalash samaradorligini oshirishda turli reagentlar sintez qilingan.

Respublikamizda sulfidli rudalarni boyitishning resurs-tejamkorlikni ta‘minlash, boyitish va gidrometallurgik qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish asosida ularning ishonchliligi va samaradorligini oshirish muammolari yuzasidan o‘zbek olimlari A.Stepanov, A.A.Yusufxodjayev, M.M.Yakubov, S.R.Xudoyarov Q.S.Sanakulov, U.A.Ergashev, A.S.Hasanov, S.T.Matkarimov, I.K.Umarova, X.Axmedov va boshqalar tomonidan ilmiy tadqiqotlar o‘tkazilgan va bir qator samarali natijalarga erishilgan.

Tahlillarga ko‘ra sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish sohasida ko‘plab ilmiy natijalarga erishilishiga qaramay, hali yechimini topmagan muammolar ham ko‘p. Jumladan, sulfidli rudalarni boyitishda ishlatiladigan an‘anaviy reagent (asosan to‘plovchi xususiyatli) o‘rnini bosuvchi mahalliy reagentlar bilan almashtirish, faollashtirishning turdosh usullari hamda boyitish va qayta ishlash usullarining optimal texnologiyalarini takomillashtirish imkoniyatlari yetarli darajada o‘rganilmagan.

**Dissertatsiya mavzusini dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining AL-592102410 – “Fazalararo mikro-/nano pufakli guruhlar asosida minerallarni flotatsiyalashda konditsiyalashning samarali texnologiyasi va uskunalarni tadqiq etish” (2022-2024 yy.) mavzusidagi O‘zbekiston-Xitoy qo‘shma amaliy loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullarini ishlab chiqish orqali rangli va nodir metall komponentlarni ajratib olish samaradorligini oshirishni ilmiy asoslarini ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

sulfidli minerallarning flotatsiyalash jarayonlarini mavjud texnologiyalari va xossalari o‘id ma‘lumotlarni analitik tahlil qilish;

sulfidli rudalarning xususiyatlari va moddiy tarkibini o'rganish hamda flotatsiyalash jarayonlarini tadqiq qilish;

sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitishda ularning mineralogik xossalari, fraksion va granulometrik tarkiblarini o'rganish;

sulfidli rudalarning texnologik tasnifining tahlili negizida sulfidli minerallarning boyitiluvchanligini tadqiq qilish;

sulfidli minerallarning flokulyantlarini aniqlashda kaliyning butil ksantogenati va suvda eriydigan polimerlar aralashmasidan foydalanib texnologik rejimlarini tanlash;

ksantogenatlar ishtirokida sulfat kislotasi eritmalaridan foydalanib ionli flotatsiya usulida kamyob va nodir metallarni ajratib olishning texnologik rejimlarini ishlab chiqish;

sulfidli minerallarni boyitish usullarini qo'llab, flotatsiyalash reagentlarini faolligini oshirishning turli usullarini takomillashtirish;

tadqiqot natijalari asosida flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullarini qo'llagan holdagi texnik-iqtisodiy samara beradigan ko'rsatkichlarni aniqlash va sulfidli minerallarni qayta ishlashning samarali texnologik sxemasini taklif etish.

**Tadqiqotning obykti** sifatida "Olmaliq KMK" AJ tasarrufidagi konlarning rangli va nodir metall komponentlarni saqlovchi sulfidli rudalar, an'anaviy to'plovchi flotoreagentlar, kaliyning butil ksantogenati (BKK), sulfat kislotasi olingan.

**Tadqiqotning predmeti** sulfidli rudalarni flotatsiyalash jarayonlarini turli flokulyantlar bilan olib borish usullari, kaliyning butil ksantogenatini elektrokimyoviy faollashtirish jarayonlari, flotatsiya usulida boyitish jarayonlarida hosil qilinadigan havo pufakchalarining stabilligini ta'minlash imkoniyatlaridan foydalanib, rangli va nodir metall komponentlarni ajratib olish samaradorligini oshirishdan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Dissertatsiya ishini bajarishda zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullaridan, IQ-spektroskopiya, rentgenfazaviy (RFT), atom-absorbsion spektroskopiya va skanerli electron mikroskopiya (SEM), ratsional, granulometrik, mineralogik va boshqa usullaridan olingan natijalarni matematik ishlab chiqish amallaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** qo'yidagilardan iborat:

suvda eruvchan polimer va sirtfaol moddalar aralashmasi mis, qo'rg'oshin va rux komponentlarini o'zida saqlovchi sulfidlarning samarali flokulyanti ekanligi aniqlangan;

suvli eritmalaridagi geteropolyar sirtfaol moddalar zarralari bilan tartibsiz tuzilishdagi suvda eriydigan polimerlarning bir-biri bilan kimyoviy birikmalar hosil qilmasligi aniqlangan;

an'anaviy to'plovchi flotoreagent (BKK) bilan birgalikda akril kislotasi va poliakriamidning suvda eruvchan sopolimerini sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlaridan oldin ularning flokulyanti sifatida qo'llash natijasida asosiy komponentlar texnologik ko'rsatkichlarining ortishi isbotlangan;

sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitish jarayonida to'plovchi va muhit yaratuvchi flotoreagentlarni birgalikda aralashtirib qo'llash natijasida to'plovchi reagent sarfining kamaytirish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitish jarayonida ishlatiladigan to'plovchi flotoreagent kaliyning butil ksantogenatini elektrokimyoviy faollashtirib qo'llash usuli ishlab chiqilgan;

flotatsiya usulidagi boyitish jarayonlarida hosil qilinadigan havo pufakchalarining stabilligini saqlab qolish orqali bo'tana quyqalanishining oldini olinishi va texnologik ko'rsatkichlarning ortishi aniqlangan;

ksantogenat eritmasini elektrokimyoviy faollashtirish natijasida diksantogenid hosil qilinishining o'zgaruvchan parametrlariga bog'liq chiziqli kombinatsiya, multiplikativ, nolinear, eksponensial va differensial tenglamalar negizidagi matematik modellari ishlab chiqilgan;

sulfidli minerallarni flotatsiya usulida boyitish jarayonlarida mexanik flotatsion mashinaning yangi taklif etilgan impelleri bir xil sharoitda solishtirilganda hosil qilinadigan pufakchalarning an'anaviy ishlatilib kelinayotgan impellerdagiga nisbatan hajman 25% dan 35% gacha kichrayishi boyitish dinamikasiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlangan;

ionli flotatsiyalashda to'plovchi flotoreagent sifatida  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  ni qo'llash natijasida asosiy komponentlarning boyitmaga ajralishini yaxshilanishi aniqlangan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** qo'yidagilardan iborat:

to'plovchi va muhit yaratuvchi aralashmasidan foydalanib to'plovchi reagent sarfini optimallashtirish hisobiga flotatsiyalash darajasini oshirish usullari takomillashtirilgan;

suvli eritmalaridagi geteropolyar sirtfaol moddalar zarralari bilan tartibsiz tuzilishdagi eruvchan polimerlarning o'zaro ta'sirlashish darajasi aniqlangan;

sulfidli rudalarni flotatsiyalash jarayonlarida ishlatiladigan reagentlarni elektrokimyoviy faollashtirish usullari va kompleks qayta ishlashning samarali texnologik sxemasi ishlab chiqilgan;

flotatsiya usulidagi boyitish jarayonida ishlatiladigan mexanik flotomashina impeller qurilmasi o'rniga yangi turdagi impeller qurilmasi, hamda ionli flotatsiyada to'plovchi flotoreagent sifatida  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  ni qo'llash usuli ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Zamonaviy kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil usullari natijalari, hamda sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullarini "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ tasarrufidagi Mis boyitish fabrikasida sinovdan o'tkazilganligi bilan tasdiqlangan.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati sulfidli rudalarni flotatsiyalash jarayonlarida akril kislotasi va poliakriamidning suvda eruvchan sopolimerini flokulyant sifatida qo'llanilganligi, kaliyning butil ksantogenatini elektrokimyoviy faollashtirish orqali sulfidli minerallarga nisbatan faolligini oshirilganligi, shuningdek, flotatsiya usulida boyitish jarayonlarida hosil qilinadigan havo pufakchalarining stabilligini ta'minlanganligi, bo'tana quyqalanishining oldini olingaligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati sulfidli rudalarni flotatsiyalashda akril kislotasi va poliakriamidning suvda eruvchan sopolimerini flokulyant sifatida qo'llash orqali to'plovchi reagentlar flotatsion qobiliyatini oshirish, elektrokimyoviy faollashtirish qurilmasida kaliyning butil ksantogenatini elektrokimyoviy

faollashtirish, flotatsiyalash jarayonlarida hosil qilinadigan havo pufakchalarining stabilligini saqlab qolish orqali bo'tana quyqalanishining oldini olinish kabi takomillashtirilgan usullar sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini samaradorligini oshirilishiga xizmat qiladi

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullari bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitish jarayonida ishlatiladigan to'plovchi flotoreagent kaliyning butil ksantogenatini elektrokimyoviy faollashtirib qo'llash usuli «Olmaliq KMK» AJning Mis boyitish fabrikasida joriy qilingan («Olmaliq KMK» AJning 2024-yil 17-sentabrdagi №SL-004500-sonli ma'lumotnomasi). Natijada olingan flotoboyitma tarkibidagi komponentlardan misni – 0,81% ga, molibdenni – 0,72% ga va oltinni – 1,11% ga ajralish ko'rsatkichlarini oshirish imkonini bergan;

flotatsiya usuli bilan boyitish jarayonida ishlatiladigan mexanik flotomashina impelleri o'rniga yangi turdagi impeller «Olmaliq KMK» AJning Mis boyitish fabrikasida joriy qilingan («Olmaliq KMK» AJning 2024-yil 17-sentabrdagi №SL-004500-sonli ma'lumotnomasi). Natijada hosil qilinadigan havo pufakchalarining stabilligini saqlab qolish darajasi an'anaviy impellerga nisbatan 20% oshirilish imkonini bergan;

sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitish jarayonida ishlatiladigan to'plovchi flotoreagent kaliyning butil ksantogenatini elektrokimyoviy faollashtirib qo'llash usuli bilan birgalikda mexanik flotomashina impelleri o'rniga yangi turdagi impeller «Olmaliq KMK» AJning Mis boyitish fabrikasida joriy qilingan («Olmaliq KMK» AJning 2024-yil 17-sentabrdagi №SL-004500-sonli ma'lumotnomasi). Natijada olingan flotoboyitma tarkibidagi komponentlardan misni – 1,37% ga, molibdenni – 1,06% ga va oltinni – 2,21% ga ajralish ko'rsatkichlarini oshirish imkonini bergan;

ionli flotatsiyada to'plovchi flotoreagent sifatida  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  ni qo'llash usuli «Olmaliq KMK» AJ da joriy qilingan («Olmaliq KMK» AJning 2024-yil 17-sentabrdagi №SL-004500-sonli ma'lumotnomasi). Natijada olingan misni eritmadan 98,4 ÷ 99,5% gacha ajratib olishga erishilgan;

an'anaviy to'plovchi flotoreagent bilan birgalikda akril kislotasi va poliakriamidning suvda eruvchan sopolimerini flotatsiyalash jarayonlaridan oldin sulfidlarning flokulyanti sifatida qo'llash usuli «Olmaliq KMK» AJ da joriy qilingan («Olmaliq KMK» AJning 2024-yil 17-sentabrdagi №SL-004500-sonli ma'lumotnomasi). Natijada olingan flotoboyitma tarkibidagi komponentlardan misni – 0,85% ga, molibdenni – 0,7% ga va oltinni – 1,21% ga ajralish ko'rsatkichlarini oshganligi qayd etilgan.

sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitish jarayonida to'plovchi va muhit sozlovchi flotoreagentlarni birgalikda aralashtirib qo'llash usuli «Olmaliq KMK» AJning Mis boyitish fabrikasida joriy qilingan («Olmaliq KMK» AJning 2024-yil 17-sentabrdagi №SL-004500-sonli ma'lumotnomasi). Natijada to'plovchi reagent sarfi 0,4÷1% gacha kamayish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqotning natijalari doirasida jami 22 ta, jumladan 16 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlar va simpoziumlarda ma'ruza qilingan hamda aprobatsiyadan o'tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 36 ta ilmiy ishlar, shulardan 1 ta foydali modelga patent, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 13 ta, shundan, Respublika nashrlarida 5 ta va xorijiy jurnallarda 8 ta maqola chop etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, beshta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 180 betni tashkil etgan.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida olib borilgan tadqiqotning dolzarbligi va unga bo'lgan talab, tadqiqot maqsadi va vazifalari asoslangan, tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga bog'liqligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga qo'llanilishi, nashr qilingan ishlar va dissertatsiya tuzilishi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirishdagi olib borilayotgan ilmiy tadqiqot ishlarining tahlili**» deb nomlangan birinchi bobida tegishli zamonaviy adabiyotlar tahlili o'rganilgan bo'lib, sulfidli rudalarni qayta ishlash tendensiyalari, sulfidli minerallarni boyitish va qayta ishlash usullarining hozirgi holati tahlil qilingan, qo'llanilib kelinayotgan yangi texnologiyalarning chuqur tahlili amalga oshirilgan. Jahonning turli-tuman boyitish fabrikalarida sulfidli rudalarni flotatsiyalashda to'plovchi reagentlarni birgalikda qo'llash amaliyoti yakka tartibda ishlatiladigan to'plovchi reagentlarga nisbatan ruda xususiyatlarining xilma-xilligi bois, asosiy foydali komponentlarni ajratib olishning ko'paytirish imkoniyatlari mavjudligi o'rganilgan.

Sulfidli minerallarning ksantogenatlar bilan o'zaro ta'sirlanishini o'rganish borasidagi ko'pgina tadqiqotlar natijasiga qaraganda mineralning gidrofoblanishi uchun qaysi mahsulot hal qiluvchi ekanligi aniqlanmagan. Shuningdek, Respublikamizdagi boyitish fabrikalarida asosan to'plovchi reagentlar sifatida kaliyning butil ksantogenati (BKK) qo'llanishini o'rganilish natijalariga ko'ra asosan to'plovchi reagentlarni flotatsiyalash amaliyotlarida ularning ta'sirlashuvchi imkoniyatlaridan to'liq foydalanilmayotganligi aniqlangan. Shuning uchun flotatsiyalash amaliyotida to'plovchi reagentlarni birgalikda qo'llash mumkin bo'lgan reagentlarni izlash va qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish asosida tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilangan.

Dissertatsiyaning «**Obyektlarni va tadqiqot usullarini tanlash hamda sulfidli minerallarning xossalari va ularning moddiy tarkibini tadqiq qilish**» deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot obyektlaridagi sulfidli minerallarning fizik-kimyoviy xossalari, moddiy tarkibi va tadqiqot usullari o'rganilgan. Shuningdek, sulfidli minerallarni flotatsiya usulida boyitish jaronlarida asosiy to'plovchi reagent hisoblangan ksantogenat eritmasini elektrokimyoviy ishlov berishning tadqiqot usullari ishlab chiqilgan.

Ushbu bobda ishning uslubiy qismini, shu jumladan tadqiqot obyektlarining xossalari o'rganish usullari taqdim etilgan. Tadqiqot uchun laboratoriya tajribalari, tajriba-sanoat sinovlari ishlatilgan; granulometrik tahlil, elektron mikroskopiya, probirli tahlil, tahlilning kimyoviy va fazaviy usullari, rentgen fazali tahlil, fotometrik tahlillari o'tkazilgan. Kimyoviy tahlil natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

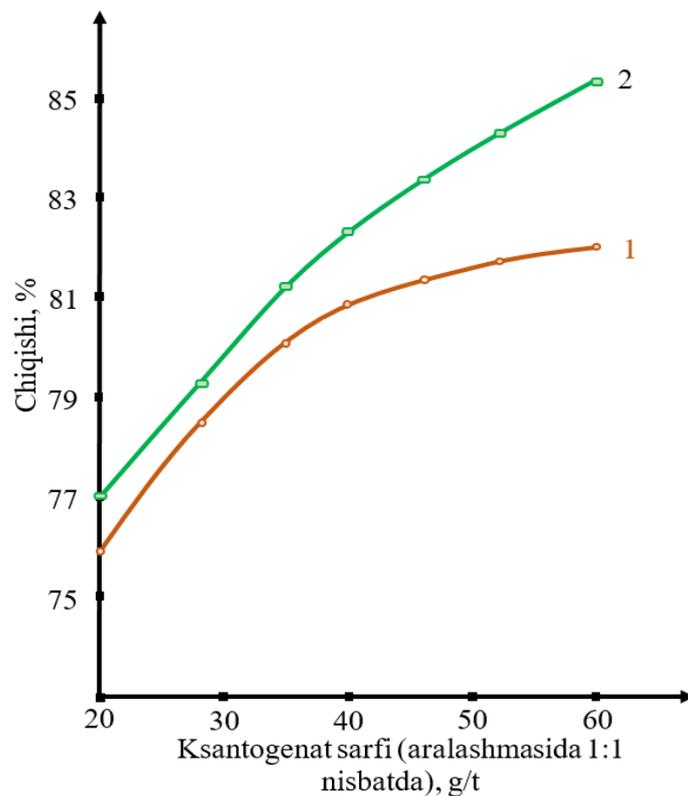
1-jadval

**Ruda namunalarining kimyoviy tarkibi**

Elementlar, komponentlar	Miqdori, %		Elementlar, komponentlar	Miqdori, %	
	Yoshlik I	Qalmoqqir		Yoshlik I	Qalmoqqir
SiO <sub>2</sub>	53,77	57,92	Zn	0,024	0,031
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,42	13,24	Pb	0,014	0,022
MgO	5,57	5,2	Co	0,0029	0,0017
CaO	4,78	3,8	As	<0,0005	0,0015
K <sub>2</sub> O	3,32	2,41	Ba	0,045	0,05
Na <sub>2</sub> O	2,22	<0,7	Mo	0,0054	0,005
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,38	Sr	0,049	0,0097
MnO	0,13	0,19	Ni	0,002	<0,0010
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,2	<0,1	Se, g/t	1,75	-
C <sub>um.</sub>	0,25	<0,5	Te, g/t	0,5	<0,1
CO <sub>2</sub>	0,92	<1	Ir, g/t	<0,003	<0,002
Fe <sub>um.</sub>	5,77	6,17	Os, g/t	<0,002	<0,003
Fe <sub>sulfidli</sub>	0,92	2,67	In, g/t	0,077	0,31
Fe <sub>oksidlarda</sub>	4,85	3,5	Re, g/t	0,179	0,195
S <sub>um.</sub>	1,45	3,1	Li, g/t	64,06	12,77
S <sub>sulfidli</sub>	0,7	<0,25	Au, g/t	0,52	0,69
Cu <sub>um.</sub>	0,423	0,38	Ag, g/t	1,05	2,07

1-jadvaldagi analitik ma'lumotlarga ko'ra, rudaning kimyoviy tarkibida 83,94-86,82% litofil komponentlarning mavjudligi aniqlangan. Qiymat miqdoriga ko'ra eng ko'p uchragan komponent kremniy oksidi bo'lib, uning ulushi 53,77-57,92% ni tashkil etadi. Undan tashqari alyuminiy (III) oksidining miqdori 13,24-16,42% ni, ishqoriy va ishqoriy yer metallarining umumiy miqdori 12,3-16,02% ni tashkil qilgan. Uglarod miqdori 0,25-0,5% gacha. Qimmatbaho komponentlardan Cu - 0,38-0,42%, Mo - 0,005-0,0054%, Au - 0,52-0,69 g/t va Ag - 1,05-2,07 g/t kabi ko'plab qimmatbaho metallarni ko'rish mumkin. Oltin zarralarining mikronli o'lchami va ularni pirit va arsenopirit bilan bog'langanligi oltinni alohida boyitmaga ajralishiga to'sqinlik qilishi aniqlangan.

Dissertatsiyaning «Suvda eriydigan polimerlarning ionogen sirtfaol moddalari yordamida sulfidli minerallarni flotatsion qobiliyatini oshirishning nazariy asoslari va usullarini ishlab chiqish» deb nomlangan uchinchi bobida suvda eruvchan polimer va sirtfaol moddalar aralashmasi tabiiy ravishda mis, molibden, oltin, qo'rg'oshin va rux komponentlarini saqlovchi sulfidlarining samarali flokulyanti ekanligi tajribalarda o'rganilgan (1-rasm).



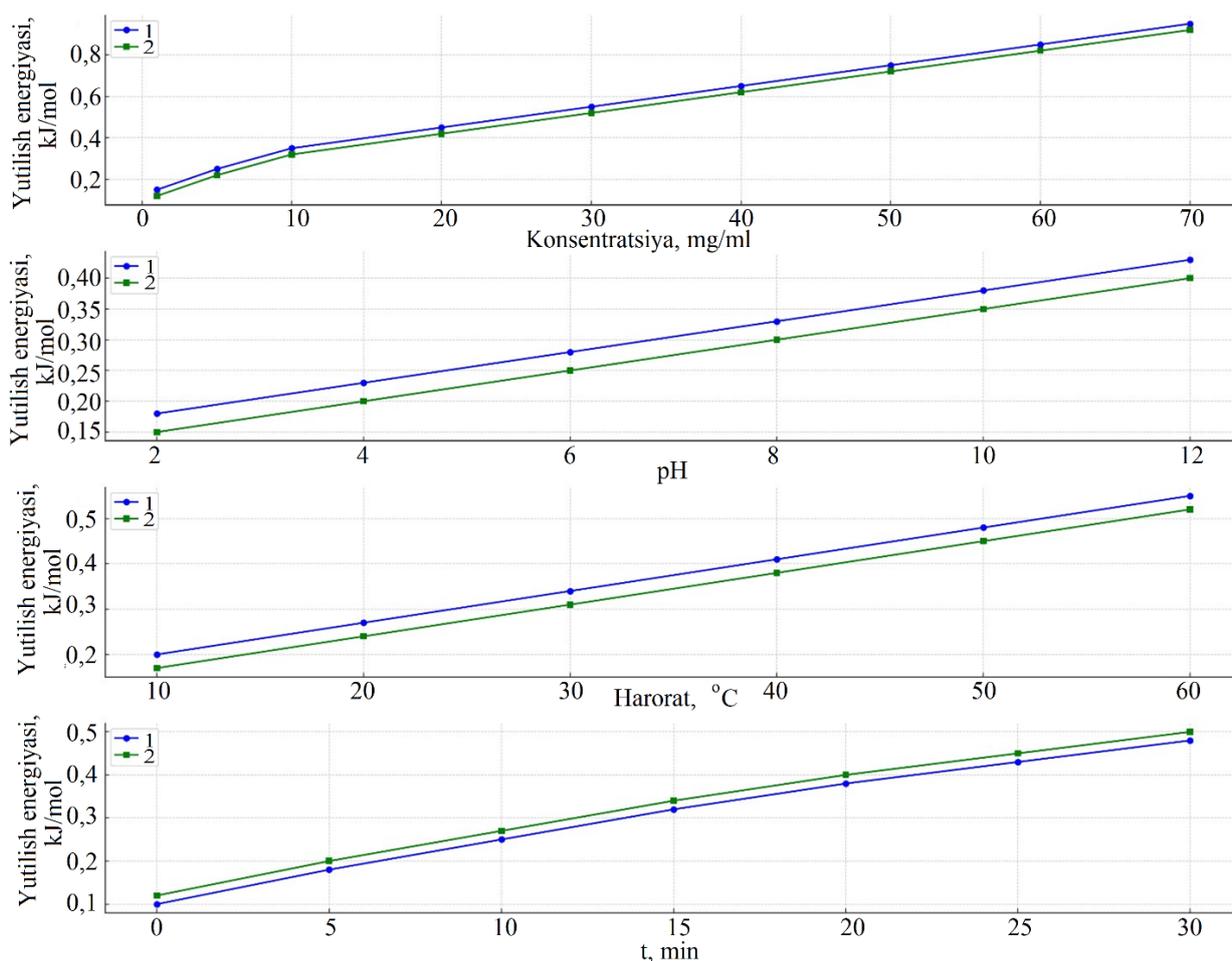
1– ksantogenat; 2 – ksantogenat - akril kislotasi va poliakrilamidning suvda eruvchi sopolimeri 1:1.

### 1-rasm. Ksantogenat va ksantogenat - muhit sozlovchi reagentlar aralashmasi bilan sfalerit flotatsiyasi

Sfalerit, xuddi galenit kabi, to‘plovchi va muhit sozlovchi reagentlar aralashmasida jadal ravishda flokulyatsiyalanadi. To‘plovchi va muhit sozlovchi reagentlar aralashmasidan foydalanganda flotatsiya yaxshilanadi va to‘plovchi reagent sarfi kamayadi (1-rasm).

To‘plovchi va muhit sozlovchilar aralashmasidan foydalanish orqali to‘plovchi reagent sarfini sezilarli darajada kamaytirish va flotatsiyalash darajasini oshirishiga erishilgan. Bundan tashqari suvli eritmalaridagi geteropolyar sirtfaol moddalar zarralari bilan tartibsiz tuzilishdagi suvda eriydigan polimerlarning o‘zaro ta’siri o‘rganilgan. Ushbu moddalar bir-biri bilan kimyoviy birikmalar hosil qilmasligi aniqlangan.

Ba’zi suvda eruvchan polimerlarning (qo‘shimchalar bilan geteropolyar funksional guruhlar) ionogen sirtfaol moddalar erituvchi molekularining qismlarida o‘zaro ta’sir qilish mexanizmini o‘rganib chiqilib, ulardan sirtfaol modda sifatida kaliyning butil ksantogenati, qo‘shimchalar sifatida – suyuq shisha, lignosulfon kislotalarining kalsiy tuzi, pirokatexin, gvayakol, vanillin, 4-oksi-3-metoksli fenilpropanol-I, jigarrang aldegid, yangi eruvchan smola kabi SFM ustida sinov tajrida ishlari o‘tkazilgan. Sirtfaol moddalar va qo‘shimchalar eritmalaridagi konsentratsiyasi 1 dan 70 mg/ml gacha. Shunda, kaliyning butil ksantogenati va suyuq shisha qo‘shimchasining yutilish spektrlarini 2-rasmda quyidagicha ifodalanganligini ko‘rish mumkin. BKK va suyuq shisha qo‘shimchasining yutilish energiyasi turli konsentratsiyalarda, pHga, haroratga bog‘liqligi tahlil qilingan (2-rasmlar). Ushbu diagrammalarni yaratishda Matplotlib Chart dasturidan foydalanilgan.



**2-rasm. Kaliyning butil ksantogenati (1) va suyuq shisha (2) sulfidli minerallardagi yutilish energiyasining eritmalar konsentratsiyasiga, pH qiymatiga, harorat ko'rsatkichiga va vaqtga bog'lig'lik grafi**

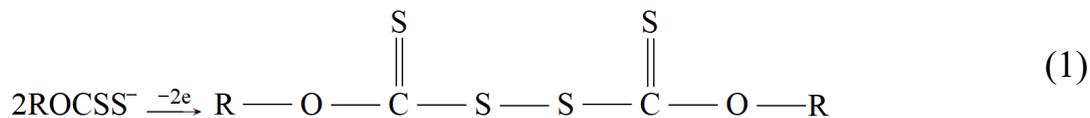
Yutilish jarayonida yuqori konsentratsiyadagi sirtfaol modda (SFM) molekulari minerallar yuzasiga ko'proq ta'sir va energiya talab qiladi. Odatda, konsentratsiya oshishi bilan yutilish energiyasi ham oshadi, chunki ko'proq molekular yutilish jarayonida ishtirok bo'ladi. Olingan tahliliy natijalarga ko'ra, sirtfaol moddalar zarralari – suv molekulari – polimerlar zarralari kabi assotsiatsiyalar hosil bo'lishi aniqlangan.

Dissertatsiyaning «Sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini faolligini oshirishning ilmiy asoslari» deb nomlangan to'rtinchi bobida flotatsiya jarayonini boyitish korxonalarida keng ko'lamda ishlatishni, qimmatbaho to'plovchi flotoreagent kaliyning butil ksantogenatini faollashtirib qo'llash va flotatsiya usulida boyitish jarayonlarida hosil qilinadigan havo pufakchalarining stabilligini saqlab qolish orqali bo'tana quyqalanishining oldini olinishi va texnologik ko'rsatkichlarini oshirishning qayta ishlashdagi tadqiqot natijalari keltirilgan.

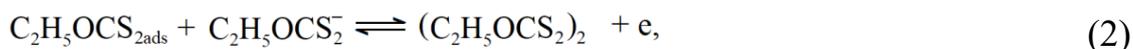
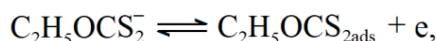
Flotoreagent eritmalarini elektrokimyoviy ishlov berish davrida o'rnatilgan katodda vodorod va anodda kislorod kabi elementlarning ajralish potentsiali qanchalik yuqori bo'lsa, flotoreagentlarning suvdagi eritmalarini elektrokimyoviy ishlashi uchun qo'llanilish mumkin bo'lgan elektr kuchi va kuchlanish diapazoni shuncha yuqori bo'ladi. Flotoreagent eritmalarini elektrokimyoviy ishlov berish jarayoniga o'tkazishdan dastlabki ishlov berish tajriba ishlarini hisobga olib, flotoreagentlarni

elektrokimyoviy ishlov berishni to‘g‘ridan-to‘g‘ri reagentlar eritmasi tayyorlashdan keyingi bosqichda amalga oshirish maqsadga muvofiq hisoblangan.

Butil va boshqa ksantogenatlarni elektrokimyoviy dimerizatsiyalash natijasida dialkil – diksantogenidlar hosil bo‘lgan, ammo jarayonni aniq ishlash tartibi ishlab chiqilmagan. Anoddagi reaksiya quyidagicha ifodalanadi (1):



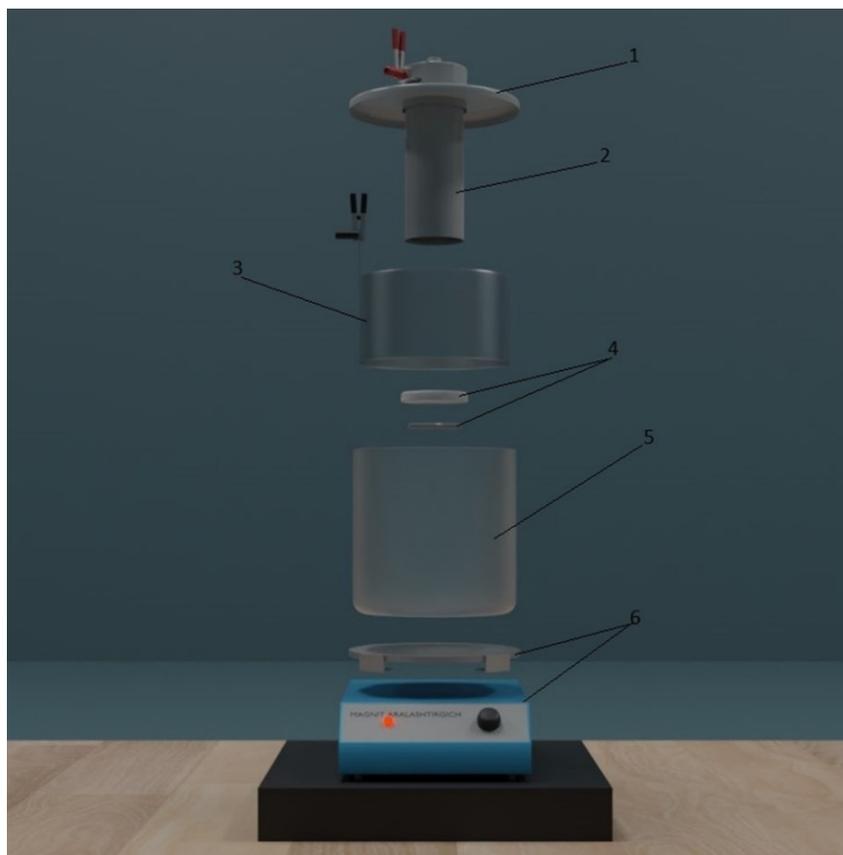
anoddagi reaksiyaning borish potentsiali muhitning pH qiymatiga bog‘liq emas. Shuningdek, ilmiy izlanishlari natijalariga ko‘ra etil ksantogenatning platinali, oltinli, mis va galenitli elektrodlarda anodli oksidlanish jarayonlarida diksantogenidgacha oksidlanishi ksantogenatning adsorbsiyalangan radikallari orqali aniqlangan (2):



Ilmiy laboratoriya natijalariga ko‘ra, ksantogenit – 0,67 va 0 V oralig‘ida bir necha marta adsorbsiyalanishi hamda desorbsiyalanishi mumkin. Flotoreagent eritmalariga elektrokimyoviy ishlov berish maqsadida tajribalar o‘tkazish uchun yacheyka, magnitli aralashtirgich va elektr tokini boshqarish manbaidan iborat maxsus uskuna yaratildi (3, 4-rasmlar) va bu uskunaga ksantogenatlarni elektrokimyoviy faollashtirish uskunasi degan nom berildi.



**3-rasm. Flotoreagent eritmalarini elektrokimyoviy faollashtiruvchi uskuna**



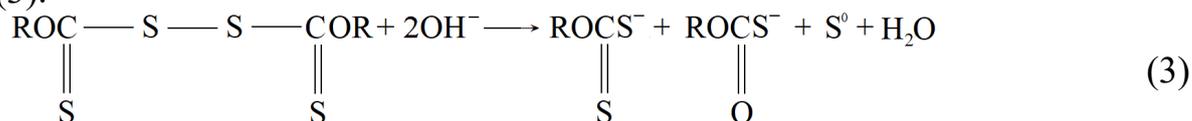
**4-rasm. Flotoreagent eritmalarini elektrokimyoviy faollashtiruvchi uskunaning prinsipial tuzilishi: 1-qopqoq qismi; 2-cheklovchi stakan; 3-katod qismiga oʻrnatilgan ishchi elektrod; 4-filtr; 5- shisha kristallizator (yacheyka); 6-magnitli aralashtirgich.**

Flotoreagent eritmalarini elektrokimyoviy faollashtirish uskunasi 750 ml li silindr shaklidagi kristallizator shishadan iborat boʻlib, uning ichki perimetri boʻylab qalinligi 0,5-1,0 mm li zanglamaydigan poʻlat listdan tayyorlangan silindrik ishchi elektrod yotqizilgan. Kristallizator shishaning yuqori qismi maxsus qopqoq bilan yopilib, uning markazida esa pastki qismi ochiq boʻlgan cheklovchi stakan oʻrnatilgan. Bu stakanning asos qismida filtr oʻrnatilgan. Cheklovchi stakan ichida ham 0,5-1,0 mm li zanglamaydigan poʻlat listdan tayyorlangan ichki (yordamchi) elektrod oʻrnatilgan. Tayyorlangan flotoreagent eritmasi elektrokimyoviy faollashtirish uchun, uskuna maydonchasiga shunday tartibda beriladiki, kristallizator shishadagi sath cheklovchi stakan asosidan yuqoriroq boʻlishini talab etadi. Uskuna sathlardagi farq floreagent eritmalarining elektr tok kuchi va kuchlanishi taʼsirida oksidlash mahsulotlari elektr qaytarilish mahsulotlari bilan oʻzaro taʼsirlashmasligi uchun yaratildi. Elektrokimyoviy ishlov berish tadqiqotlari davomida kristallizator shishadan cheklovchi stakanga eritmaning sekin quyilishi sodir boʻladi.

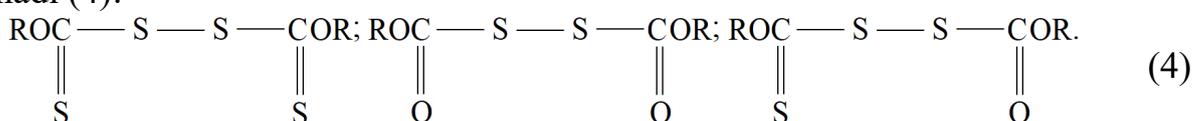
Elektrokimyoviy faollashtirishda magnitli aralashtirgichning asosiy vazifasi 5% li ksantogenat eritmasini oksidlash jarayonlarining bir tekis ketishini taʼminlash va asosiy elektrod (anod) yuzasida reaksiya mahsulotlarini oʻrnashib (yopishishi) qolishidan saqlash uchun qoʻllaniladi.

Anod material sifatida platina, poʻlat 3, grafit, zanglamaydigan poʻlat va nikel ishlatilishi maqsadga muvofiq. Chidamliligi va ksantogenat chiqishi nuqtai nazaridan

anod sifatida eng samarali material platina, zanglamaydigan po‘lat va nikel ekanligi aniqlangan. Sanoatda amalga oshirish uchun anod materiali sifatida zanglamaydigan po‘lat va grafit tavsiya qilindi. Zanglamaydigan po‘latdan anodda ksantogenatning elektrooksidlanish mahsulotlarining tarkibi potensialining qiymatiga, elektr miqdori va reagentning konsentratsiyasiga bog‘liq. Anodning potentsiali 0,3 dan 0,7 V gacha ksantogenatning oksidlanish jarayoni diksantogenit hosil bo‘lishi bilan boradi. Agar elektroliz anod va katod maydonini ajratmasdan borilsa parchalanishi sodir bo‘lib, u diksantogenidning ksantogenat va monotiokarbonat hosil qilib parchalanishiga olib keladi (3).



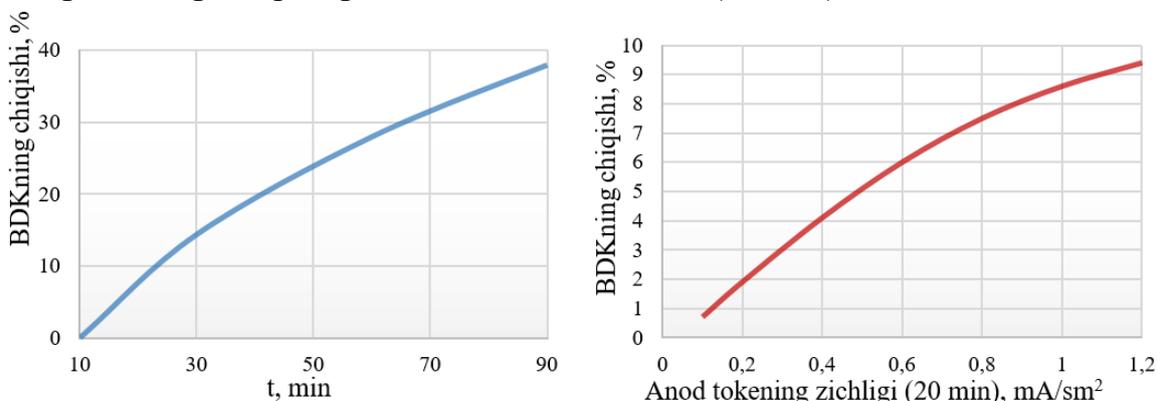
Potensial 0,8 da 1,8 V gacha oshirilsa quyidagi birikmalar hosil bo‘lishi boshlanadi (4):



Shuningdek, ksantogenat va diksantogenidning sulfidli minerallar yuzasiga ta’sir qilish mexanizmini chuqurroq o‘rganish uchun molekularning elektroskopik potensial xaritasi katta ahamiyat kasb etadi. Molekularning elektroskopik potensial xaritasi orqali reagentlar molekularining taqsimlanishini belgilab beradi hamda ta’sirlashishning gidrofob va gidrofilligini namoyon etadi.

Ksantogenat eritmasini dastlabki elektrooksidlash faqat diksantogenid chiqishini boshqarishga emas, balki uning mayin disperslanishiga ham imkon beradi. Diksantogenidning optimal dispersligiga (3-5 mkm) anodning potentsiali 0,8 dan 1,1 V gacha erishiladi. Sanoat miqyosida olib borilgan tadqiqotlar va polimetall rudalarni flotatsiyalashda ksantogenat eritmasini elektrokimyoviy oksidlash jarayonini qo‘llash natijasida to‘plovchi flotoreagent sarfi 15-25% pasaytirilishiga va metall ajralishi 1,5 dan 3,0 % gacha oshirilishini ko‘rsatgan.

Dastlabki ksantogenatning 5% li eritmasining konsentratsiyasi va elektrodga berilayotgan tok kuchi va kuchlanish miqdorining ko‘tarilishi bilan diksantogenidning chiqishining ortishi aniqlangan. Ksantogenat eritmasining elektr oksidlanish vaqti diksantogenidning chiqishiga katta ta’sir ko‘rsatadi (5-rasm).



**5-rasm. Ksantogenatning 5% li eritmasini elektrokimyoviy oksidlanish natijasida diksantogenidning hosil bo‘lishi: a) anod tokining 0,8 mA/sm<sup>2</sup> zichligida; b) 20 minut davomida anod tokining 0,2÷1,2 mA/sm<sup>2</sup> oralig‘ida**

5-rasmdan, 5% li butil ksantogenati eritmasining tok kuchining  $0,8 \text{ mA/sm}^2$  zichligida 30 daqiqa davomida ishlov berishda diksantogenidning chiqishi 10%, 120 daqiqa ishlov berishda esa 46% ni tashkil etadi.

Shuningdek, ksantogenat eritmasini elektrokimyoviy faollashtirish natijasida diksantogenid hosil qilinishining o'zgaruvchan parametrlariga bog'liqlik chiziqli kombinatsiya, multiplikativ, nolinear, eksponensial va differensial tenglamalar negizida matematik modeli ishlab chiqilgan.

Ksantogenat eritmasining elektrokimyoviy ishlov berish jarayonida diksantogenidga o'tish miqdorining umumlashtirilgan matematik modeli turli o'zgaruvchilarni umumlashtirgan holda ishlab chiqildi. Bunda vaqt, tok zichligi, va boshqa potensial omillar inobatga olindi. Shulardan dastlab, umumiy o'zgaruvchilarni chiziqli kombinatsiya modeli (5):

$$\gamma = a \cdot \ln(t) + b \cdot \sqrt{\rho_I} + e, \quad (5)$$

bu yerda,  $\gamma$  – diksantogenidning chiqish miqdori (%),  $t$  – birlik vaqt (daqiqa),  $\rho_I$  – tok zichligi  $\text{mA/sm}^2$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $e$  – mos keluvchi koeffitsiyentlar.

Shuningdek, ba'zi jarayonlar bir-biriga nisbatan mutanosiblik hosil qilishi mumkin, shu sababli multiplikativ tipidagi model ishlab chiqildi (6):

$$\gamma = a \cdot (\ln(t))^k \cdot (\sqrt{\rho_I})^l + e, \quad (6)$$

Ishlab chiqilgan multiplikativ tipidagi modelda  $k$  va  $l$  mos keluvchi koeffitsiyent parametrlar logarifm hamda kvadrat ildiz fuksiyasining kuchlanishini belgilab beradi.

Ksantogenat eritmasining elektrokimyoviy ishlov berish jarayonida birlik vaqt va tok zichligidagi noaniqliklar vujudga kelgan taqdirda murakkabroq matematik model ishlab chiqilishini talab etadi, shu boisdan nolinear model ishlab chiqilgan (7):

$$\gamma = a \cdot (\ln(t + t_x))^k \cdot \sqrt{(\rho_I + \rho_{I_y})^l} + e, \quad (7)$$

Ishlab chiqilgan nolinear modelning multiplikativ tipidagi modeldan farqli ravishda logarifm va kvadrat ildiziga o'zgartirishlarni qo'shish mumkin, natijada boshlang'ichdagi noaniqliklarni hisobga olinishiga erishiladi.  $t_x$  va  $\rho_{I_y}$  mos keluvchi koeffitsiyent parametrlari birlik vaqt va tok zichligi o'zgarishini moslashtiradi.

Ayrim hollardagi elektrokimyoviy ishlov berishda jarayonlarning shiddat bilan stabillashuviga moyil bo'lishi mumkin, shuning uchun eksponensial model ishlab chiqilishi talab etiladi (8):

$$\gamma = a \cdot (1 - n^{-b \cdot t}) + e \cdot (1 - n^{-d \cdot \rho_I})^k + n, \quad (8)$$

bu yerda,  $n$  va  $d$  – mos keluvchi koeffitsiyentlar.

Ishlab chiqilgan eksponensial modelning o'ziga xosligi elektrokimyoviy ishlov berish natijasida diksantogenidning chiqishi birlik vaqt va tok zichligiga eksponensial ravishda bog'liq bo'lib, boshlanishida shiddat bilan, keyinchalik jarayon sekinlashishi kuzatiladi.

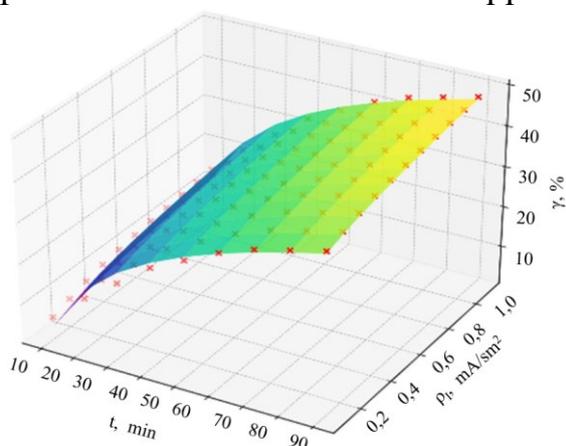
Ksantogenat eritmasining elektrokimyoviy ishlov berish jarayonini amalga oshirishda jarayonning davomiyligi faqat vaqtga bog'liq bo'lgan dinamik o'zgarishlar muhim hisoblanadi, bu holat uchun differensial tenglamalar negizida matematik model ishlab chiqilgan (9):

$$\frac{d(\gamma)}{d(t)} = a \cdot \ln(t) + b \cdot \sqrt{\rho_I} - e \cdot \gamma. \quad (9)$$

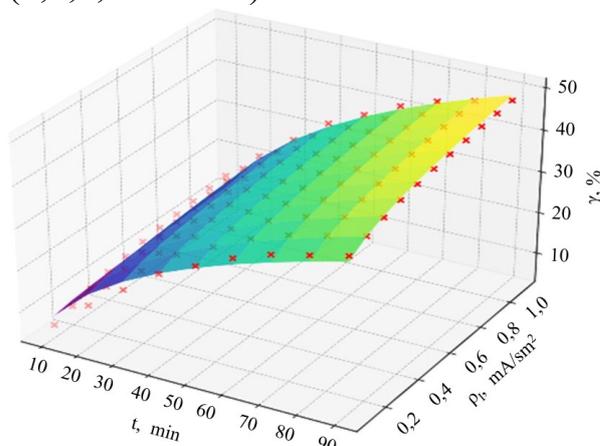
Bu model orqali jarayondagi muhim bo'lgan dinamik o'zgarishlardan diksantogenidning chiqish tezligini aniqlash mumkin. Shuningdek, modellarning chegaralari minerallarning boyitish parametrlarining o'zgaruvchanligi bilan belgilanadi.

Ishlab chiqilgan matematik modellarning har biri tegishli jarayonning turli holatlarini hisobga oladi va modelni tanlash asosida olib borilayotgan jarayonning holatiga, tadqiqot natijalariga va aniq belgilangan maqsadda intixob qilinadi. Bu esa ushbu modellarning har biri belgilangan sharoitlarda diksantogenidning chiqishini aniqlash uchun zamin yaratadi.

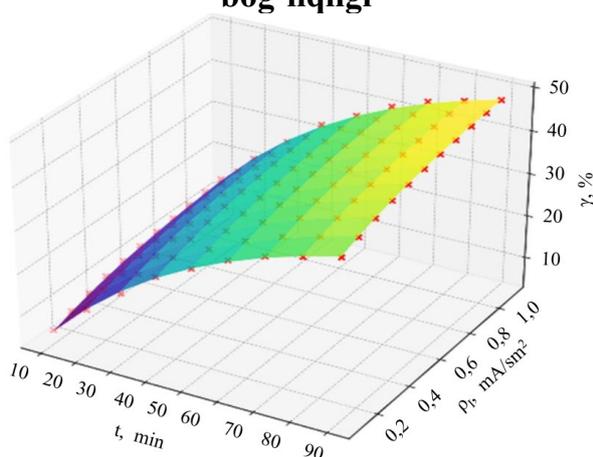
O'tkazilgan tadqiqotlari asosida, mos keluvchi koeffitsiyentni hisoblash uchun regression tahlil qilindi, hamda tuzilgan modellar laboratoriya sharoitida olingan eksperimental ma'lumotlar bilan taqqoslandi (6,7,8,9-rasmlar).



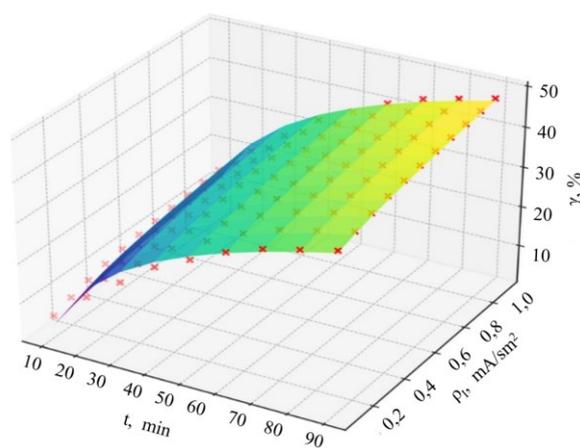
**6-rasm. Diksantogenid hosil qilinishida chizziqli kombinatsiyalashtirilgan modelning eksperimental tahlil bilan bog'liqligi**



**7-rasm. Diksantogenid hosil qilinishida multiplikativ modelning eksperimental tahlil bilan bog'liqligi**



**8-rasm. Diksantogenid hosil qilinishida eksponensial modelning eksperimental tahlil bilan bog'liqligi**



**9-rasm. Ksantogenatning eritmasini elektrokimyoviy oksidlanish natijasida diksantogenidning hosil bo'lishida ishlab chiqilgan model hamda real eksperimental ma'lumotlar bog'liqligi**

Taqqoslash jarayonlari “Python” dasturiy ta’minotidan foydalanib amalga oshirildi.

Qiyosiy grafiklardan (6-9-rasmlar) diksantogenidni chiqishdagi qiymatining turli modellarini qo‘llaganda model va eksperimental qiymatlarning o‘zaro mosligi e’tirof etilgan. Shu bilan birgalikda modellar, ular va eksperimental qiymatlarning o‘zaro farqi, chizziqli kombinatsiya modelida – 4,32%, multiplikativ tipidagi modelda – 3,87%, nolinear modelida – 4,57% va eksponensial modelda 1,13%, ni tashkil qilgan. Bu esa ishlab chiqilgan modellardan eksponensial modelning ishonchliyligini ifodalaydi uni amaliyotga tadbiiq etilishi tavsiya etiladi.

“Yoshlik I” va “Qalmoqqir” konlaridagi rudaning moddiy tarkibini, tashkil etuvchi foydali komponent va minerallarning tarqalish qonuniyatlari va tadqiqot doirasida to‘plangan ma’lumotlar moddiy tarkibi bo‘yicha o‘xshash rudalarni avvalgi tadqiqot natijalariga asoslanib tadqiqotlar o‘tgazish rejasi shakllantirilgan.

Sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullari va ilmiy asoslarini ishlab chiqish uchun flotatsiya usullari asosiy boyitish usullari sifatida qabul qilindi.

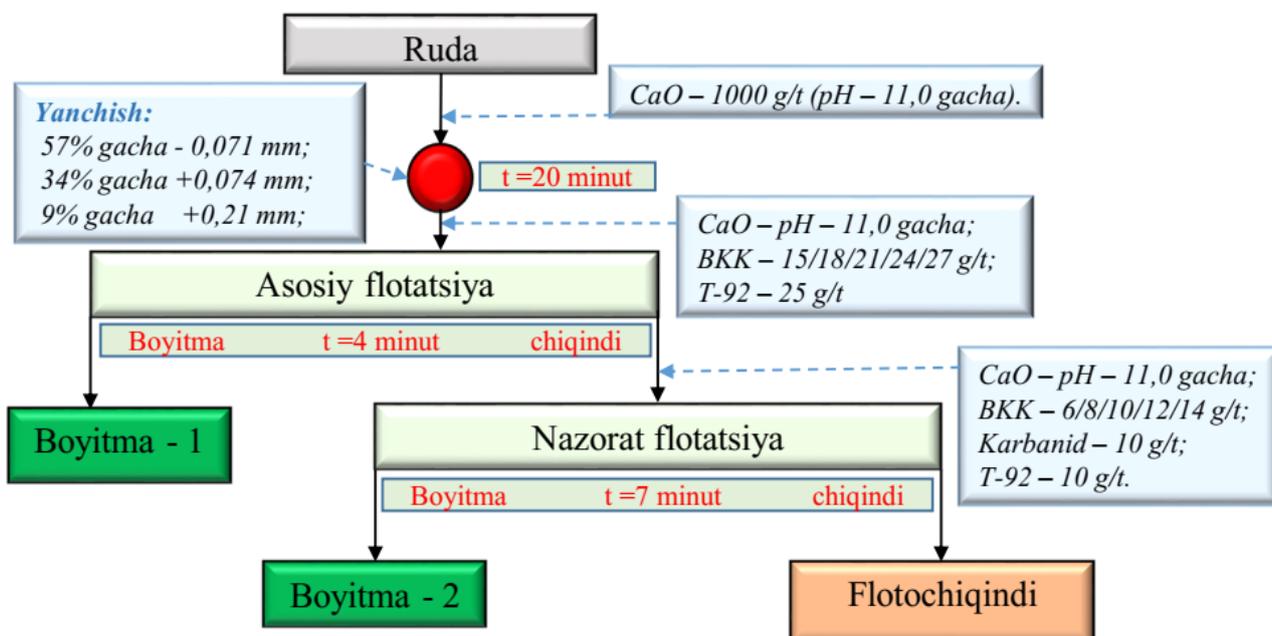
Rudani yanchishda 1:0,5:6 ga teng ruda:texnik suv: tegirmon sharlari nisbatida SHML-1 (62 ML) tipdagi laboratoriya sharli tegirmondan, rudalarni flotatsiya qilish uchun 3,0, 1,0, 0,75 va 0,5 dm<sup>3</sup> sig‘imdagi kamerali FML-1 (237-ΦЛA) markali laboratoriya flotomashinalardan, yordamchi boyitish usuli uskunalari sifatida SKO-1 markali laboratoriya konsentratsion stolidan, IQBK 100-2M markali markazdan qochirma konsentratorlardan foydalanilgan.

Olingan boyitmalarni tahlil qilishda Rigaku firmasining NEX CG markali optik spektrometrida amalga oshirilib, oltin tarkibli gravitatsiya boyitmalarining sifati texnik shart TU-Uz-65-001-94-003 bo‘yicha baholandi. Baholash xulosasiga ko‘ra boyitmadagi qimmatbaho komponent oltinning belgilangan miqdori (mis eritish zavodiga tushadigan boyitmalar uchun) 50 g/t dan yuqori bo‘lishi va shu bilan birga zararli komponentlarning belgilangan miqdori As- 0,7% , Sb- 0,3% va Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 10% dan ortmasligining zarurligi inobatga olingan.

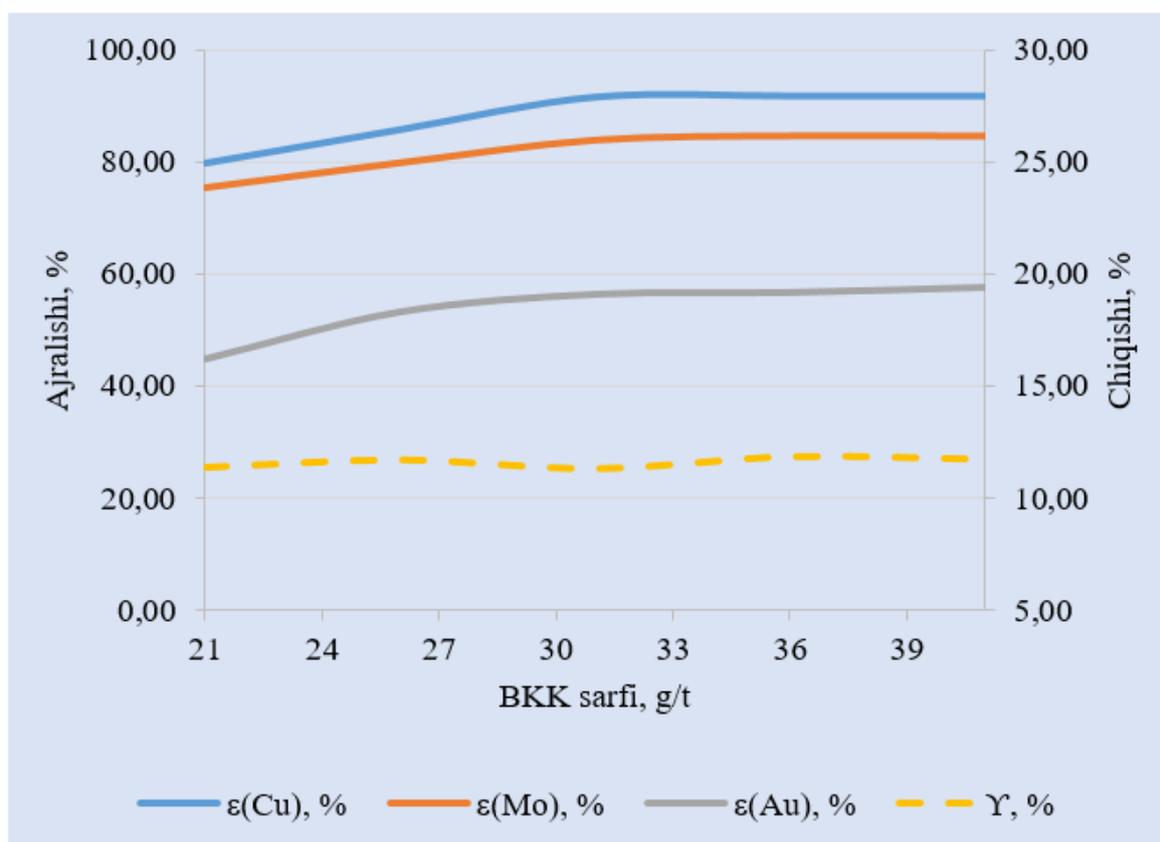
Flotatsiya usulida boyitish tajribalari quyidagi metodik yo‘nalish bo‘yicha olib borildi: Cu, Mo va Au elementlariga daxldor bo‘lgan minerallarni birgalikda (kollektiv) flotatsiyasi va Au hamda As minerallarining alohida-alohida (selektiv) flotatsiyasi. Boyitish natijalarini baholash odatda olingan boyitish mahsulotlarining chiqishi va mishyakning miqdoriga, surmaning mahsulotlardagi miqdorini aniqlash uchun alohida kimyoviy tahlili, Cu, Mo va Au ning miqdorini aniqlash uchun kerakli laboratoriya tahlillari asosida olib borildi.

“Qalmoqqir” konidan olingan namunalarni 20 minut davomida 57% gacha -0,071 mm, 34% gacha +0,074 mm va taxminan qolgan 9% mahsulot +0,21 mm gacha yanchilgan ruda namunasini flotatsiya usulida boyitish jarayonlari uchun an’anaviy to‘plovchi flotoreagent sarfini tanlash maqsadida bir qator flotatsiya usuli bo‘yicha boyitish tajriba-sinov ishlari amalga oshirildi.

Dastlabki ruda namunalarni flotatsiya usulida boyitish 10-rasmda ko‘rsatilgan sxema bo‘yicha bajarildi.



10-rasm. Yig'uvchi reagentlarning optimal sarfini tanlash uchun sinovlar sxemasi

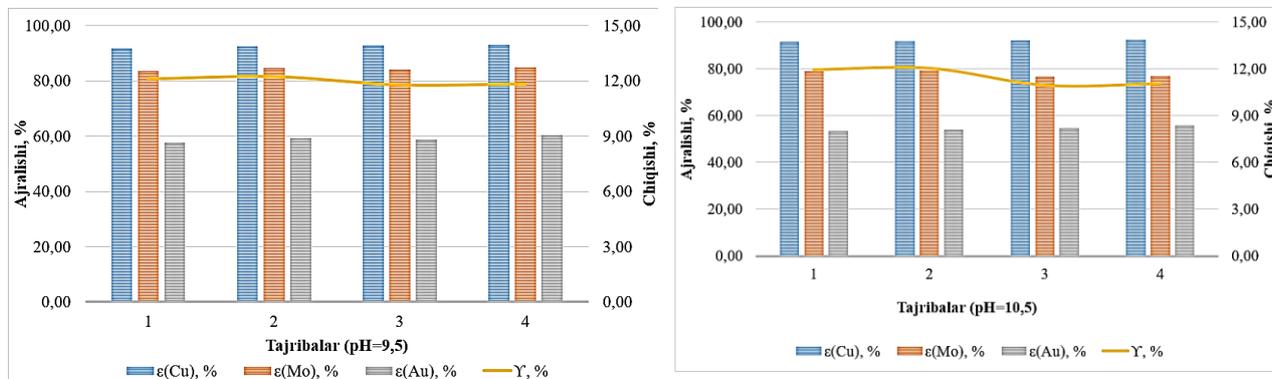


11-rasm. "Qalmoqqir" konlaridan olingan namunalarni flotatsiyalashdagi BKK sarfi

Yig'uvchi reagentlarning optimal sarfini tanlash uchun, BKK ning umumiy flotatsiyalashdagi sarfi 21 g/t dan 41 g/t gacha bo'lgandagi tadqiqotlar o'tkazildi (11-rasm).

Dissertatsiya tadqiqot sinovlari natijalariga ko'ra, pH=9,5 qiymatda boyitmaning umumiy chiqishi 11,35 dan 11,88% gacha, misning umumiy ajralishi 91,70% gacha,

molibdenning umumiy ajralishi 84,71% gacha va oltinning umumiy ajralishi 57,66% gachani tashkil etgan. (4.2-jadval). Yuqorida keltirilgan ma'lumotlar asosida, pH=9,5 da foydali komponentlarning yuqori ajralish darajasiga erishilgan. Shu bilan birga, BKK ning sarfi asosiy flotatsiyada 21 g/t va nazorat flotatsiyasida 10 g/t miqdorda, keyingi flotatsiya tajribalarini o'tkazish uchun to'plovchi reagent sarfi sifatida qabul qilindi (12-rasm).



1- texnologik rejim bo'yicha flotatsiyalash usuli; 2 - to'plovchi flotoreagentni elektrokimyoviy faollashtirib flotatsiyalash usuli; 3 - yangi turdagi impellerni flotomashinaga o'rnatgan holatdagi flotatsiyalash usuli; 4 - yangi turdagi impellerni flotomashinaga o'rnatgan holatida va to'plovchi flotoreagentni elektrokimyoviy faollashtirib flotatsiyalash usuli.

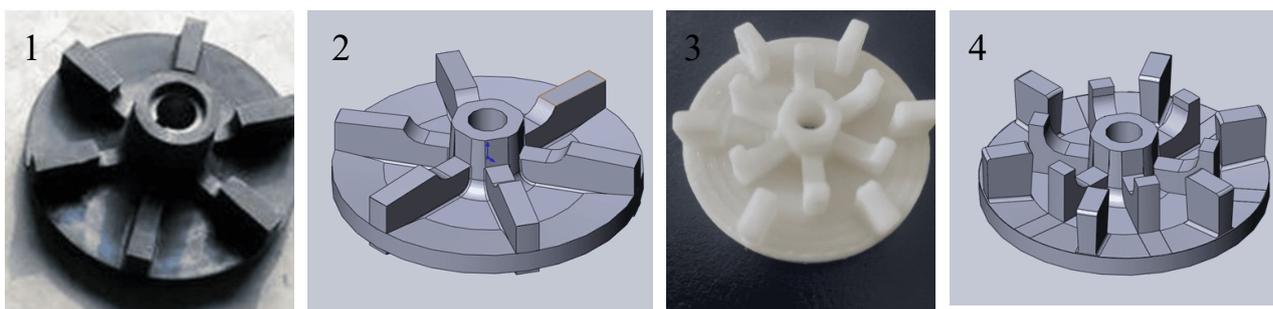
### 12-rasm. Qalmoqqir koni ruda namunalari flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullari orqali erishilgan boyitishning texnologik ko'rsatkichlari

Dissertatsiya tadqiqot sinovlari natijalariga ko'ra, pH=9,5 qiymatda boyitmaning umumiy chiqishi 11,78 dan 12,24% gacha, misning umumiy ajralishi 93,20% gacha, molibdenning umumiy ajralishi 84,67% gacha va oltinning umumiy ajralishi 60,33% gachani tashkil etgan. Shuningdek, pH=10,5 qiymatda boyitmaning umumiy chiqishi 10,95 dan 12,05% gacha, misning umumiy ajralishi 92,47% gacha, molibdenning umumiy ajralishi 76,97% gacha va oltinning umumiy ajralishi 55,87% gachani tashkil etgan. Yuqorida keltirilgan ma'lumotlar asosida, pH=10,5 ga nisbatan pH=9,5 da foydali komponentlarning yuqori ajralish darajasiga erishgan. Shu bilan birga BKK ning sarfi asosiy flotatsiyada 21 g/t va nazorat flotatsiyasida 10 g/t miqdorda keyingi flotatsiya tajribalarini o'tkazish uchun to'plovchi reagent sarfi sifatida qabul qilindi (12-rasm).

“Yoshlik I” va “Qalmoqqir” konidan olingan namunalarni flotatsiya usulida boyitish uchun qabul qilingan texnologik parametrlar asosida, flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish uchun turli tajriba sinovlari o'tkazildi.

Dissertatsiya tadqiqotlari doirasida o'tkazilgan sinovlarda to'plovchi reagent sifatida ishlatiladigan 5% li butil ksantogenati eritmasiga 0,8 mA/sm<sup>2</sup> tok kuchining zichligida 20 daqiqa davomida elektrokimyoviy faollashtirilgan usuli bilan birgalikda mexanik flotomashina impelleri o'rniga yangi turdagi impeller joriy etilishi natijasida boyitmaning umumiy chiqishi 11,84%, misning umumiy ajralishi 93,20%, molibdenning umumiy ajralishi 84,85% va oltinning umumiy ajralishi 60,33% ni tashkil etgan. Ushbu olingan ma'lumotlarga asoslanib BKK eritmasini

elektrokimyoviy ishlov berib qo‘llash va mexanik flotomashina impelleri o‘rniga yangi turdagi impeller joriy etilishi istiqbolli deb hisoblash mumkin (13-rasmlar).



**13-rasm. Mexanik flotomashina impelleri: an’anaviy impeller: (1,2), yangi turdagi ixtiro qilingan impeller (3,4)**

Tadqiqotlarda flotomashina impelleri mexanik tipdagi flotatsion mashinaning asosiy detali hisoblanib, u havoni so‘rish va so‘rilgan havoni mayda-mayda havo pufakchalariga ajratishni ta‘minlaydi hamda bo‘tananing kameradagi hajmini havo bilan to‘yintiradi. Flotatsion mashina impellerning aylanish tezligi qancha yuqori darajada bo‘lsa u shuncha ko‘p miqdordagi havoni so‘rib oladi. Lekin impellerning aylanish tezligi haddan tashqari katta bo‘lmasligi kerak, aks holda bo‘tana hajmidagi umumiy mahsulotni tez aralashish natijasida mineral zarrachalarning havo pufakchasidan uzilish holatlari sodir bo‘ladi (14-rasmlar).

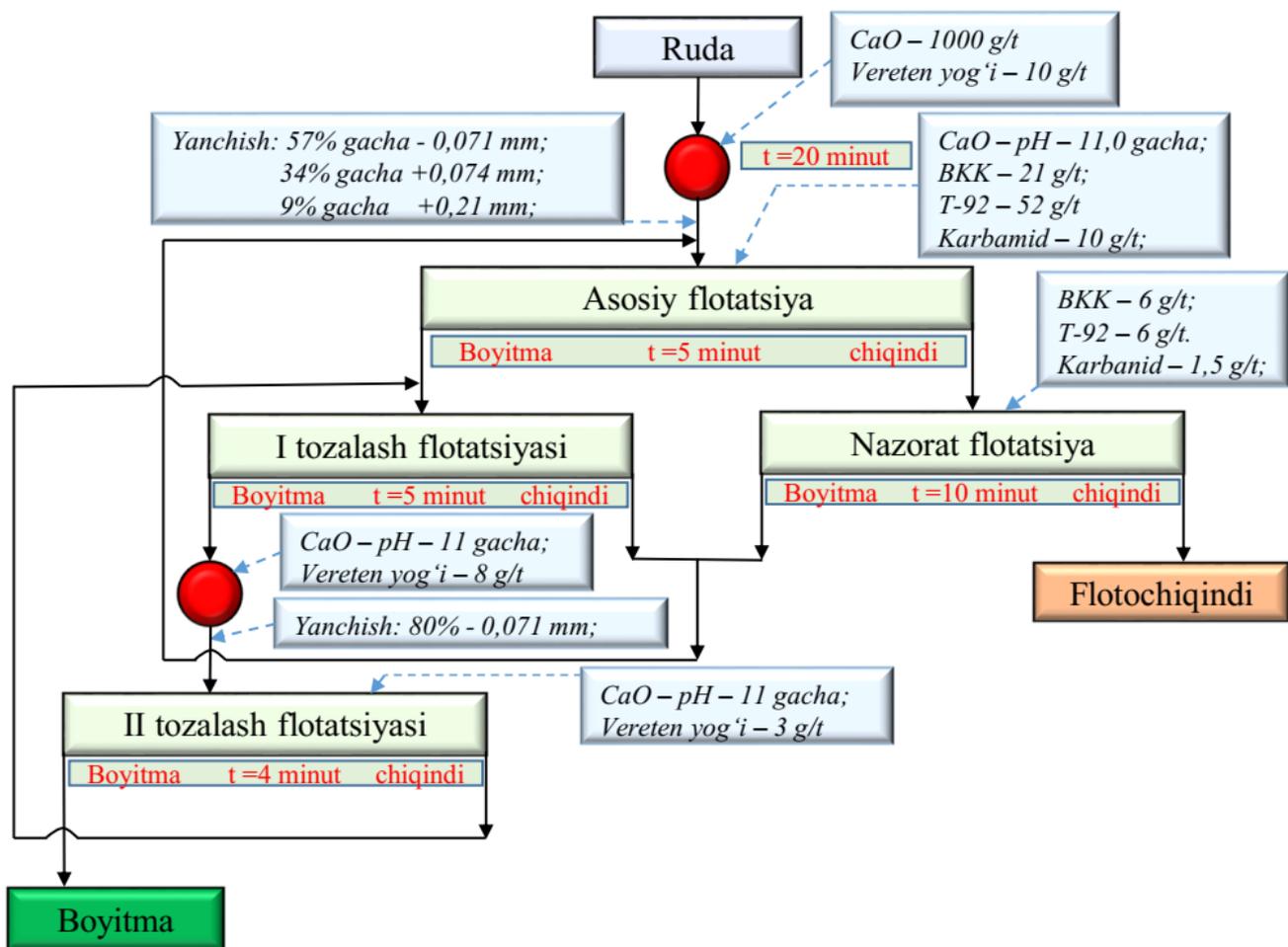


**14-rasm. Sulfidli minerallarni flotatsion qobiliyatini oshirish maqsadida an’anaviy va yangi ixtiro qilingan impellerlarning havo pufakchalarini hosil qilish darajasi (1,2-an’anaviy; 3,4-yangi)**

Flotatsion mashina impellerining aylanish tezligini yuqori darajada amalga oshirmasdan, uning aylanish tezligini normal holatda saqlab, hosil bo‘ladigan havo pufakchalarining o‘lchami impellerning aylanish tezligini yuqori darajada amalga oshirishda hosil bo‘ladigan havo pufakchalari teng o‘lchamda hosil qilish orqali mineral zarrachalarning havo pufakchasidan uzilib qolishining oldi olinadi. Bu orqali boyitish jarayonlarining samarali o‘tkazilishiga va yuqori texnologik ko‘rsatgichlar olinishiga imkon beradi.

Shuningdek, dissertatsiya tadqiqotlari natijalari asosida qabul qilingan usullardan foydalanib, sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitish jarayonini “Olmaliq KMK” tasarrufidagi Mis boyitish fabrikasi texnologik sxemasiga o‘xshash namunaviy sxema bo‘yicha bajarildi (15-rasm). Olib borilgan flotatsiyalash tajribalari asosida

komponentlarning ajralish ko'rsatkichlari bo'yicha mis – 83,84% ni, molibden – 68,77% ga va oltinni – 61,1% ni tashkil etgan.



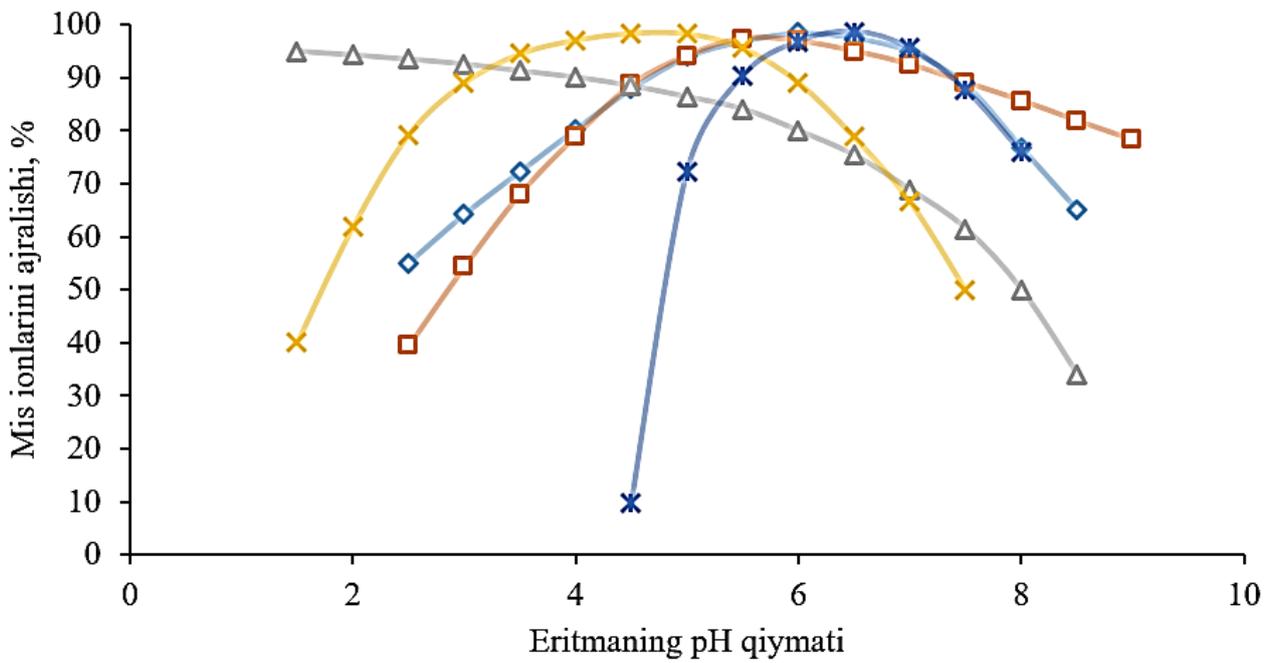
**15-rasm. “Olmaliq KMK” tasarrufidagi Mis boyitish fabrikasi texnologik sxemasiga o‘xshash namunaviy flotatsiyalash sxemasi**

Dissertatsiyaning «Gidrometallurgik qayta ishlash natijasida olinadigan sulfat kislotasi eritmalarida uchraydigan komponentlarni ionli flotatsiyalash jarayonlarining tadqiqi» deb nomlangan beshinchi bobida kam ko'rsatkichli sulfidli rudalarni samarali qayta ishlash uchun uyumda tanlab eritish va eritmadan ajratishda ionli flotatsiya usulini qo'llashga bag'ishlangan.

Tadqiqot obyekti sifatida “Olmaliq KMK” AJning nobalans rudasidan foydalanib tajriba – sinov ishlari olib borilgan.

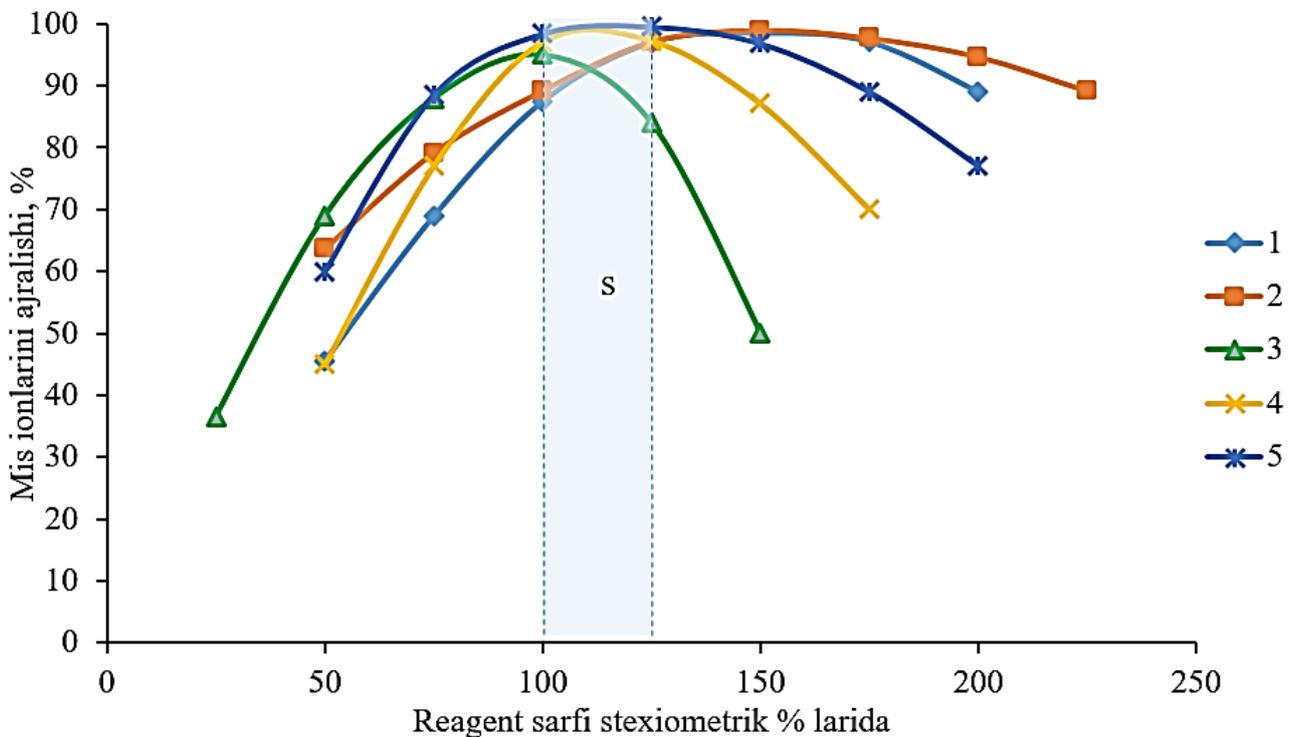
Tanlab eritishdan keyin hosil bo'ladigan sulfat kislotali eritma pH=4,5 ga ega bo'lib, 10 dan 10,5 g/l gacha mis, 5 dan 5,5 g/l gacha, temir, 5 dan 1,5 g/l gacha, rux saqlaydi. Mis, temir va rux eritmada sulfat shaklda ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{ZuSO}_4$ ) uchraydi.

To'plovchi flotoreagent tanlash maqsadida mis ionlarini ko'pikka ajralishini pH ga bog'lig'ligi (16-rasm), to'plovchi flotoragent sarfi (17-rasm) va flotatsiya vaqti (18-rasm) quyidagi to'plovchi flotoreagentlar uchun o'rganildi: amil ksantogenati ( $\text{CH}_3\text{C}_3\text{H}_6\text{OCSSMe}$ ); etil ksantogenati ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{OSMe}$ );  $\text{C}_7 - \text{C}_9$  ksantogenatlari; izopropil ksantogenatlari ( $(\text{CH}_3)_2\text{CHOCSMe}$ ); natriy dietilditiokarbamat ( $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ) yoki DEDTKN).



◆ 1    □ 2    △ 3    × 4    \* 5  
 1-etil; 2- izopropil; 3- amil; 4- $C_7-C_9$ ; 5-DEDTKN.

**16-rasm. Mis ionlarini ksantogenatlar ishtirokida sulfat, sulfat kislota eritmasidan ajratishda muhitning pH qiymatiga bog‘lig‘lik grafigi**



◆ 1    □ 2    △ 3    × 4    \* 5  
 1-etil; 2- izopropil; 3- amil; 4- $C_7-C_9$ ; 5-DEDTKN.

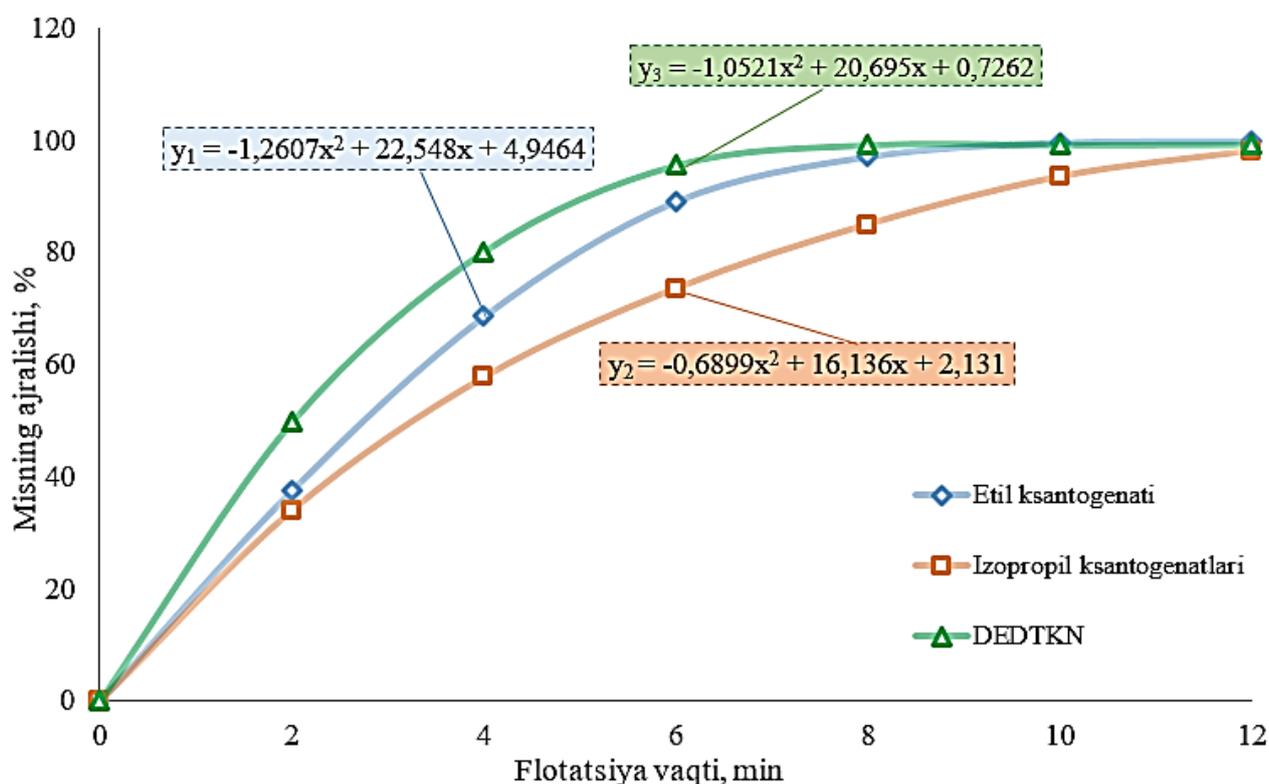
**17-rasm. Mis ionlarini ksantogenatlar ishtirokida sulfat kislota eritmasidan ajralishida to‘plovchi sarfining bog‘lig‘lik grafigi**

Keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra amil ksantogenati bilan ionlarni nisbatan pastroq ajralishi kuzatildi. Yuqori molekulyar birikmalar aralashmasi (C<sub>7</sub> – C<sub>9</sub>) flotatsiyasida suyuq ko'pik hosil qiladi.

Qolgan to'plovchilar mis ionlarining yuqori ajralishida quruq ko'pik hosil qiladi.

Tajriba natijalari barcha o'rganilgan to'plovchi reagentlardan eng samaralisini S yuzadan ko'rish mumkinligi (17-rasm) DEDTKN eng samarali to'plovchi flotoreagent ekanligini ko'rsatdi. Uning optimal sarfi (110% stexiometrik) misning ajralishi 98,4 dan 99,5% gachani tashkil etgan.

Keyingi tajribalar uchun to'plovchi flotoreagentlar sifatida DEDTKN ni tanlash tavsiya qilindi.



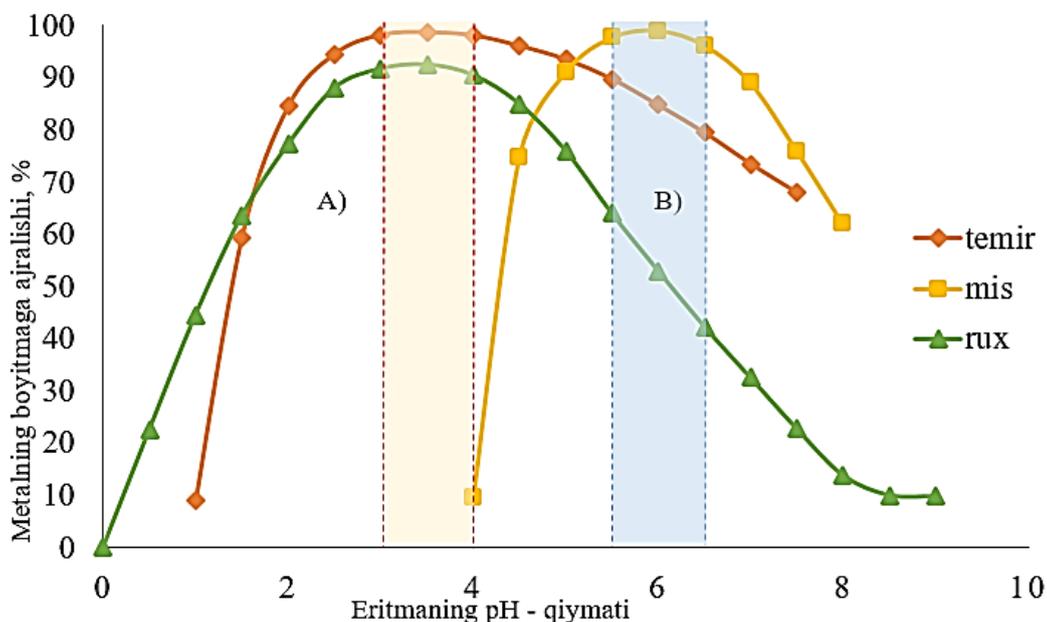
**18-rasm. Mis ionlarini sulfat kislota eritmasidan ajratishda flotatsiyalashning vaqtga bog'liqlik grafigi**

$\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  – ma'lum sirtfaol to'plovchi, u kuchsiz dietilditiokarbonat kislotasining tuzi va flotatsiya jarayonida to'plovchi flotoreagent sifatida ishlatilib, quyidagi afzalliklarga ega ekanligi aniqlangan:

- barcha og'ir metallar bilan nordon muhit uchun pH ning kichik qiymatida mustahkam va yetarli darajadagi barqaror birikma hosil qiladi;
- flotoreagent foydalanishga qulay;
- nisbatan zararsiz (ruxsat etilgan konsentratsiyasi 0,5 mg/dm<sup>3</sup>);
- qisman regeneratsiya qilib ishlatish mumkin;
- narxi ishlatiladigan an'anaviy to'plovchi reagentlarga nisbatan arzon.

O'tkazilgan tajribalar natijalaridan ko'rish mumkinki,  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  ni tarkibida mis bo'lgan rudalarni gidrometallurgik qayta ishlash natijasida olinadigan sulfat kislotasi eritmalaridan misni ionli flotatsiya usulida ajratib olish imkoniyati

borligi ko'rsatib berilgan (19-rasm). Eritmadan misni ajratib olish jarayonlarida pH-ning ma'lum (B) chegarasida (5,5 – 6,5) sodir bo'lishi aniqlangan.



**19-rasm. Metallarni mahsulotlarga ajralishidagi muhitning pH-ga bog'lig'lik grafigi**

Ionli flotatsiyada to'plovchi reagent har qaysi ajratuvchi ion bilan ta'sirlanadi. Shuning uchun to'plovchi reagentlarning sarfi minerallarning flotatsiyalanishiga nisbatan yuqori. Ionlarni flotatsiyalashda metallarni to'liq ajratib olish uchun juda bo'lmasa, to'plovchi flotoreagentlarning stexiometrik sarfi zarur.

Ko'pchilik hollarda ion va molekullarni flotatsiyalash uchun suyuqlik – gaz fazalararo yuzani hosil qilishda gaz inert faza sifatida ishlatiladi. Shu maqsadda laboratoriya tajribalarida azot yoki havodan foydalaniladi. Bizning tajribalarda havodan foydalanildi.

Olib borilgan tajribalar asosida gaz sarfini ortishi bilan pastki mahsulotlarning konsentratsiyasi pasayib, yuqori mahsulotlarni ajralishining ortishi aniqlandi. Ionli flotatsiyada gaz sarfining ortishi flotatsiyalashda qatlam balandligining ortishi bilan bog'liq. Biroq ba'zi ko'piklar shunchalik beqarorki u to'g'ridan-to'g'ri eritmaning yuzasida hosil bo'ladi. Bunday hollarda gazning yuqori sarfida sirt yuzasining tarangligi yuqori bo'lganda ko'pikning parchalanib zarrachalarning eritmaga qaytish xavfi mavjud. Bundan tashqari havo oqimining tezligi ham ko'pik barqarorligiga ta'sir ko'rsatadi. Ko'pik qatlamining yetarli qalinligini saqlash uchun gaz oqimining tezligi ko'pikning parchalanish tezligidan birozgina yuqori bo'lishi kerak.

Alohida metallarning chiqishida nobudgarchilik  $0 \div 1,7\%$  gacha, barcha metallarning nobudgarchiligi esa  $1\%$  dan ortmaydi.

Turli to'plovchilar ishtirokida mis ionlarining sulfat kislotasi eritmalarida flotatsiyalanishining optimal tartibi aniqlanganda natriy dietilditiokarbamat ( $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ) ni pH=6 ko'rsatkichda qo'llanilganda, to'plovchi flotoreagentning stexiometrik sarfi  $110\%$  ni, flotatsiyalanish vaqti 10 minutda mis komponentining ajralish ko'rsatkichi  $98,4 \div 99,5\%$  gacha ekanligi qayd qilingan.

## XULOSA

“Sulfidli minerallarni flotatsiyalash jarayonlarini takomillashtirish usullari va ilmiy asoslarini ishlab chiqish” mavzusidagi texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Respublikamizdagi boyitish fabrikalarida qo‘llaniladigan flotoreagentlar tarkibi o‘rganilib asosan to‘plovchi flotoreagentlarni flotatsiyalash amaliyotlarida ularning ta‘sirlashish imkoniyatlaridan to‘laqonli foydalanilmayotganligi aniqlangan. Shuningdek, kimyoviy mahkamlangan ksantogenat qatlami yuzani kuchsiz gidrofoblaydi, natijada flotatsiya jadal kechmasligi aniqlangan.

2. Sinov-tajriba doirasida BKKi va BDKi bilan asosiy sulfidli minerallarni sorbsiyalanish darajasini taqoslanib galenit (PbS), xalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) va sfalerit ( $\text{ZnS}$ ) mineralari bilan olib borilgan sinov tajribalarida, BDK, BKKiga nisbatan tezroq va yaxshiroq darajada sorbsiyalanishi kuzatilgan. Pirit ( $\text{FeS}_2$ ) mineralida ushbu jarayonning teskarisi mavjudligi aniqlangan.

3. Flokulyantlar sifatida akril kislotasi va poliakriamidning suvda eruvchan sopolimeri reagentlar ichida sulfidli minerallarni to‘plovchisi sifatida tavsiya qilingan, shuningdek, BKKining akril kislotasi va poliakriamidning suvda eruvchan sopolimeri bilan aralashmasidan reagentning tarkibida ma‘lum miqdorda funksional guruhlarning mavjudligi, zarrachalarning ipsimon tuzilishi, zaryadi, suvda yaxshi eruvchanligi ushbu sopolimerini flotatsiyadan oldin sulfidlarning flokulyatsiyalanishiga olib kelganligi tufayli xalkopirit, pirit va arsenopiritni flotatsiyalanishining barqarorligi aniqlangan.

4. To‘plovchi va muhit yaratuvchilar aralashmasidan foydalanish tufayli to‘plovchi reagent sarfini kamaytirish va flotatsiyalash darajasini oshirish mumkinligi ko‘rsatib berilgan.

5. Mis boyitish fabrikasida ishlatiladigan to‘plovchi flotoreagent BKK eritmalarini elektrokimyoviy ishlov berib qo‘llash orqali, foydali komponentlarning asosiy texnologik ko‘rsatkichlari hisoblangan metallarninig sulfidli rudadan ajralishi mos ravishda mis – 1,57%, molibden – 1,13% va oltin – 2,7% ga oshirilishiga erishildi;

6. Flotatsiya usulidagi boyitish jarayonlarida mexanik flotatsiya mashinasining an‘anaviy impelleri bilan hosil qilinadigan pufakchalar hajmining an‘anaviy ishlatilib kelinayotgan impellerga nisbatan 25% dan 35% gacha kichrayishiga erishilganligi qayd etilgan.

7. Ionli flotatsiyada to‘plovchi flotoreagent sifatida  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  ni qo‘llash orqali misni eritmadan 98,4 ÷ 99,5% ajratib olishga erishilgan chunki, misning ikki zaryadli ionga egaligi tufayli oson qayta ishlanadigan ko‘pik hosil qiluvchi element hisoblanadi. To‘plovchi flotoreagentning sarfi 50 mg/1 g ni tashkil etgan holda ruxning pH-ni sozlash orqali 98,2 ÷ 98,7% temir, 91,7 ÷ 92,5% va 98,2 ÷ 98,7% mis ajratib olishga erishildi.

8. O‘tkazilgan tajribalar natijalariga ko‘ra  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  ni misli rudalarni gidrometallurgik qayta ishlash natijasida olinadigan sulfat kislotasi eritmalaridan misni ionli flotatsiya usulida ajratib olish imkoniyati borligi hamda eritmadan misni ajratib olish jarayonlarida pH-ning 5,5 – 6,5 chegarasida sodir bo‘lishi aniqlangan.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/05.05.2023.К/Т.35.02  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ  
ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**МАХМАРЕЖАБОВ ДИЛМУРОД БАХТИЯРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И НАУЧНЫХ ОСНОВ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ  
МИНЕРАЛОВ**

**02.00.19 – Химическая технология редких, благородных и радиоактивных  
элементов**

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

**Ташкент – 2025**

Тема диссертации доктора наука (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2024.3.DSc/T820.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете им. Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета [www.iopx.uz](http://www.iopx.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу [www.ziyoonet.uz](http://www.ziyoonet.uz).

**Научный консультант**

**Маткаримов Сохибжон Турдалевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Самадов Алишер Усманович**  
доктор технических наук, профессор

**Шарафутдинов Улугбек Зиятович**  
доктор технических наук, профессор

**Расулова Ситорабону Нормуродовна**  
доктор химических наук

**Ведущая организация:**

**Навоийский государственный горно-технологический университет**

Защита состоится «9» апреля 2025 г. в «14<sup>00</sup>» часов на заседании разового Научного совета DSc.02/05.05.2023.K/T.35.02 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: [iopx@academy.uz](mailto:iopx@academy.uz)

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за № 64, 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 «26» марта 2025 года.

(протокол рассылки № 64 от «26» марта 2025 г.)



**Н.Х. Усанбаев**

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

**Ж.С. Шукуров**

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

**Ш.С. Намазов**

Председатель разового научного семинара при разовом научном совете по присуждению ученых степеней, д.х.н., проф., академик

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Узбекистан является одной из ведущих стран среди государств мира в области химико-технологической переработки и извлечения драгоценных металлов из сульфидных минералов. С ростом производства сокращаются запасы легко обогатимых сульфидных руд с высоким содержанием, полезного компонента, растет спрос на переработку трудно обогатимых сульфидных руд для промышленного производства. В настоящее время сырье из разведанных запасов сульфидных руд, содержащих редкие, редкоземельные и радиоактивные металлы, включает золото, серебро, медь, молибден и другие полезные компоненты в низких концентрациях. Особенно важно, что частицы драгоценных металлов, таких как золото, находятся в структурно неоднородной форме и для их извлечения используются импортируемые реагенты. Присутствие различных вредных примесей в составе руд снижает качество конечного концентрата и увеличивает себестоимость продукции, что является актуальной проблемой горнорудной отрасли. Поэтому совершенствование процессов флотации сульфидных минералов имеет важное научное и практическое значение.

В мире проводятся многочисленные научные исследования по совершенствованию технологических схем обогащения и химической переработки руд, содержащих редкие, редкоземельные и радиоактивные металлы, а также по формированию новых экономичных, технологических и технических решений с целью повышения эффективности переработки минерального сырья. Несмотря на достигнутые успехи в области обогащения трудных для переработки сульфидных руд, особое внимание уделяется активированию реагентов и созданию технологий обогащения с использованием реагентов, получаемых от отечественных производителей.

В нашей республике достигнуты значительные научно-практические результаты в области разработки технологий обогащения сульфидных руд с использованием традиционных и новых отечественных реагентов. В частности, важное значение имеют научные исследования, направленные на разработку новых методов совершенствования процессов флотации сульфидных минералов Медной обогатительной фабрики АО «Алмалыкский ГМК». В Указе Президента Республики Узбекистан определены такие важные задачи, как «эффективное использование местной сырьевой базы и развитие промышленности на основе передовых технологий»<sup>3</sup>. В связи с этим важное значение приобретают исследования, направленные на повышение активности флотореагентов, применяемых при переработке трудно обогатимых сульфидных руд, а также на разработку технологий, позволяющих применять усовершенствованные методы процессов флотации и переработки руд, содержащих редкие, редкоземельные и радиоактивные металлы.

---

<sup>3</sup> О стратегии «Узбекистан – 2030» — Указ Президента Республики Узбекистан № PF-158 от 11 августа 2023 года

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики №УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлением №ПП-5159 от 24 июня 2021 года «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных отраслей», Постановлением № ПП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургического комплекса», а также других нормативно-правовых документов, касающихся данной сферы деятельности.

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

### **Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>2</sup>**

Научные исследования по совершенствованию флотационных процессов обогащения полезных ископаемых проводятся ведущими научными центрами и высшими учебными заведениями мира, включая University of California, Montana Technological University (США), Central South University (Китай), University of Toronto (Канада), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (Австралия), Карагандинский государственный технический университет (Казахстан), Санкт-Петербургский горный университет, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (Россия) и другими научно-исследовательскими учреждениями.

В результате исследований по созданию методов совершенствования процессов флотации сульфидных минералов и разработке эффективных технологий в мире был получен ряд научных результатов, в том числе разработка эффективных технологий флотации и переработки полезных ископаемых (University of California (США); выявлены закономерности реакции сульфидных минералов с химическими флотореагентами (Montana School of Mines (США); разработаны современные технологии флотации сульфидных минералов (Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (Россия) и (Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (Австралия); созданы методы электрохимической обработки сульфидных минералов в процессе флотации (Central South University (Китай); установлены процесс флотация минералов и протекание поверхностных реакций с реагентами (University of Toronto (Канада); разработаны электрохимические и флотационные методы сульфидных минералов (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Австралия).

В мире ведутся научные исследования по совершенствованию процессов флотации сульфидных минералов по следующим приоритетным направлениям,

---

<sup>2</sup>Обзор зарубежных исследований по теме диссертации разработано на основе <https://www.universityofcalifornia.edu/impact/education>, <https://www.mtech.edu/>, <https://en.csu.edu.cn/>, <https://future.utoronto.ca>, <https://www.csiro.au/>, <https://kgiu.kz/?lang=en>, <https://mggu.ru/>, <https://misis.ru/>, <https://www.istu.edu/>, <https://spmi.ru/>, <https://smi.uq.edu.au/jkmrc> и других источников.

в том числе: повышение эффективности разделения путем оптимизации химических и физических параметров процесса обогащения методом флотации, изучение возможностей разработки и применения новых флотационных реагентов, повышение эффективности флотационного процесса путем внедрения передовых технологий, сокращение энергопотребления в процессе флотации и применение ресурсосберегающих методов, обеспечение эффективного использования химических флотореагентов и природных ресурсов, практическое совершенствование флотационных процессов и их внедрение в промышленность, увеличение стоимости продукции и обеспечение конкурентоспособности на рынке за счет получения высококачественных концентратов.

**Степень изученности проблемы.** В научно-технической литературе приведены результаты научных исследований по совершенствованию процессов флотации и созданию технологии обогащения сульфидных руд, содержащих редкие, благородные и радиоактивные металлы следующих авторов: А.А. Абрамова, В.А.Чантурия, В.М.Авдохина, J.R.Roos, J.P.Celis, A.S.Sударsono, В.Е.Вигдергауз, Н.Г.Ягодкина, И.Н.Кузнецова, Е.А.Шрадера; по разработке новых экономически и ресурсосберегающих флотореагентов для флотации сульфидных руд и изучению физико-химического воздействия их на минералы: J.M.Cases, A.N.Buckley, R.Wood, B.P.Singh, Е.Д.Кривелевой, В.А.Конева, J.Lekki, Т.Хмелевского, P.Nowak, J.Leja, L.H.Little, G.W.Polling, O.C.Богданова, А.М.Голмана, И.А.Каковского, И.С.Максимова. В трудах этих авторов приведены рекомендации по совершенствованию технологии флотации сульфидных руд в горно-металлургической промышленности и приведен синтез различных реагентов с целью повышения эффективности флотации.

В нашей республике по обеспечению ресурсосбережения при обогащении сульфидных руд, а также по повышению эффективности и достоверности на основе совершенствования технологии обогащения и гидрометаллургической переработки проведены научные исследования и получен ряд эффективных результатов следующими учеными: А.Степанов, А.А.Юсуфходжаев, М.М.Якубов, С.Р.Худояров, К.С.Санакулов, У.А.Эргашев, А.С.Хасанов, С.Т.Маткаримов, И.К.Умарова, Х.Ахмедов и другие.

Несмотря на достигнутые научные результаты в области совершенствования процессов флотации сульфидных минералов, существует еще много нерешенных проблем. В частности, недостаточно изучены возможности замены применяемых традиционных реагентов (в основном собирательного характера) реагентами местного производства, активизация связанных методов, а также способов совершенствования оптимальных технологий обогащения и переработки.

**Связь диссертационного исследования с тематическими планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках Узбекско-Китайской совместного прикладного проекта по теме AL-592102410 «Исследование эффективной технологии и оборудования для кондиционирования минералов при флотации на основе межфазных микро-/нано

пузырьковых групп» (2022-2024), планов научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова

**Целью исследования** является разработка научных основ повышения эффективности извлечения цветных и редких металлических компонентов путем совершенствования методов флотации совершенствования флотации сульфидных минералов.

**Задачи исследования:**

аналитический анализ существующих технологий и свойств процессов флотации сульфидных минералов;

исследование свойств и вещественного состава сульфидных руд, а также процессов флотации;

изучение структуры, фракционного и гранулометрического состава минералов при обогащении сульфидных руд методом флотации;

исследование обогатимости сульфидных минералов на основе анализа технологической классификации сульфидных руд;

выбор технологических режимов с применением смеси бутила ксантогената калия и водорастворимых полимеров путем применения флокулянтов сульфидных минералов;

разработка технологических режимов извлечения редких и благородных металлов методом ионной флотации с использованием растворов серной кислоты и присутствия ксантогенатов;

совершенствование методов повышения активности флотационных реагентов путем применения различных методов обогащения сульфидных минералов;

определение показателей технико-экономической эффективности с применением методов совершенствования процессов флотации на основе результатов исследований и предложение эффективной технологической схемы переработки сульфидных минералов.

**Объектом исследования** являются сульфидные руды содержащие компоненты цветных и благородных металлов, из месторождений, находящихся в ведении АО «Алмалыкский ГМК», традиционные собиратели флотореагенты, бутил ксантогенат калия (БКК) и сульфатная кислота.

**Предметом исследования** являются методы ведения процессов флотации сульфидных руд различными флокулянтами, процессы электрохимической активации бутила ксантогената калия, повышение эффективности извлечения цветных и благородных металлических компонентов с использованием возможностей обеспечения стабильности пузырьков воздуха, образующихся в процессах флотационного обогащения.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использованы методы современного физико-химического анализа, ИК-спектроскопия, рентгенофазовая (РФТ), атомно-сорбционная спектроскопия и сканерная электронная микроскопия (СЭМ), методы математической обработки результатов полученных рациональным, гранулометрическим, минералогическим и другими способами.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:

научно обосновано, что смесь водорастворимого полимера и поверхностно-активных веществ является эффективным флокулянт-сульфидов, содержащих компоненты меди, свинца и цинка;

установлено, что водорастворимые полимеры с нерегулярной структурой и частицы гетерополярных поверхностно-активных веществ в водных растворах не образуют химических соединений друг с другом;

в результате применения водорастворимого сополимера акриловой кислоты и полиакриамида в качестве флокулянта сульфидных минералов перед процессами флотации в сочетании с традиционным флотореагентом-собирателем (БКК) доказано повышение технологических показателей основных компонентов;

разработана технология снижения расхода флотореагентов-собирателей в процессе обогащения сульфидных руд методом флотации за счет их совместного использования среды с регулирующими реагентами;

разработан способ электрохимической активации флотореагента-собирателя, бутилового ксантогената калия в условиях применения в обогащении сульфидных руд методом флотации;

установлено, что сохранение стабильности воздушных пузырьков, образующихся в процессе флотационного обогащения, предотвращает осадкообразование и способствует повышению технологических показателей;

разработаны математические модели зависимости образования диксантогенидов при электрохимической активации раствора ксантогената на основе линейной комбинации, мультипликативных, нелинейных, экспоненциальных и дифференциальных уравнений;

определено, что в процессах флотационного обогащения сульфидных минералов положительное влияние на динамику обогащения оказывает уменьшение объема пузырьков, образующихся при сравнении в тех же условиях вновь предложенного импеллера механической флотационной машины на 25-35% по сравнению с объемом традиционного используемого импеллера;

выявлено, что использование  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  в качестве флотореагента-собирателя в ионной флотации способствует повышению технологических показателей основных компонентов.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

усовершенствованы методы повышения уровня флотации за счет оптимизации расхода собирательного реагента с использованием смеси собирателя и регуляторов среды;

определена степень взаимодействия частиц гетерополярных поверхностно-активных веществ в водных растворах с водорастворимыми полимерами с неупорядоченной структурой;

разработаны методы электрохимической активации химических реагентов, используемых для обогащения методом флотации и предложена эффективная технологическая схема комплексной переработки сульфидных руд;

в процессе обогащения методом флотации разработан новый тип импеллера для механической флотационной машины, а также метод применения  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  в качестве собирающего флотореагента в ионной флотации;

**Достоверность результатов исследования.** Результаты современных химических и физико-химических методов анализа, а также методы совершенствования процессов флотации сульфидных минералов подтверждены испытаниями, проведенными на медно-обогатительной фабрике, входящей в состав АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат».

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научное значение результатов исследования заключается в использовании водорастворимого сополимера акриловой кислоты и полиакриламида в качестве флокулянта при флотации сульфидных руд, электрохимической активации бутилового ксантогената калия для повышения его активности по отношению к сульфидным минералам, а также в обеспечении стабильности воздушных пузырьков, образующихся в процессе флотации, и предотвращении вспенивания пульпы.

Практическое значение результатов исследования состоит в том, что усовершенствованные методы, такие как использование водорастворимого сополимера акриловой кислоты и полиакриламида в качестве флокулянта для улучшения флотационных свойств собирательных реагентов, электрохимическая активация бутилового ксантогената калия в устройстве для электрохимической активации, а также обеспечение стабильности воздушных пузырьков в процессе флотации и предотвращение вспенивания пульпы, способствуют повышению эффективности процессов флотации сульфидных минералов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов по улучшению процессов флотации сульфидных минералов:

метод электрохимической активации бутил-ксантогената калия, используемого как собирательный флотореагент в процессе обогащения сульфидных руд методом флотации, был внедрён на Меднообогатительной фабрике АО «Алмалыкский ГМК» (Справка №SL-004500 от 17 сентября 2024 года). В результате чего достигнуто повышение показателей извлечения меди на  $-0,81\%$ , молибдена – на  $0,72\%$  и золота – на  $1,11\%$  в составе полученного флотационного концентрата.

вместо импеллера механической флотационной машины, используемого в процессе обогащения методом флотации, был внедрён новый тип импеллера на Меднообогатительной фабрике АО «Алмалыкский ГМК» (Справка №SL-004500 от 17 сентября 2024 года). В результате удалось повысить стабильность удержания воздушных пузырьков на  $20\%$  по сравнению с традиционным импеллером.

внедрение комбинации метода электрохимической активации бутил-ксантогената калия с использованием нового типа импеллера вместо импеллера механической флотационной машины в процессе обогащения сульфидных руд на Меднообогатительной фабрике АО «Алмалыкский ГМК» (Справка №SL-004500 от 17 сентября 2024 года) позволило повысить показатели извлечения

меди на 1,37%, молибдена – на 1,06% и золота – на 2,21% в составе флотационного концентрата.

метод использования  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  в качестве собирательного флотореагента в ионной флотации внедрён в АО «Алмалыкский ГМК» (Справка №SL-004500 от 17 сентября 2024 года). В результате удалось повысить показатели извлечения меди из раствора до 98,4 ÷ 99,5%.

внедрение метода использования водорастворимого сополимера акриловой кислоты и полиакриламида в качестве флокулянта сульфидов перед процессом флотации в сочетании с традиционным собирательным флотореагентом внедрено в АО «Алмалыкский ГМК» (Справка №SL-004500 от 17 сентября 2024 года). В результате показатели извлечения меди повысились на 0,85%, молибдена – на 0,7% и золота – на 1,21%.

метод совместного использования собирательных и регулирующих среду флотореагентов в процессе обогащения сульфидных руд методом флотации внедрён на Меднобогатительной фабрике АО «Алмалыкский ГМК» (Справка №SL-004500 от 17 сентября 2024 года). В результате расход собирательного реагента удалось сократить на 0,4 ÷ 1,0%.

**Апробация результатов исследования.** В рамках настоящего диссертационного исследования результаты были представлены в общей сложности на 16 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях и симпозиумах, где они были доложены и апробированы.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 36 научных работ, среди которых имеется 1 патент на полезную модель, 13 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 5 статей в республиканских изданиях и 8 статей в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 180 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность проведенного исследования, сформулированы цель и задачи исследования, описаны объект и предмет исследования, показана связь исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики. Изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыто научное и практическое значение полученных результатов, приведено применение результатов исследования на практике, опубликованные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ научных исследований, проводимых в области совершенствования процессов флотации сульфидных минералов**», рассматривается анализ современных литературных источников, охватывающих тенденции переработки сульфидных руд, а также текущее состояние методов обогащения и переработки сульфидных минералов.

Проведен углубленный анализ применяемых новых технологий. Изучена практика совместного использования собирательных реагентов при флотации сульфидных руд на обогатительных фабриках различных стран мира, благодаря которой существует возможность повышения извлечения основных полезных компонентов из-за разнообразия свойств руды по сравнению с использованием отдельных собирательных реагентов.

Многочисленные исследования взаимодействия сульфидных минералов с ксантогенатами показывают, что определяющее значение для гидрофобизации минералов остается невыясненным. Кроме того, исследования применения бутилового ксантогената калия (БКК) в качестве основного собирательного реагента на обогатительных фабриках Республики показали, что потенциал взаимодействия собирательных реагентов в процессе флотации не используется в полной мере. Таким образом, цель и задачи исследования определены как поиск реагентов, совместимых для взаимного использования в процессе флотации, и разработка технологии переработки.

Во второй главе диссертации «**Выбор объектов, методики исследования свойств а также материального состава сульфидных минералов**», изучены физико-химические свойства, материальный состав и методы исследования сульфидных минералов в исследуемых объектах. Также разработаны методы и методики исследования электрохимической обработки ксантогенатного раствора, который является основным собирательным реагентом в процессе обогащения сульфидных минералов флотацией.

Эта глава представлена методическая часть работы, включая методы изучения свойств объектов исследования. В рамках исследования проведены лабораторные эксперименты и опытно-промышленные испытания; выполнены гранулометрический анализ, электронная микроскопия, пробирный анализ, химические и фазовые методы анализа, рентгенофазовый анализ, фотометрические анализы. Результаты химического анализа приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

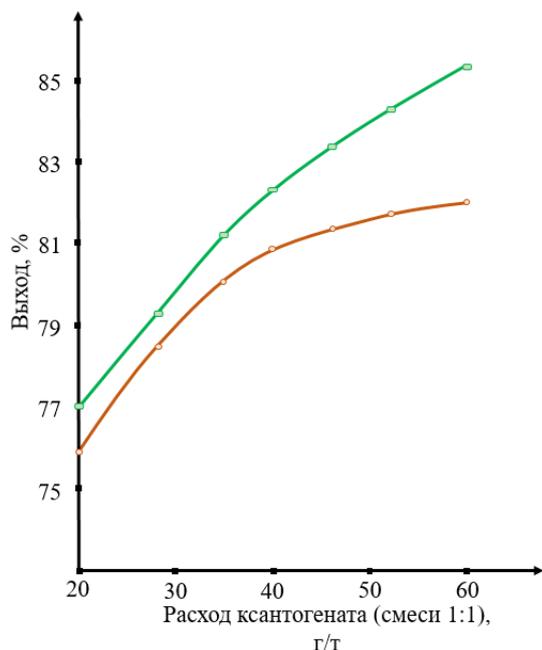
**Химический состав пробы руды**

Элементы, компоненты	Содержание, %		Элементы, компоненты	Содержание, %	
	Ешлик I	Кальмакыр		Ешлик I	Кальмакыр
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
SiO <sub>2</sub>	53,77	57,92	Zn	0,024	0,031
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,42	13,24	Pb	0,014	0,022
MgO	5,57	5,2	Co	0,0029	0,0017
CaO	4,78	3,8	As	<0,0005	0,0015
K <sub>2</sub> O	3,32	2,41	Ba	0,045	0,05
Na <sub>2</sub> O	2,22	<0,7	Mo	0,0054	0,005
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,38	Sr	0,049	0,0097
MnO	0,13	0,19	Ni	0,002	<0,0010
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,2	<0,1	Se, г/т	1,75	-
C <sub>общ.</sub>	0,25	<0,5	Te, г/т	0,5	<0,1

1	2	3	4	5	6
CO <sub>2</sub>	0,92	<1	Ir, г/т	<0,003	<0,002
Fe <sub>общ.</sub>	5,77	6,17	Os, г/т	<0,002	<0,003
Fe <sub>сульфид</sub>	0,92	2,67	In, г/т	0,077	0,31
Fe <sub>в оксидах</sub>	4,85	3,5	Re, г/т	0,179	0,195
S <sub>общ.</sub>	1,45	3,1	Li, г/т	64,06	12,77
S <sub>сульфид</sub>	0,7	<0,25	Au, г/т	0,52	0,69
Cu <sub>общ.</sub>	0,423	0,38	Ag, г/т	1,05	2,07

Согласно аналитическим данным, представленным в таблице 1, химический состав руды включает 83,94-86,82% литофильных компонентов. Наиболее распространённым компонентом является оксид кремния, доля которого составляет 53,77-57,92%. Кроме того, содержание оксида алюминия (III) составляет 13,24-16,42%, а общая доля щелочных и щелочноземельных металлов — 12,3-16,02%. Содержание углерода достигает 0,25-0,5%. Среди ценных компонентов присутствуют Cu – 0,38-0,42%, Mo – 0,005-0,0054%, Au – 0,52-0,69 г/т и Ag – 1,05-2,07 г/т, что свидетельствует о наличии ряда ценных металлов. Установлено, что микронные размеры золотых частиц и их связь с пиритом и арсенопиритом препятствуют выделению золота в отдельный концентрат.

В третьей главе диссертации «**Теоретические основы и разработка методов повышения флотационной способности сульфидных минералов с использованием ионогенных поверхностно-активных веществ водорастворимых полимеров**», экспериментально исследовано, что смесь водорастворимого полимера и поверхностно-активных веществ является эффективным флокулянт для сульфидов, содержащих компоненты меди, молибдена, золота, свинца и цинка (Рис.1).



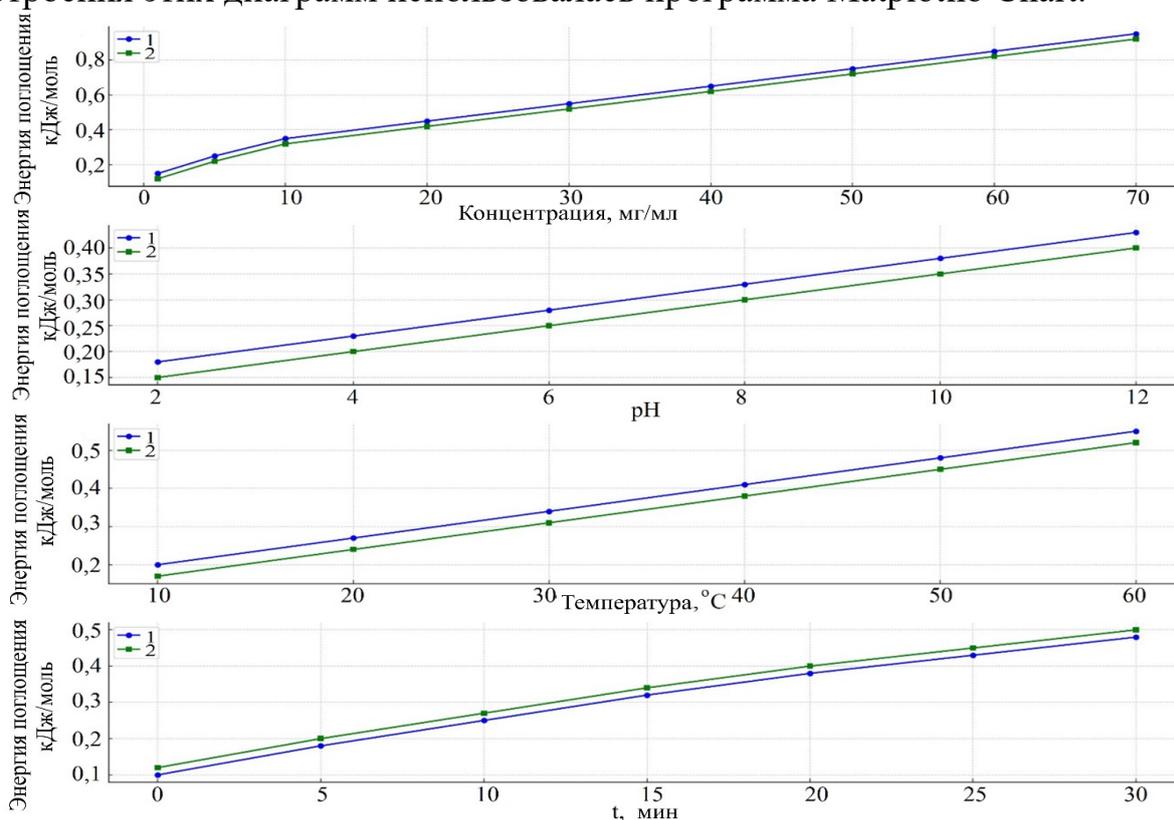
1 – ксантогенат; 2 – ксантогенат - сополимер акриловой кислоты и полиакриламида, растворимый в воде, в соотношении 1:1.

**Рис. 1. Флотация сфалерита с использованием ксантогената и смеси ксантогената с реагентами, регулирующими среду**

Сфалерит, подобно галениту, интенсивно флокулируется в смеси собирателей и регуляторов среды. При использовании смеси реагентов собирателей и регуляторов среды флотация улучшается, а расход собирателя снижается (Рис. 1).

Применение смеси собирателей и регуляторов среды позволяет значительно сократить расход собирателя и повысить уровень флотации. Кроме того, было изучено взаимодействие частиц гетерополярных поверхностно-активных веществ с водорастворимыми полимерами с неупорядоченной структурой в водных растворах. Установлено, что данные вещества не образуют между собой химических соединений.

Исследован механизм взаимодействия некоторых водорастворимых полимеров (с добавками гетерополярных функциональных групп) с частями молекул ионогенных поверхностно-активных веществ, использовались калиевая соль бутилксантогената в качестве поверхностно-активного вещества и такие добавки, как жидкое стекло, кальциевая соль лигносульфоновой кислоты, пирокатехин, гваякол, ванилин, 4-окси-3-метоксифенил-пропанол-1, коричневый альдегид, новая растворимая смола. Концентрация поверхностно-активных веществ и добавок в растворах варьировалась от 1 до 70 мг/мл. Спектры поглощения калиевого бутилксантогената и жидкого стекла представлены на рисунке 2. Были проанализированы энергия поглощения БКК и жидкого стекла в зависимости от различных концентраций, pH и температуры (Рис. 2). Для построения этих диаграмм использовалась программа Matplotlib Chart.



**Рис. 2. График зависимости энергии поглощения бутилового ксантогената калия (1) и жидкого стекла (2) на сульфидных минералах от концентрации растворов, значения pH, температуры и времени**

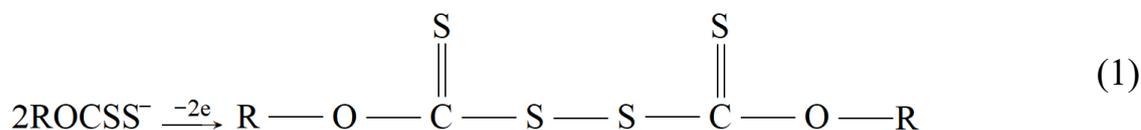
В процессе адсорбции молекулы поверхностно-активного вещества (ПАВ) в высокой концентрации оказывают большее воздействие на поверхность минералов, что требует больше энергии. Обычно, с увеличением концентрации возрастает и энергия адсорбции, поскольку в процессе участвует большее

количество молекул. Согласно полученным аналитическим результатам, было установлено, что частицы поверхностно-активных веществ образуют ассоциации, подобные частицам воды и полимеров.

В четвертой главе диссертации **«Научные основы повышения активности процессов флотации сульфидных минералов»**, представлены результаты исследований по повышению эффективности использования процесса флотации на обогатительных предприятиях. Особое внимание уделено активации дорогого флотореагента — бутилового ксантогената калия, а также предотвращению осаждения пульпы за счет сохранения стабильности воздушных пузырьков, образующихся в процессе обогащения методом флотации, что способствует улучшению технологических показателей.

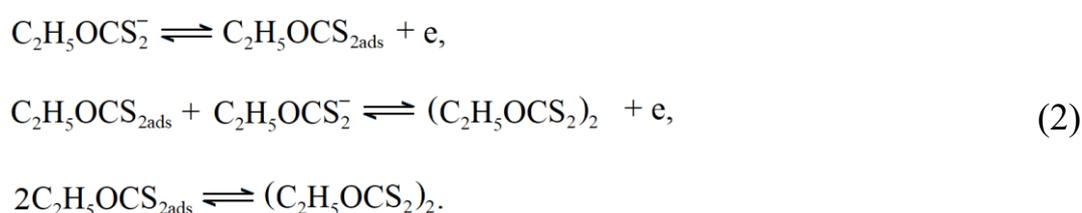
Установлено, что при электрохимической обработке растворов флотореагентов величина потенциала выделения таких элементов, как водород на катоде и кислород на аноде, прямо пропорциональна диапазону силы и напряжения электрического тока, который может быть применен для электрохимической обработки водных растворов флотореагентов. На основе предварительных опытов обработки растворов флотореагентов считается целесообразным проводить электрохимическую обработку флотореагентов на этапе, следующем за приготовлением их раствора.

В результате электрохимической димеризации бутилового и других ксантогенатов образуются диалкил-дисксантогениды, однако четкий порядок выполнения процесса пока не разработан. Реакция на аноде протекает согласно уравнению (1):



потенциал протекания анодной реакции не зависит от значения pH среды.

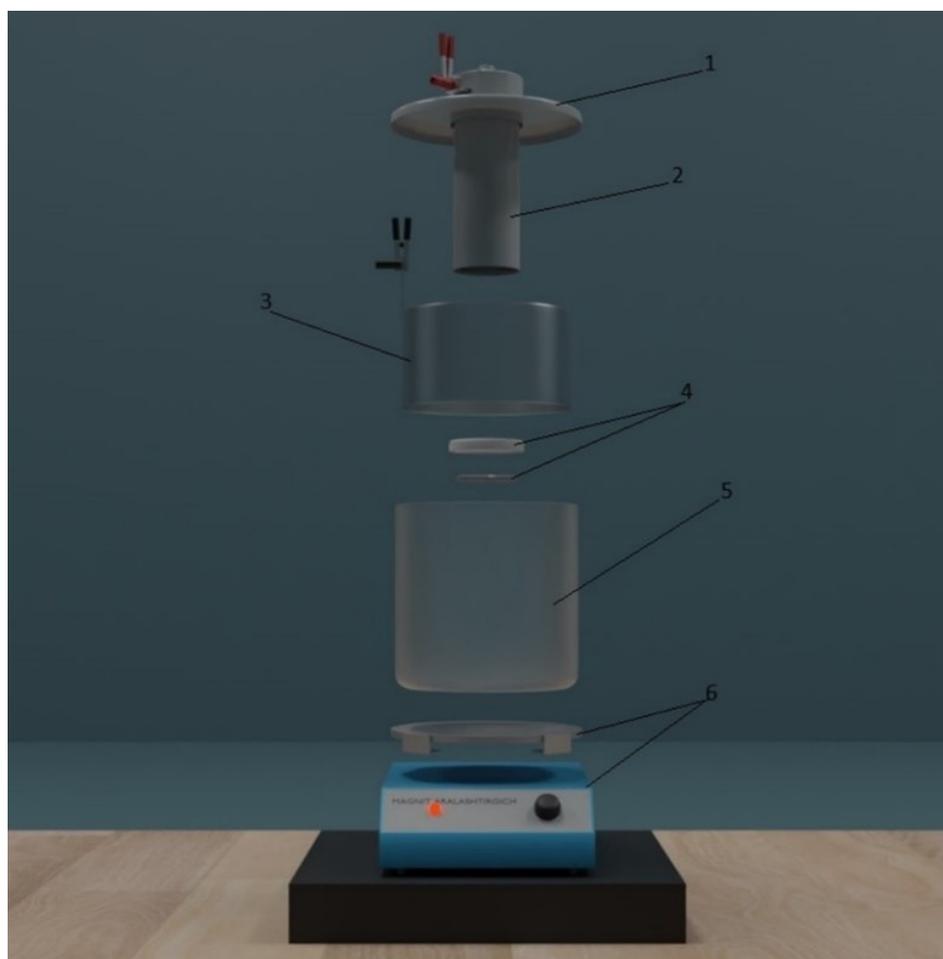
Кроме того в процессах анодного окисления этилксантогената на платиновых, золотых медных и галенитовых электродах его окисление до дисксантогенида определяется через адсорбированные радикалы ксантогената (2):



Согласно результатам научных лабораторных исследований, ксантогенат может многократно адсорбироваться и десорбироваться в диапазоне от  $-0,67$  до  $0$  В. Для проведения экспериментов по электрохимической обработке растворов флотореагентов было создано специальное устройство, состоящее из ячейки, магнитной мешалки и источника управления электрическим током (Рис. 3 и 4), которое получило название установки для электрохимической активации ксантогенатов.



**Рис. 3. Электрохимическое активирующее устройство для растворов флотореагентов**



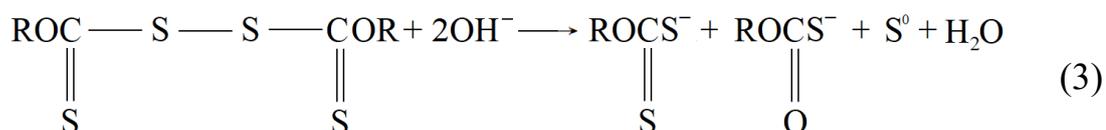
**Рис. 4. Принципиальная схема оборудования для электрохимической активации растворов флотореагентов: 1 - крышка; 2 - ограничительный стакан; 3 - рабочий электрод, установленный на катодной части; 4 - фильтр; 5 - стеклянный кристаллизатор (ячейка); 6 - магнитная мешалка.**

Растворов флотореагентов состоит из цилиндрического кристаллизатора, стекла объемом 750 мл, вдоль внутреннего периметра которого уложен рабочий

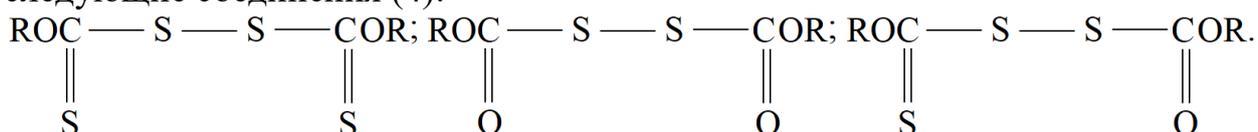
цилиндрический электрод из нержавеющей стали толщиной 0,5-1,0 мм. Верхняя часть стеклянного кристаллизатора закрыта специальной крышкой, в центре которой установлен ограничитель стакана с открытой нижней частью. В основании этого стакана расположен фильтр. Внутри ограничителя стакана также установлен внутренний (вспомогательный) электрод, изготовленный из нержавеющей стали толщиной 0,5-1,0 мм. При электрохимической активации подготовленный раствор флотореагента подается на платформу устройства таким образом, чтобы уровень раствора в стеклянном кристаллизаторе был выше основания ограничителя стакана. Устройство создано для того, чтобы разница в уровнях препятствовала взаимодействию продуктов окисления и продуктов электрического восстановления растворов флотореагента под действием силы тока и напряжения.

Во время исследований электрохимической обработки происходит медленное поступление раствора из кристаллизатора в ограничитель стакана. Основная задача магнитной мешалки при электрохимической активации - обеспечение равномерного протекания процессов окисления 5%-го раствора ксантогената и предотвращение прилипания (оседания) продуктов реакции на поверхности основного электрода (анода).

В качестве материала анода целесообразно использовать платину, сталь 3, графит, нержавеющую сталь и никель. С точки зрения долговечности и выхода ксантогената наилучшими материалами для анода являются платина, нержавеющая сталь и никель. Для промышленного использования в качестве анодного материала рекомендованы нержавеющая сталь и графит. На аноде из нержавеющей стали состав продуктов электроокисления ксантогената зависит от значения потенциала, количества электричества и концентрации реагента. При потенциале анода от 0,3 до 0,7 В процесс окисления ксантогената сопровождается образованием диксантогенита. Если электролиз проводится без разделения анодной и катодной областей, происходит распад, приводящий к разложению диксантогенита с образованием ксантогената и монотиокарбоната (3).



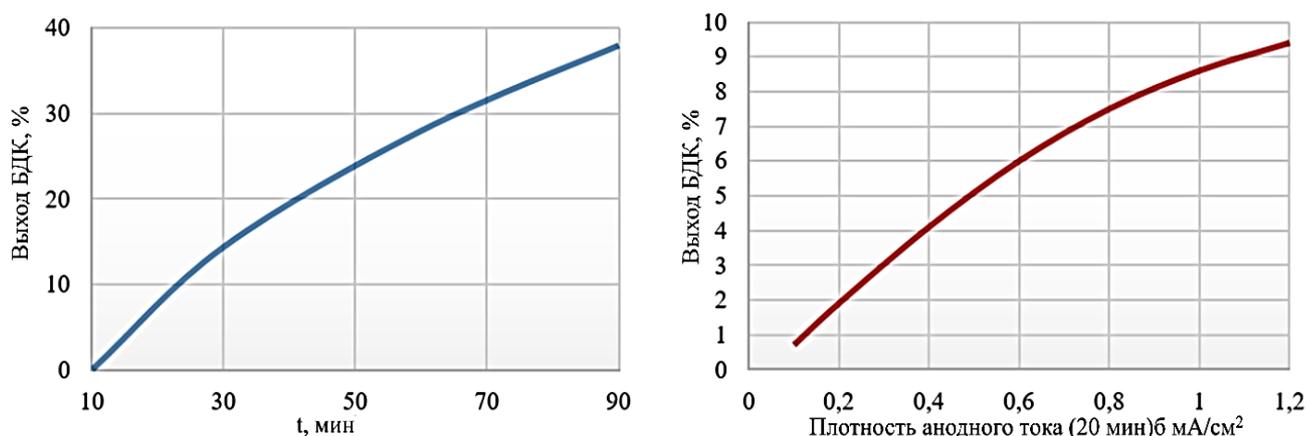
При увеличении потенциала от 0,8 до 1,8 В начинают образовываться следующие соединения (4):



Для более глубокого изучения механизма воздействия ксантогената и диксантогената на поверхность сульфидных минералов важное значение имеет электростатическая потенциальная карта молекул. Карта электростатического потенциала молекул позволяет определить распределение молекул реагентов и демонстрирует гидрофобные и гидрофильные свойства взаимодействия.

Первичное электроокисление раствора ксантогената позволяет не только контролировать выход диксантогената, но и способствует его мелкой дисперсности. Оптимальная дисперсность диксантогената (3-5 мкм) достигается при потенциале анода от 0,8 до 1,1 В. Исследования в промышленных масштабах показали, что применение процесса электрохимического окисления раствора ксантогената при флотации полиметаллических руд позволяет снизить расход собирателя флотореагента на 15-25% и увеличить извлечение металла на 1,5-3,0%.

Установлено, что с увеличением концентрации исходного 5%-го раствора ксантогената и силы и напряжения тока на электродах повышается выход диксантогената. Время электроокисления раствора ксантогената оказывает значительное влияние на выход диксантогената (Рис. 5).



**Рис. 5. Образование диксантогената в результате электрохимического окисления 5% раствора ксантогената: а) при плотности анодного тока 0,8 мА/см<sup>2</sup>; б) в течение 20 минут при анодном токе в диапазоне 0,2÷1,2 мА/см<sup>2</sup>**

Согласно (Рис. 5), при обработке 5%-ного раствора бутилксаногената с плотностью тока 0,8 мА/см<sup>2</sup> в течение 30 минут выход диксантогенита составляет 10%, тогда как при обработке в течение 120 минут – 46%.

Кроме того, в результате электрохимической активации раствора ксантогената была разработана математическая модель образования диксантогенита на основе линейных комбинаций, мультипликативных, нелинейных, экспоненциальных и дифференциальных уравнений, учитывающие изменяющиеся параметры процесса.

Обобщенная математическая модель перехода ксантогената в диксантогенит при электрохимической обработке раствора разработана с учетом различных переменных. В модели рассматриваются такие факторы, как время, плотность тока и другие потенциальные влияющие факторы. В первую очередь используется модель линейной комбинации общих переменных (5):

$$\gamma = a \cdot \ln(t) + b \cdot \sqrt{\rho_I} + e \quad (5)$$

здесь  $\gamma$  – выход диксантогената (%),  $t$  – единица времени (минута),  $\rho_I$  – плотность тока мА/см<sup>2</sup>,  $a$ ,  $b$ ,  $e$  – соответствующие коэффициенты.

Кроме того, некоторые процессы могут формировать пропорциональные взаимосвязи, поэтому была разработана модель мультипликативного типа (6):

$$\gamma = a \cdot (\ln(t))^k \cdot (\sqrt{\rho_I})^l + e \quad (6)$$

В разработанной мультипликативной модели параметры  $k$  и  $l$  соответствуют коэффициентам, которые определяют степень напряжения логарифмической и квадратнокорневой функций.

В процессе электрохимической обработки раствора ксантогената, при возникновении неопределенностей во времени и плотности тока, требуется создание более сложной математической модели, поэтому была разработана нелинейная модель (7):

$$\gamma = a \cdot (\ln(t + t_x))^k \cdot \sqrt{(\rho_I + \rho_{I_y})^l} + e \quad (7)$$

В разработанную нелинейную модель, в отличие от мультипликативной модели, можно добавить преобразования логарифма и квадратного корня, что позволяет учитывать начальные неопределённости. Параметры коэффициентов  $t_x$  и  $\rho_{I_y}$  позволяют адаптировать изменения единицы времени и плотности тока.

В некоторых случаях процессы электрохимической обработки могут стремительно стабилизироваться, поэтому требуется разработка экспоненциальной модели (8):

$$\gamma = a \cdot (1 - n^{-b \cdot t}) + e \cdot (1 - n^{-d \cdot \rho_I})^k + n \quad (8)$$

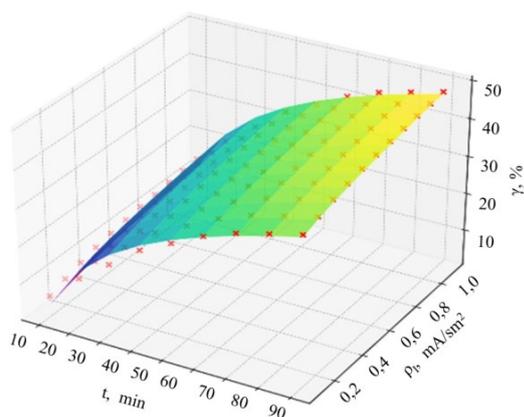
здесь  $n$  и  $d$  – соответствующие коэффициенты. Особенностью разработанной экспоненциальной модели является то, что в результате электрохимической обработки выход диксантогенида экспоненциально зависит от единицы времени и плотности тока: в начале наблюдается резкий рост, затем процесс замедляется.

При осуществлении электрохимической обработки ксантогенатного раствора важными факторами являются зависимость процесса только от времени и динамические изменения. Для данной ситуации была разработана математическая модель на основе дифференциальных уравнений (9).

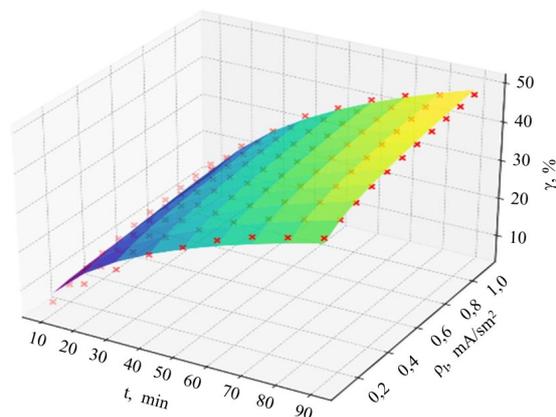
$$\frac{d(\gamma)}{d(t)} = a \cdot \ln(t) + b \cdot \sqrt{\rho_I} - e \cdot \gamma \quad (9)$$

Также границы моделей определяются изменчивостью параметров обогащения минералов.

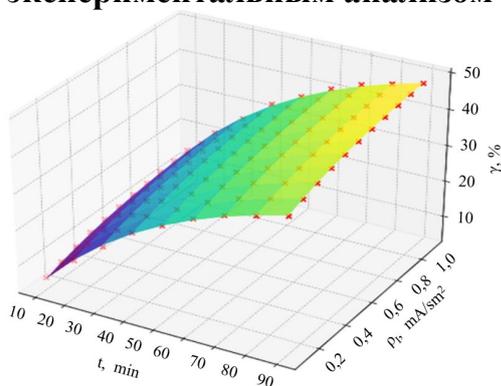
С помощью данной модели можно определить скорость выхода дихсантогенидов при значимых динамических изменениях в процессе. Каждая из разработанных математических моделей учитывает различные состояния процесса, и выбор конкретной модели, а также работа на её основе зависят от состояния текущего процесса, результатов исследований и конкретно поставленных целей. Это создаёт основу для применения каждой из моделей с целью определения выхода дихсантогенидов в заданных условиях. В рамках проведённых исследований, был выполнен регрессионный анализ для расчёта соответствующего коэффициента, а полученные результаты модели были сопоставлены с экспериментальными лабораторными данными (Рис. 6, 7, 8, 9).



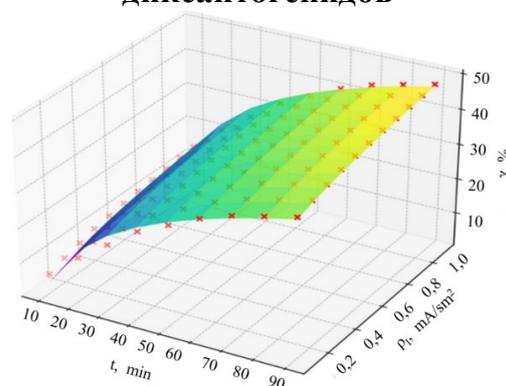
**Рис. 6. Связь линейно комбинированной модели образования диксантогенидов с экспериментальным анализом**



**Рис. 7. Связь мультипликативной модели с экспериментальным анализом при образовании диксантогенидов**



**Рис. 8. Связь экспоненциальной модели образования диксантогенидов с экспериментальным анализом**



**Рис. 9. Модель образования диксантогенидов при электрохимическом окислении раствора ксантогената и её расхождения с реальными экспериментальными данными**

Процесс сравнения был выполнен с использованием программного обеспечения Python.

На сравнительных графиках (Рисунки 6-9) видно соответствие между выходными значениями диксантогенидов, полученные по различным моделям и экспериментальными данными. При этом расхождение между модельными и экспериментальными значениями составляет 4,32% для модели линейной комбинации, 3,87% для модели мультипликативного типа, 4,57% для нелинейной модели и 1,13% для экспоненциальной модели. Это указывает на надежность экспоненциальной модели среди разработанных моделей, и ее применение в практике рекомендуется.

Сформирован план исследований, основанный на предыдущих результатах для анализа состава руд месторождений «Ёшлик I» и «Кальмакир», а также распространения полезных ископаемых и минералов, их составляющих, с учетом многочисленных научных статей, монографий, диссертационных исследований и других источников, проанализированных в рамках диссертационной работы, и параметров объекта исследования, отражающих аналогичные руды по составу.

Для разработки методов и научных основ совершенствования процессов флотации сульфидных минералов были приняты флотационные методы.

При измельчении руды в соотношении руда:техническая вода:шарики мельницы, равном 1:0,5:6, использовалась лабораторная шаровая мельница типа ШМЛ-1 (62 МЛ). Для флотации руды были применены лабораторные флотационные машины марки ФМЛ-1 (237-ФЛА) с камерами ёмкостью 3,0, 1,0, 0,75 и 0,5 дм<sup>3</sup>. В качестве оборудования для вспомогательного метода обогащения использовались лабораторный концентрационный стол марки СКО-1 и центробежный концентратор марки ЦВК 100-2М.

Анализ полученных концентратов проводился с использованием оптического спектрометра марки NEX CG фирмы Rigaku. Качество гравитационных концентратов с содержанием золота оценивалось в соответствии с техническими условиями ТУ-Uz-65-001-94-003. Согласно заключению содержание ценных компонентов, в частности золота в концентрате, должно составлять более 50 г/т, при этом количество вредных примесей не должно превышать установленные нормы: As - 0,7%, Sb - 0,3% и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 10%.

Опытные работы по обогащению методом флотации проводились по следующей методике: коллективная флотация минералов, содержащих Cu, Mo и Au, и селективная флотация минералов Au и As. Оценка результатов обогащения проводилась на основе выхода обогащенных продуктов и содержания мышьяка, с проведением отдельных химических анализов для определения содержания сурьмы в продуктах, а также лабораторных анализов для определения содержания Cu, Mo и Au.

Для выбора оптимального расхода флотореагентов при обогащении рудного образца методом флотации были проведены опытно-промышленные испытания. Образцы, взятые из месторождения «Калмакыр», были измельчены в течение 20 минут до 57% -0,071 мм, до 34% +0,074 мм, и оставшиеся около 9% до +0,21 мм. Начальные рудные образцы обогащались методом флотации по схеме, представленной на рисунке 10.

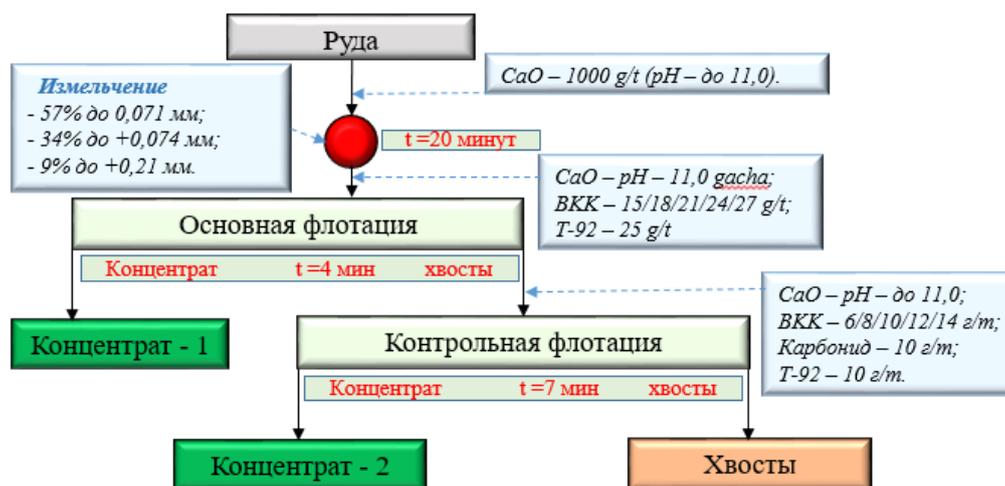
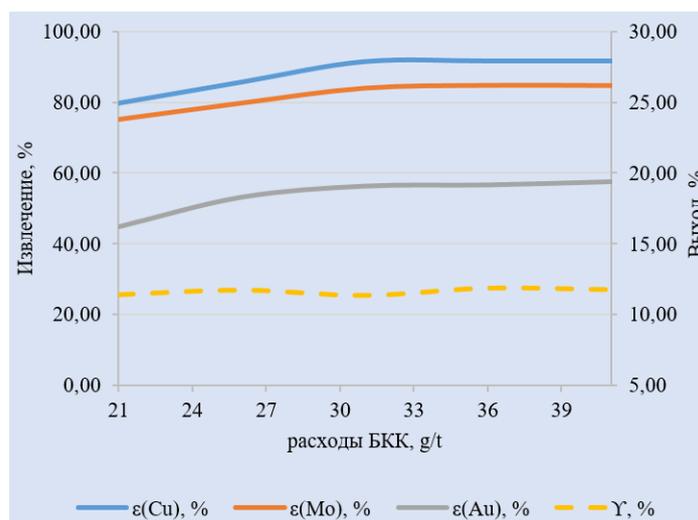


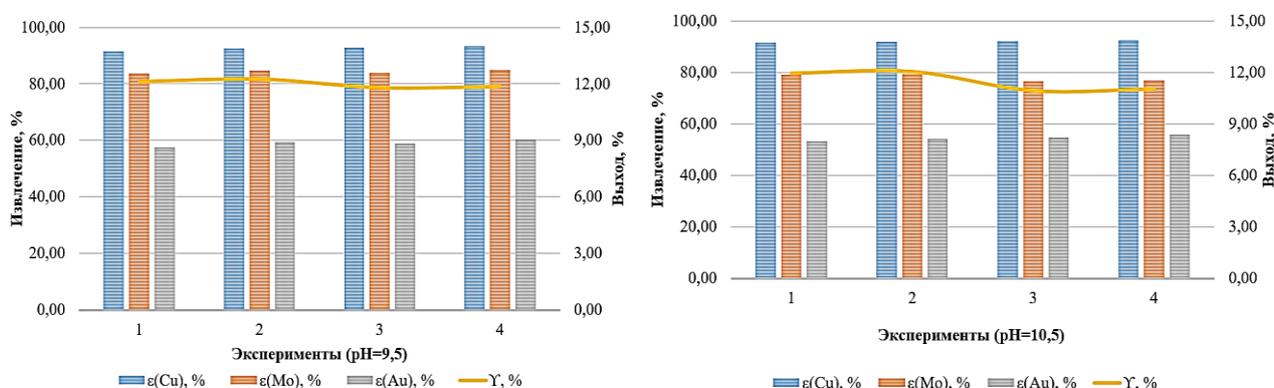
Рис 10. Схема испытаний для выбора оптимального расхода собирательных реагентов



**Рис. 11. Расход БКК при флотации образцов из месторождений «Калмакыр»**

Для выбора оптимального расхода собирательных реагентов были проведены исследования с расходом БКК от 21 г/т до 41 г/т в общей флотации (Рис. 11).

По результатам испытаний, проведенных в рамках диссертации, при значении  $pH=9,5$  общий выход концентрата составил от 11,35 до 11,88%, извлечение меди достигло 91,70%, молибдена - 84,71%, а золота - 57,66% (табл. 4.2). На основе приведённых данных было достигнуто высокое извлечение полезных компонентов. Таким образом, для дальнейших флотационных испытаний был принят расход БКК 21 г/т в основной флотации и 10 г/т в контрольной флотации в качестве расхода собирательного реагента (Рис. 12).



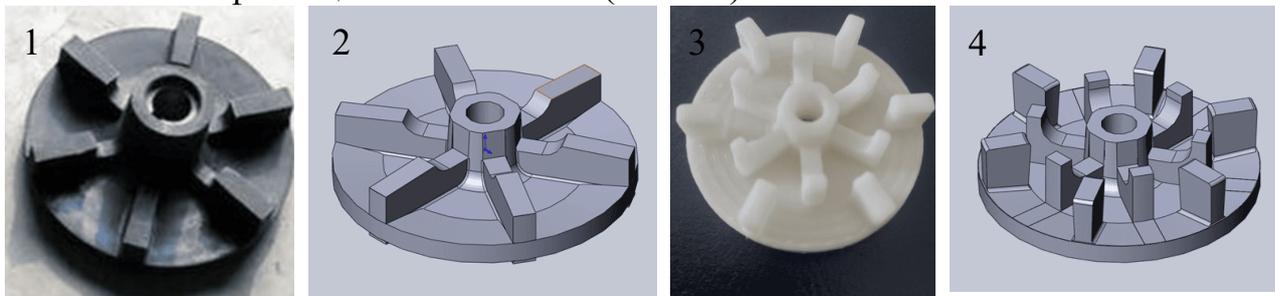
*1 - метод флотации по технологическому режиму; 2 - метод флотации с электрохимической активацией собирательного флотореагента; 3 - метод флотации с установкой нового типа импеллера в флотационную машину; 4 - метод флотации с установкой нового типа импеллера в флотационную машину и с электрохимической активацией собирательного флотореагента.*

**Рис. 12. Технологические показатели обогащения, достигнутые за счет совершенствования процессов флотации образцов руды месторождения Калмакыр**

На основании экспериментальных исследований при  $pH=9,5$  общий выход концентрата составил от 11,78 до 12,24%, общая извлекаемость меди достигла 93,20%, молибдена – 84,67%, золота – 60,33%. Также при  $pH=10,5$  общий выход концентрата составил от 10,95 до 12,05%, общая извлекаемость меди достигла 92,47%, молибдена – 76,97%, золота – 55,87%. На основе вышеуказанных данных

установлено, что при  $pH=9,5$  достигнута более высокая степень извлечения полезных компонентов по сравнению с  $pH=10,5$ . В то же время расход БКК для основной флотации принят в количестве 21 г/т, а для контрольной флотации – 10 г/т, что будет использоваться в дальнейших флотационных экспериментах в качестве расхода собирателя (Рис. 12).

На основе технологических параметров, обогащения методом флотации образцов из месторождений «Ёшлик I» и «Калмакыр», были проведены различные опытные исследования с целью улучшения флотационных процессов. В ходе испытаний, проведённых в рамках диссертационного исследования, совместное применение электрокатализа 5%-го раствора бутилксантагената при плотности тока  $0,8 \text{ мА/см}^2$  в течение 20 минут и установка нового типа импеллера вместо импеллера механической флотационной машины позволили достичь общего выхода концентрата 11,84%, извлечения меди – 93,20%, молибдена – 84,85% и золота – 60,33%. На основании полученных данных можно считать перспективным применение электрокаталитически активированного раствора БКК и установку нового типа импеллера вместо стандартного в механической флотационной машине (Рис. 13).



**Рис. 13. Импеллер механической флотационной машины: традиционный импеллер (1,2), новый тип изобретённого импеллера (3,4)**

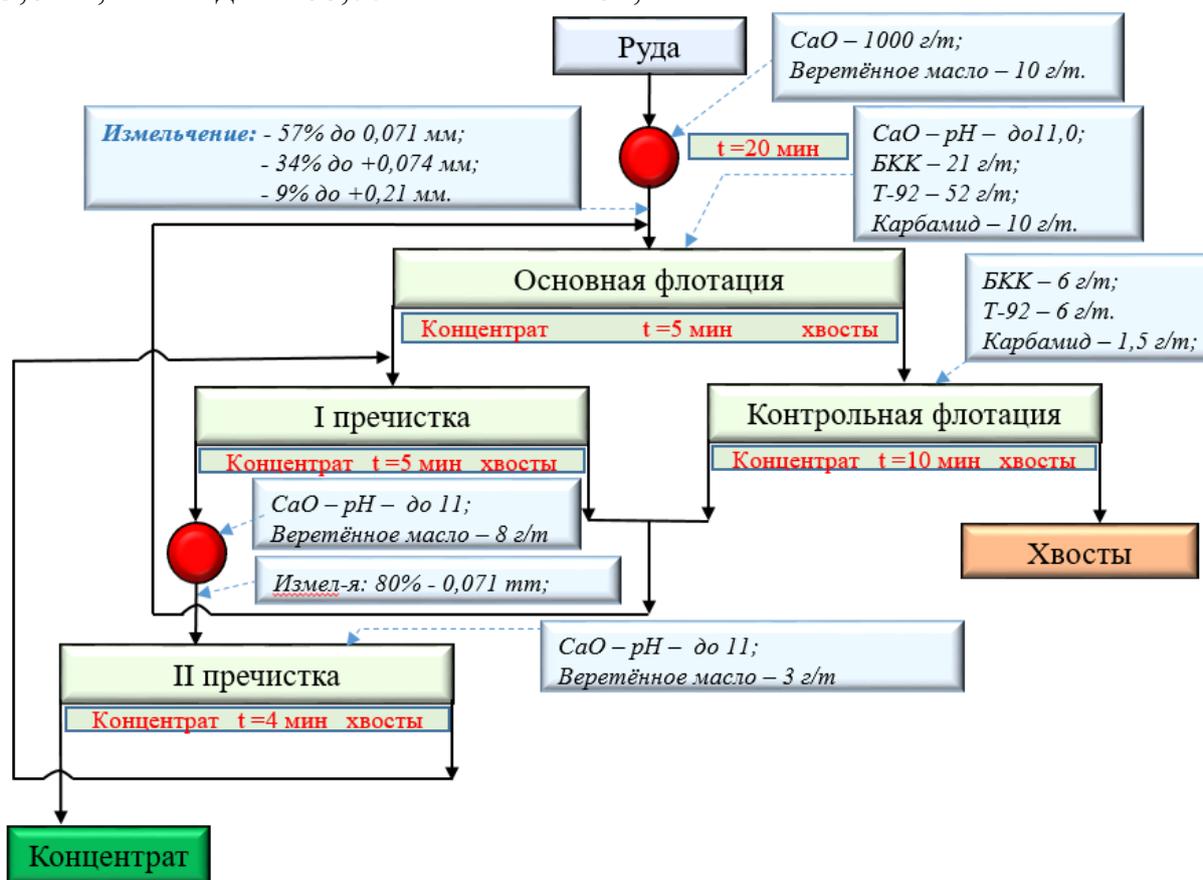
В исследованиях импеллер флотационной машины механического типа является основным элементом, обеспечивающим всасывание воздуха и его распределение в виде мелких пузырьков, а также насыщение суспензии в камере воздухом. Чем выше скорость вращения импеллера флотационной машины, тем большее количество воздуха всасывается. Однако скорость вращения импеллера не должна быть чрезмерно высокой, иначе быстрое перемешивание общей массы суспензии может привести к отделению минеральных частиц от пузырьков воздуха (Рис. 14).



**Рис. 14. Степень образования воздушных пузырьков традиционными и новыми импеллерами для повышения флотационной способности сульфидных минералов: 1,2 - традиционные; 3,4 - предлагаемые**

При поддержании нормальной скорости вращения импеллера флотационной машины, без повышения до высоких значений, размер образующихся воздушных пузырьков достигается таким же, как и при высоких скоростях вращения, что предотвращает отделение минеральных частиц от пузырьков. Это способствует эффективному проведению процессов обогащения и достижению высоких технологических показателей.

Кроме того, на основе результатов исследования и принятых методов и методик процесс обогащения сульфидных руд флотацией выполняется по образцовой схеме, аналогичной технологической схеме медной обогатительной фабрики, входящей в состав «Алмалыкского ГМК» (Рис. 15). По результатам проведенных флотационных испытаний показатели извлечения составили: медь - 83,84%, молибден - 68,77% и золото - 61,1%.



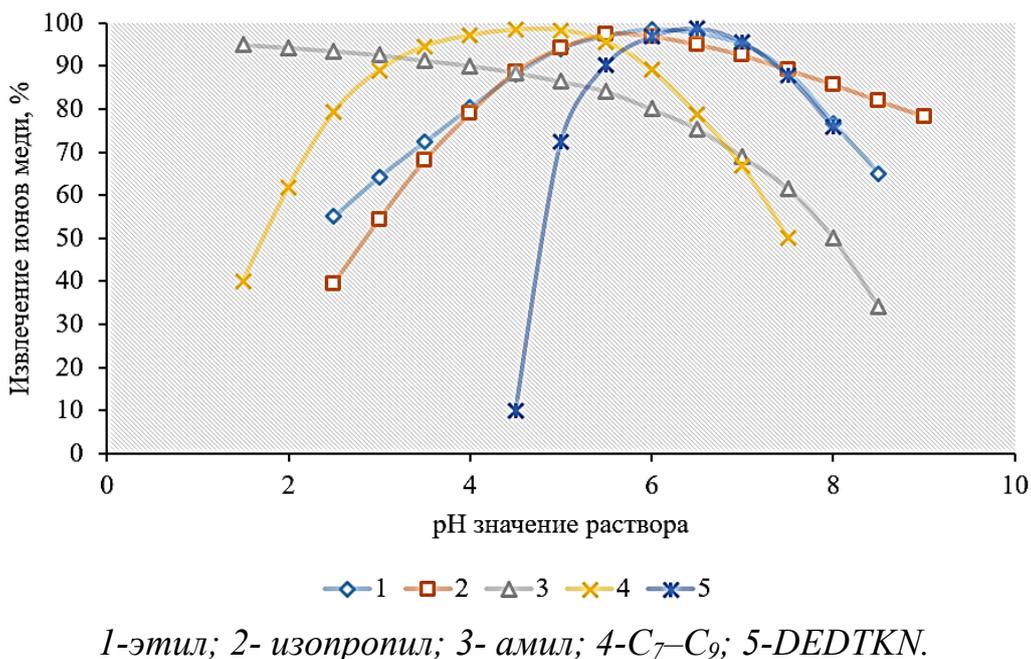
**Рис. 15. Схема флотации по образцовой схеме, аналогичной технологической схеме медно-обогатительной фабрики в составе АО «Алмалыкский ГМК»**

В пятой главе диссертации «Исследование процессов ионной флотации компонентов, встречающихся в растворах серной кислоты, получаемых в результате гидрометаллургической переработки», рассматривается применение метода ионной флотации для избирательного выщелачивания бедных сульфидных руд и выделения компонентов из раствора.

В качестве объекта исследования были проведены опытно-исследовательские работы, используя бедные (небалансовые) руды АО «Алмалыкский ГМК».

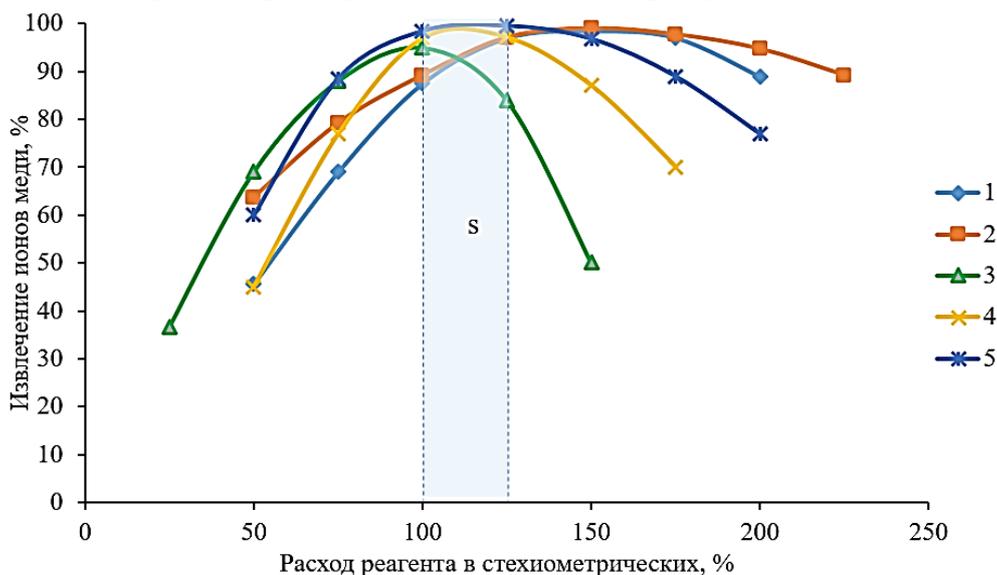
Полученный после выборочного растворения сернокислый раствор имеет  $pH=4,5$  и содержит от 10 до 10,5 г/л меди, от 5 до 5,5 г/л железа и от 1,5 до 5 г/л цинка. Медь, железо и цинк присутствуют в растворе в форме сульфатов ( $CuSO_4$ ,  $FeSO_4$ ,  $ZnSO_4$ ).

Для выбора собирателя-флотореагента была изучена зависимость выделения ионов меди в пену от  $pH$  (Рис. 16), расхода собирателя-флотореагента (Рис. 17) и времени флотации (Рис. 18) для следующих собирателей-флотореагентов: амилксантогенат ( $CH_3C_3H_6OCSSMe$ ); этилксантогенат ( $C_3H_5OSMe$ ); ксантогенаты  $C_7-C_9$ ; изопропилксантогенаты ( $(CH_3)_2CHOCSMe$ ); диэтилдитиокарбамат натрия ( $NaS_2CN(C_2H_5)_2$  или DEDTKN).



1-этил; 2-изопропил; 3-амил; 4- $C_7-C_9$ ; 5-DEDTKN.

**Рис. 16. Зависимость извлечения ионов меди от значения  $pH$  среды при выделении из раствора серной кислоты в присутствии ксантогенатов**

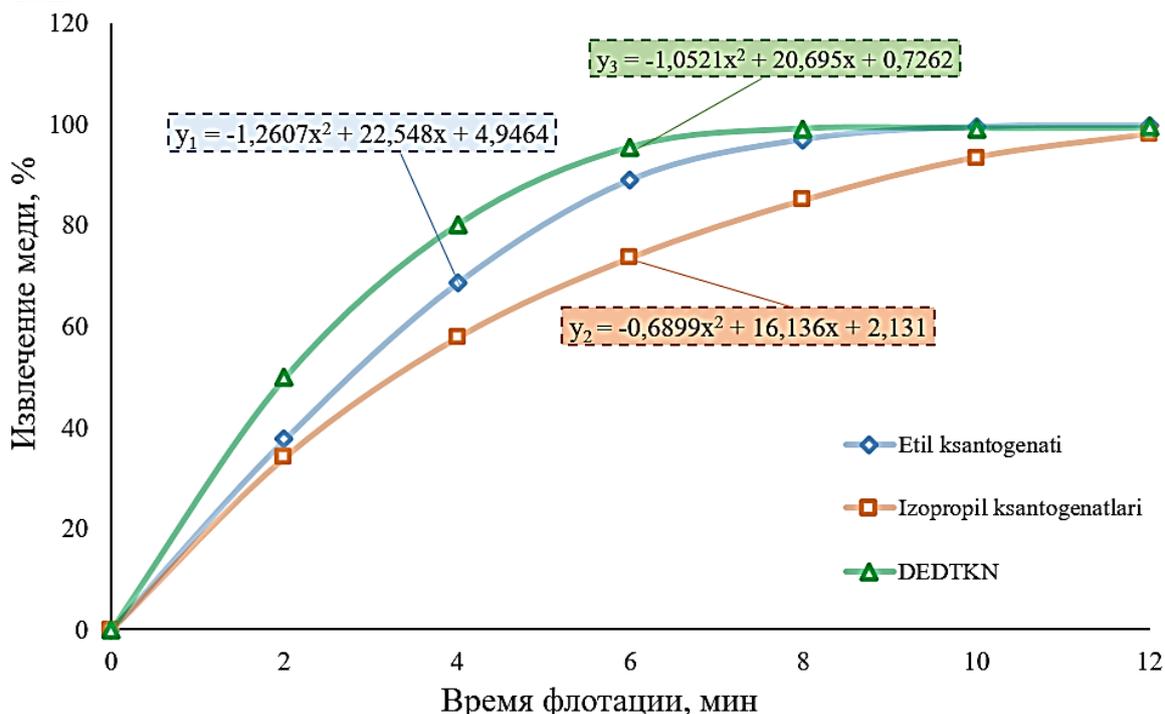


1-этил; 2-изопропил; 3-амил; 4- $C_7-C_9$ ; 5-DEDTKN.

**Рис. 17. Зависимость расхода собирателя при осаждении ионов меди из раствора серной кислоты в присутствии ксантогенатов**

Согласно приведённым данным, при использовании амилксантогената наблюдалось относительно низкое выделение ионов. В процессе флотации смеси высокомолекулярных соединений ( $C_7 - C_9$ ) образуется жидкая пена. Остальные собиратели при высоком выделении ионов меди образуют сухую пену.

Результаты экспериментов показали, что среди всех изученных собирательных реагентов на поверхности S (Рис. 17) DEDTKN проявил себя как наиболее эффективный собирательный флотореагент. Его оптимальный расход (110% стехиометрии) обеспечивает извлечение меди на уровне от 98,4 до 99,5%. Для дальнейших экспериментов в качестве собирателя рекомендовано выбрать DEDTKN.

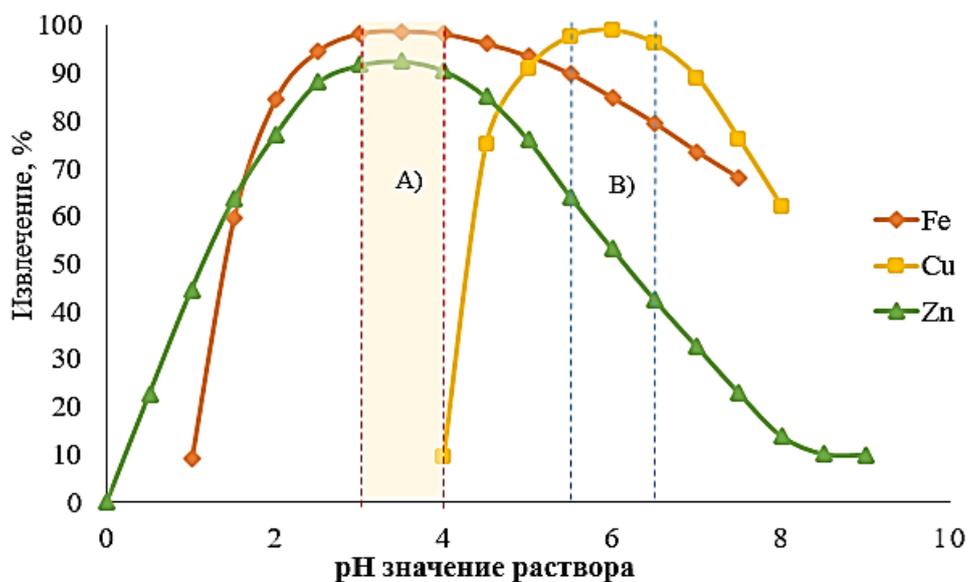


**Рис.18. Зависимость флотации от времени при извлечении ионов меди из раствора серной кислоты**

$NaS_2CN(C_2H_5)_2$  – известный поверхностно-активный собиратель, представляющий собой соль слабой диэтилдитиокарбоновой кислоты, используется в процессе флотации как собирательный флотореагент и обладает следующими преимуществами:

- образует прочное и достаточно устойчивое соединение со всеми тяжелыми металлами в кислой среде при низком значении pH;
- флотореагент прост в применении;
- относительно безопасен (допустимая концентрация  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ );
- частично может использоваться с регенерацией;
- дешевле по сравнению с традиционными собирательными реагентами.

Результаты проведенных экспериментов показали, что  $NaS_2CN(C_2H_5)_2$  позволяет извлекать медь из растворов серной кислоты, получаемых при гидрометаллургической переработке медных руд, методом ионной флотации (Рис. 19). Установлено, что процессы извлечения меди из раствора происходят при определенном интервале значений pH (5,5–6,5).



**Рис. 19. Зависимость распределения металлов по продуктам от pH среды**

При ионной флотации собирательный реагент взаимодействует с каждым выделяемым ионом. Поэтому расход собирателя при флотации ионов выше по сравнению с флотацией минералов. Для полного извлечения металлов при ионной флотации требуется стехиометрический расход собирателя.

В большинстве случаев для флотации ионов и молекул используется газовая инертная фаза для создания жидкостно-газовой межфазной поверхности. В лабораторных опытах для этой цели используются азот или воздух. В наших опытах использовался воздух. На основе проведенных испытаний выявлено, что с увеличением расхода газа концентрация нижних продуктов снижается, а извлечение верхних продуктов возрастает. При ионной флотации увеличение расхода газа сопровождается увеличением высоты слоя флотации. Однако некоторые пузырьки настолько нестабильны, что образуются непосредственно на поверхности раствора. В таких случаях при высоком расходе газа и высокой поверхностной натяженности существует риск разрушения пузырьков и возврата частиц в раствор. Кроме того, скорость потока воздуха также влияет на стабильность пены. Чтобы поддерживать достаточную толщину слоя пены, скорость газового потока должна быть немного выше скорости разрушения пены.

Потери отдельных металлов при выходе составляют до  $0 \div 1,7\%$ , а общие потери всех металлов не превышают  $1\%$ .

При определении оптимального режима флотации ионов меди в растворах серной кислоты с различными собирателями, при применении натрия диэтилдитиокарбамата  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  при  $\text{pH}=6$ , стехиометрический расход собирателя составил  $110\%$ , а показатель извлечения медного компонента достигал  $98,4 \div 99,5\%$  за 10 минут флотации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований диссертации доктора технических наук (DSc) по теме “Разработка методов и научных основ

совершенствования процессов флотации сульфидных минералов” получены следующие выводы:

1. В результате изучения состава флотореагентов, применяемых на обогатительных фабриках республики, установлено, что при флотационных операциях не используются в полной мере возможности коллекторные флотореагентов. Кроме того, результаты анализа показали, что химически закрепленный слой ксантогената слабо гидрофобизирует поверхность, поэтому флотация происходит неинтенсивно.

2. В рамках испытательных экспериментов, при сравнении степени сорбции основных сульфидных минералов с использованием БКК и БДК, было обнаружено, что БДК сорбируется быстрее и в большей степени по сравнению с БКК на минералах галенит ( $PbS$ ), халькопирит ( $CuFeS_2$ ) и сфалерит ( $ZnS$ ). При этом на минерале пирит ( $FeS_2$ ) наблюдается обратная ситуация.

3. Рекомендовано, что в качестве флокулянтов использование водорастворимой сополимер акриловой кислоты и полиакриламида для сбора сульфидных минералов. Наличие определенного количества функциональных групп, волокнистой структуры частиц, заряда и хорошей растворимости в воде в составе реагента, представляющего собой смесь акриловой кислоты и водорастворимого сополимера полиакриламида, способствуют к флокуляции сульфидов перед флотацией что улучшает флотацию халькопирита, пирита и арсенопирита.

4. Показано что использование смеси собирателя и регуляторов среды позволяет снизить расход реагента-собирателя и повысить уровень флотации.

5. Повысить основные технологические показатели извлечения полезных компонентов из сульфидной руды: медь – на 1,57%, молибден – на 1,13% и золото – на 2,7% за счет применения растворов флотореагента БКК после электрохимической обработки

6. Достигнуто в процессе обогащения методом флотации уменьшение размера пузырьков на 25%–35% по сравнению с традиционным импеллером, используемым в обычных условиях на механической флотационной машине с обычным импеллером.

7. Показана эффективность использования  $NaS_2CN(C_2H_5)_2$  в качестве собирателя-флотореагента в ионной флотации, что позволило извлечь медь из раствора с эффективностью 98,4–99,5%. При этом благодаря двум положительным зарядам ионов меди образуется легко перерабатываемая пена. Регулированием рН удалось достичь извлечения цинка (98,2–98,7%), железа (91,7–92,5%) и меди (98,2–98,7%) при расходе собирателя-флотореагента 50 мг на 1 г.

8. На основе результатов проведенных экспериментов было установлено, что имеется возможность извлечения меди из сернокислотных растворов, получаемых при гидрометаллургической переработке медных руд, методом ионной флотации с применением  $NaS_2CN(C_2H_5)_2$ . Также выявлено, что процессы извлечения меди из раствора происходят в пределах рН 5,5 – 6,5.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/05.05.2023.K/T.35.02 FOR  
THE AWARD OF AN ACADEMIK DEGREE AT THE INSTITUTE  
GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED ISLAM KARIMOV**

**MAKHMAREZHABOV DILMUROD BAKHTIYAROVICH**

**DEVELOPMENT OF METHODS AND SCIENTIFIC FOUNDATIONS  
FOR IMPROVING THE FLOTATION PROCESSES OF SULFIDE  
MINERALS**

**02.00.19 – Chemical technology of rare, noble and radioactive elements**

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

**Tashkent – 2025**

**Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.DSc/T820 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uchta tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)). Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.ionx.uz) va «ZiyoNET» axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy maslahatchi:**

**Matkarimov Soxibjon Turdaliyevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Pasmiy opponentlar:**

**Samadov Alisher Usmanovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Sharafutdinov Ulugbek Ziyatovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasulova Sitorabonu Normurodovna**  
kimyo fanlari doktori

**Yetakchi tashkilot:**

**Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti**

Dissertatsiya ishi himoyasi O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti huzuridagi DSc.02/05.05.2023.K/T.35.02 raqamli bir martalik Ilmiy kengashning «9» aprel 2025 yil soat 14<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60; faks: (99871) 262-79-90, e-mail: ionx@academy.uz).

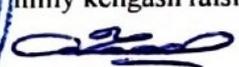
Dissertatsiya ishi bilan Umumiy va noorganik kimyo institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 64 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo-Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60; faks: (+99871) 262-79-90

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «26» mart kuni tarqatildi.

(2025 yil «26» martdagi 64 - raqamli reestr bayonnomasi).



  
**N.X. Usanbayev**  
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

  
**J.S. Shukurov**  
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash kotibi, t.f.d., professor

  
**Sh.S. Namazov**  
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash qoshidagi bir martalik ilmiy  
seminar raisi, t.f.d., professor, akademik

## INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

**The aim of the work** is to develop the fundamental principles for improving the efficiency of extracting non-ferrous and rare metal components by enhancing flotation methods, specifically the flotation of sulfide minerals.

**The object of the work** is sulfide ores containing components of non-ferrous and precious metals from deposits under the jurisdiction of JSC “Almalyk MMC” traditional collecting flotation reagents, potassium butyl xanthate (PBX), and sulfuric acid.

**Scientific novelty of the research work** is as follows:

it has been scientifically substantiated that a mixture of water-soluble polymers and surfactants is an effective flocculant for sulfides containing copper, lead, and zinc components;

it has been established that water-soluble polymers with irregular structures and particles of heteropolar surfactants in aqueous solutions do not form chemical compounds with each other;

as a result of using a water-soluble copolymer of acrylic acid and polyacrylamide as a flocculant for sulfide minerals before flotation processes, in combination with a traditional collector flotation reagent (BK), an improvement in the technological performance of the main components has been achieved;

a technology has been developed to reduce the consumption of collector flotation reagents in the process of enriching sulfide ores by flotation through their joint use with regulating reagents;

a method for electrochemical activation of the collector flotation reagent, potassium butyl xanthate, has been developed for use in the enrichment of sulfide ores by flotation;

it has been established that the stability of air bubbles formed during the flotation enrichment process prevents sediment formation and contributes to the improvement of technological indicators;

mathematical models of the formation of dixanthogenides during the electrochemical activation of xanthate solutions have been developed based on linear combinations, multiplicative, nonlinear, exponential, and differential equations;

it has been determined that in the flotation enrichment of sulfide minerals, reducing the volume of bubbles formed has a positive impact on the enrichment dynamics when comparing the newly proposed impeller of a mechanical flotation machine under the same conditions, with a 25-35% reduction in bubble volume compared to the traditional impeller;

it has been found that the use of  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  as a flotation reagent-collector in ion flotation contributes to the improvement of technological indicators of the main components.

**Implementation of the research results.** Based on scientific results to improve flotation processes of sulfide minerals:

the method of electrochemical activation of potassium butyl xanthate, used as a collector reagent in the flotation beneficiation process of sulfide ores, has been implemented at the Copper Concentration Plant of Almalyk MMC JSC (Certificate No.

SL-004500 dated September 17, 2024). As a result, recovery rates increased for copper by 0.81%, molybdenum by 0.72%, and gold by 1.11% in the produced flotation concentrate.

a new type of impeller was introduced at the Copper Concentration Plant of Almyk MMC JSC (Certificate No. SL-004500 dated September 17, 2024) in place of the traditional impeller used in mechanical flotation machines. This led to a 20% improvement in the stability of air bubble retention compared to the traditional impeller.

the combination of the electrochemical activation method of potassium butyl xanthate with the use of the new impeller type, replacing the traditional impeller in flotation beneficiation of sulfide ores, was implemented at the Copper Concentration Plant of Almyk MMC JSC (Certificate No. SL-004500 dated September 17, 2024). This resulted in improved recovery rates of copper by 1.37%, molybdenum by 1.06%, and gold by 2.21% in the flotation concentrate.

the method of using  $\text{NaS}_2\text{CN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  as a collector reagent in ion flotation has been implemented at Almyk MMC JSC (Certificate No. SL-004500 dated September 17, 2024). This allowed for an increase in copper extraction from solution to 98.4–99.5%.

the method of using a water-soluble copolymer of acrylic acid and polyacrylamide as a flocculant for sulfides before flotation, in combination with a traditional collector reagent, was implemented at Almyk MMC JSC (Certificate No. SL-004500 dated September 17, 2024). This led to an increase in recovery rates for copper by 0.85%, molybdenum by 0.7%, and gold by 1.21%.

the method of combined use of collector reagents and medium-regulating reagents in the flotation beneficiation process of sulfide ores has been implemented at the Copper Concentration Plant of Almyk MMC JSC (Certificate No. SL-004500 dated September 17, 2024). This reduced collector reagent consumption by 0.4–1%.

**The structure and volume of the thesis are as follows:** The dissertation is composed of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the thesis is 180 pages.

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

**I bo'lim (I часть; part I)**

1. Maxmarejabov D.B, Saynazarov A.M, Nosirxo'jayev S.Q., Tashpo'latov J.A., Matkarimov S.T., Amanqulov E.O. Mexanik flotatsion mashina impelleri. O'zbekiston Respublikasi Foydali modellar davlat reyestrída 13.04.2024-yilda № FAP 2464 – raqam bilan ro'yxatdan o'tkazilgan.

2. Makhmarejabov D., Yang S., Matkarimov S., Berdiyarov B., Yavkochiva D., Matkarimov Z. Developing ways to reduce the consumption of reagent collectors during the flotation of gold-containing ores // International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration, – Vol.11(111), – 2024, – P. 1-18, DOI: 10.19101/IJATEE.2023.10102097. (3, Scopus, IF 1.8)

3. Umarova I.K., Makhmarezhabov D.B., Umirzokov A.A. Investigation of the use of ion flotation for the extraction of copper from sulfuric acid solutions // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, – № 1(457), 2023, – P. 202-210, DOI: 10.32014/2023.2518-170X.270 (3, Scopus, IF 1.8)

4. Makhmarezhabov D. Matkarimov S. Yavkochiva D, Yuldasheva N. Flocculation of Sulfide Minerals with a Mixture of Potassium Xanthate Butyl and Water-Soluble Polymer // Engineering Proceedings. – № 63.27., 2024. – P. 2-5. doi.org/10.3390/engproc2024063027 (3, Scopus, IF 0.7)

5. Умарова И., Махмарежабов Д., Юлдашев Ш. Изучение особенностей вещественного состава и разработка технологической схемы обогащения медно-порфиновых руд месторождения Ёшлик-1 // «Обогащение руд», – Санкт-Петербург, 2021. – №5. – С. 10-15. DOI:10.17580/or.2021.05.02 (3, Scopus, IF 1.8)

6. Умарова И.К., Махмарежабов Д., Ахмадалиев А. М. Исследование формы нахождения минералов золота в медно-порфировой руде месторождения Ёшлик-1 // Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences. – 2022. – Т. 3. – №. 3. – С. 47-52. (14, ReserchBib, IF 12.43)

7. Umarova I. K., Maxmarejabov D.B., Erkaboyev J.B., Asqarova N.M. Qalmoqqir koni mis-molibdenli rudalarining boyitiluvchanligini o'rganish // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Т. 2. – №.5. – P. 788-793. (23, SJIF, IF 5.947)

8. Umarova I.K., Matkarimov S.T., Makhmarezhabov D.B. Development of a flotation technology for gold-bearing ores of the amantaytau deposit. Obogashchenie Rud, 2020 (2), – P. 29-33, DOI: 10.17580/or.2020.02.05 (3, Scopus, IF 1.8)

9. Matkarimov S.T., Maxmarejabov D.B., Abdurasulova Z.X., Erkinov K.H. Flotatsiya usulida boyitish jarayonlarida an'anaviy reagentlarning o'rnini bosuvchi zamonaviy yangi reagentlardan foydalanish imkoniyatlari o'rganish // Konchilik mashinalari va texnologiyalari. – 2024, – №1 (7). – 33-40-b. (OAK Rayosatining 2024-yil 29-fevraldagi № 351/4-son qarori bilan "Texnika fanlari" bo'yicha doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini e'lon qilish uchun tavsiya etiladigan)

10. Умарова И.К., Мамиров Б.И., Махмарежабов Д.Б. Кучное выщелачивание забалансовых медных руд // Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences. – Т. 3. – № 5. 2022. – С. 279-285. (14, ReserchBib, IF 12.43)

11. Ахмедов Х., Бекпулатов Ж.М., Махмарежабов Д.Б., Джумаева Х.Ю. Изучения взаимодействия некоторых водорастворимых полимеров с ионогенными поверхностно-активными веществами // Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – Т. 3. – № 6. 2022.– С. 383-389. (14, ReserchBib, IF 12.43)

12. Maxmarejabov D.B., Umirzoqov A.A., Milliboyev J.M., Abdusalomova G.A. Amantaytau koni oltin tarkibli rudalarini turli muhitlarda boyitishning flotatsiya usulini qo'llash // Journal of Advanced Research and Stability. – 2022. – С. 254-258. (14, ReserchBib, IF 9.98)

13. Umarova I.K., Maxmarejabov D.B., Erkaboyev, J. B., Asqarova, N. M., Qalmoqqir koni mis-molibdenli rudalarining boyitiluvchanligini o'rganish // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – Т. 2. – №.5. 2022. – С. 788-793. (23, SJIF, IF 5.947)

14. Умарова И.К., Махмарежабов Д.Б. Бердикулов Ш. А. Разработка технологии обогащения золотосодержащих руд месторождения Самарчук // Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali. – 2022. – Т. 2. – №. 10. – С. 145-150. (14, ReserchBib, IF 9.98)

## **II bo'lim (II часть; part II)**

15. Makhmarezhabov D., Bekpulatov J., Salizhanova G., Amindjanova S., Abdurasulova Z., Rasulova S. Enrichment of manufactured waste at the AMMC copper processing factory in Uzbekistan (2024) E3S Web of Conferences, 497, art. no. 02039, DOI: 10.1051/e3sconf/202449702039 (3, Scopus, IF 0.9)

16. Maxmarejabov D.B., Yavkochiva D.O., Matkarimov S.T., Yuldasheva N.S. Sulfidli mis rudalarini flotatsion boyitishda mikro-nano pufakchalar guruhini hosil qilish texnologiyasi // Konchilik mashinalari va texnologiyalari. – 2023, – №3 (5). – 24-28 b.

17. Umarova I., Matkarimov S., Bekpulatov J., Makhmaredjabov D., Yuldashev S. Study of the Form of Minerals in Copper Porphyry Ores of «Yoshlik-I» Deposit (2021) E3S Web of Conferences, 304, art. no. 02003, DOI: 10.1051/e3sconf/202130402003 (3, Scopus, IF 0.9)

18. Makhmaredjabov D.B., Yavkochiva D.O., Nosirkhodjaev S.K., Matkarimov S.T., Yang S., Amankulov E.O.. To study for the extraction of copper from sulfuric acid solutions by using of ionflotation // Uzbekistan-Japan International Conference «Energy- Earth-Environment-Engineering», Tashkent, Uzbekistan. – 2023. – P. 24.

19. Makhmaredjabov D.B., Yavkochiva D.O., Nosirkhodjaev S.K., S.T.Matkarimov, S.Yang. New method to reduce the consumption of reagent collectors during the flotation of gold-containing ores. Uzbekistan-Japan International Conference «Energy- Earth-Environment-Engineering», Tashkent, Uzbekistan. – 2023. – P. 50.

20. Makhmaredjabov D.B., Yavkochiva D.O., Nosirkhodjaev S.K., Matkarimov S.T., Yang S. Studies reveal the heterogeneous bubble nucleation mechanism model on the mineral surface // Uzbekistan-Japan International Conference «Energy- Earth-Environment-Engineering», Tashkent, Uzbekistan. – 2023. – P. 55.

21. Yavkochiva D.O., Makhmaredjabov D.B. Nosirkhodjaev S.K., Matkarimov S.T., Yang S., Tashpulatov J.A. Studies formation process of heterogeneous gas nuclei on the mineral surface // Uzbekistan-Japan International Conference «Energy-Earth-Environment-Engineering», Tashkent, Uzbekistan. – 2023. – P. 60.

22. Явкочива Д.О., Махмарежабов Д.Б., Маткаримов С.Т., Акрамов У.А. Флотация жараёнида фазалараро микро-нано пуфакчалар гуруҳининг ўсиш механизмини тадқиқ этиш // “ИННОВАЦИЯ-2023” XXVII Халқаро илмий-амалий анжумани. Тошкент. 2023, 329-331 б.

23. Махмарежабов Д.Б., Явкочива Д.О., Маткаримов С.Т., Юлдашева Н. Сульфидли мис рудаларини флотацион бойитишда гетнроген газ ядроларини шакилланиш ва узиш боскичларини тадқиқ этиш // “Ишлаб чиқаришда инновацион технологиялар, иктисодиёт ва менежмент” Халқаро илмий-амалий анжумани. Тошкент. 2023, 276-279 б.

24. Миллибоев Ж.М., Махмарежабов Д.Б. Мураккаб таркибли олтин рудаларини боскичма-боскич флотациялашнинг технологиясини ўрганиш ва асослаш // Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни // Республика илмий-амалий анжумани маърузалар тўплами. – Тошкент. 2022, 265-267 б.

25. Салижанова Г.К., Абдумуминова М., Махмарежабов Д.Б. Исследование вещественного состава медных руд месторождения Ёшлик // Актуальные научные исследования: сборник статей XI Международной научно-практической конференции: Пенза, 2021. С. 47-50.

26. Махмарежабов Д.Б., Тургунов М.Б. Изучение вещественного состава медно- порфириновых руд месторождения Ёшлик-1 // Международная научная и научно-техническая конференция “Практические и инновационные научные исследования: Актуальные проблемы, достижения и новшества (посвящены памяти профессора А.А. Юсупходжаева)” 6 декабря, 2021. – Ташкент, ТашГТУ, 2021, – С. 240-241.

27. Эрназаров М.М., Махмарежабов Д.Б., Умарова И.К., Муталова М.А. Изучение вещественного состава и разработка технологии обогащения медной руды месторождения Дальний // В сборнике: World Science: Problems and Innovations. сборник статей LVIII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2021. С. 30-33.

28. Умарова И.К., Махмарежабов Д.Б., Мирзаев Ф.М. Исследование обогатимости золотосодержащей руды месторождения Гузаксай // В сборнике: World Science: Problems And Innovations. сборник статей LXII Международной научно-практической конференции: Пенза, 2022. – С. 34-37.

29. Умарова И.К., Ибрагимов Ж.М., Махмарежабов Д.Б. Разработка эффективной схемы обогащения медно-молибденовых руд с применением новых реагентов –собираетелей // «Инженерные решения». – Новосибирск, 2020. – № 10 (20). – С. 4-9. DOI:10.32743/2658-6479.2020.10.20.374

30. Махмарежабов Д.Б., Солижанова Г.К., Худойбергандов Ф.Т. Полиметал таркибли рудаларни бойитиш технологияси ва самарали ажратиш усуллари // «Ер ости бойликларидан оқилона ва бехатар фойдаланишнинг замонавий муаммолари ва такомиллаштириш истиқболлари» мавзусидаги ҳалқаро илмий-техникавий анжумани маърузалар тўплами. – Тошкент, 2018, 237-239 б.

31. Умарова И.К., Махмарежабов Д., Усмонов А.С. Изучение вещественного состава золотосодержащих руд месторождения Кочбулак // В сборнике: Актуальные вопросы современной науки и образования. сборник статей XI Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Пенза, 2021. С. 53-56.

32. Bekpulatov J.M., D.B.Mahmarejabov Pardayev Sh.Sh., Abduraimov A.X. Chinorsoy koni polimetal rudasini boyitishning texnologik sxemasini ishlab chiqish // Scientific progress, vol. 2, no. 1, 2021, pp. 705-713.

33. Умарова И.К., Махмарежабов Д.Б. Ахмедов Б.М. Изучение вещественного состава золотосодержащих руд месторождений Кочбулак и Кызилалма // Scientific progress, vol. 2, no. 1, 2021, pp. 749-755.

34. Умарова И.К., Махмарежабов Д.Б., Маматкулов Х.Ф. Исследования на обогатимость медно-порфировых руд месторождения “Ёшлик-1” // Scientific progress, – Vol. 2, – № 2, 2021, – P. 641-646.

35. Akhmedov Kh., Bekbulatov J., Makhmarezhabov D.B. Asilov Sh. Development of Technology of Enrichment of Ore Samples Field Cinesi // International Journal of Academic and Applied Research (IJAAAR). October - 2020, – Vol. 4, – Issue 10, – P. 108-113.

36. Bekpulatov J.M., Mahmarejabov D.B. Umirzoqov A.A., Kushnazorov I.S. Boyitilishi qiyin bo‘lgan oltin tarkibli rudalarni uzluksiz jarayon prinsipi bo‘yicha flotatsiyalashning amaliy ahamiyati // Scientific progress, – Vol. 2, – № 1, 2021, – P. 1266-1275.

Avtoreferat «O‘zbekiston kimyo» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi 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: 3,75. Adadi 100 dona. Buyurtma № 12/25.

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