

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMiy DARAJALAR BERUVCHI  
DSc 17/04.06.2021.T.06.01 RAQAMLI ILMiy KENGASH**

---

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI**

**KURBANOV MASHXUR AMONOVICH**

**QIZILQUM HUDUDIDAGI URANLI MA'DANLARNI KOMPLEKS  
QAYTA ISHLASHNING ILMiy-TEXNIK ASOSLARI**

**04.00.14 – Foydali qazilmalarni boyitish**

**TEXNIKA fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Navoiy – 2023**

**Doktorlik dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата докторской диссертации**

**Content of the abstract of doctoral dissertation**

**Kurbanov Mashxur Amonovich**

Qizilqum hududidagi uranli ma'danlarini kompleks  
qayta ishlashning ilmiy-texnik asoslari.....3

**Курбанов Машхур Амонович**

Научно-технические основы комплексной переработки  
урансодержащих руд Кызылкумского региона.....27

**Kurbanov Mashkhur Amonovich**

Scientific and technical foundations of complex processing  
uranium-bearing ores of the Kyzylkum region .....53

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

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

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMiy DARAJALAR BERUVCHI  
DSc 17/04.06.2021.T.06.01 RAQAMLI ILMiy KENGASH**

---

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR  
UNIVERSITETI**

**KURBANOV MASHXUR AMONOVICH**

**QIZILQUM HUDUDIDAGI URANLI MA'DANLARNI KOMPLEKS  
QAYTA ISHLASHNING ILMiy-TEXNIK ASOSLARI**

**04.00.14 – Foydali qazilmalarni boyitish**

**TEXNIKA fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Navoiy – 2023**

**Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.2.DSc/T625 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

Doktorlik dissertatsiyasi Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.nsumt.uz) va «Ziyonet» Axborot ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy maslahatchi:**

**Sanakulov Kuvandik**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Muxiddinov Baxodir Faxriddinovich**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Berdiyarov Bahriddin Tilovqabulovich**  
texnika fanlari doktori, dotsent

**Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich**  
texnika fanlari doktori, dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

**Milliy tadqiqotlar texnologik universiteti «MISIS»ning  
Olmaliq shahridagi filiali**

Dissertatsiya himoyasi Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti huzuridagi DSc 17/04.06.2021.T.06.01 raqamli Ilmiy kengashning 2023 yil « 26 » 10 soat 14<sup>00</sup> dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 210100, Navoiy shahri, G‘alaba shoh ko‘chasi, 76v-uy. Navoiy Davlat konchilik va texnologiyalar universiteti majlislar zali. Tel.: (79) 223-23-32; faks: (79) 223-49-66; e-mail: info@nsumt.uz. www.nsumt.uz).

Dissertatsiya bilan Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin ( 138 raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 210100, Navoiy shahri, G‘alaba shoh ko‘chasi, 76v-uy, Tel.: (79) 223-23-32; faks: (79) 223-49-66.).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil « 13 » 10 kuni tarqatildi.  
(2023 yil « 13 » 10 dagi 12 raqamli reyestr bayonnomasi)



**M.M. Yakubov**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash raisi v.v.b, t.f.d., professor

**O.U. Fuzaylov**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash kotibi, t.f.f.d. (PhD)

**A.U. Samadov**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

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

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda konchilik korxonalarini tomonidan ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar turini kengaytirish har qanday davlat iqtisodiyoti salohiyatini mustahkamlashning ajralmas qismi hisoblanadi. Shu bilan birga, ishlab chiqarish chiqindilari va mineral resurslarni kompleks qayta ishlash, birinchi navbatda, iqtisodiyotning eng qimmat tarmoqlari, jumladan, tog‘-kon sanoati uchun muhim ahamiyatga ega bo‘lib, bu turli texnik, texnologik, tashkiliy va boshqa muammolarni hal etishni taqozo etadi. Qizilqum uran konlarini yer ostida tanlab eritish (YOTE) usulida o‘zlashtirish bo‘yicha ko‘p yillik tajribalar natijasida uran bilan bir qatorda reniy, skandiy, seriy, lantan singari qimmatli komponentlar va boshqa noyob yer elementlari (NYE) ham eritmaga o‘tishi aniqlandi. So‘nggi yillarda noyob va noyob yer elementlari bozorida ma‘lum darajada pasayish kuzatilganiga qaramay, yo‘ldosh elementlarni qazib olishda reniy, skandiy va boshqa lantanoid eng istiqbolli elementlar bo‘lib qolmoqda. Yaqin kelajakda aviakosmos sanoatida hamda yuqori haroratli qattiq oksidli yoqilg‘i elementlarini (QOYE) ishlab chiqarishda alohida qiziqish uyg‘otadigan reniyni qo‘llash sohasining kengayishiga e‘tibor qaratish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bugungi kunda dunyoda kon-metallurgiya sanoati korxonalarini modernizatsiya qilish va kon-metallurgiya sohasidagi korxonalarining ishlab chiqarish hajmini oshirish, mineral resurslardan foydali komponentlarni kompleks qayta ishlash va maksimal miqdorda qazib olish, chiqindilarni qayta ishlash darajasini oshirishga qaratilgan samarador texnologiyalarni yaratish bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada YOTening chiqindi eritmalaridan noyob yer elementlarning (NYE) selektiv konsentratsiyasining eng samarali texnologik yechimlarini aniqlash, noyob elementlarga ega yarim mahsulotlarni ekstraksion tozalashning optimal texnologik parametrlarini asoslash, qora slanets (QS) ma‘danlarini kompleks qayta ishlashning texnologik parametrlarini aniqlashga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda «Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ va «Navoiyuran» DK ishlab chiqarish korxonalarini samaradorligini oshirish bo‘yicha ilg‘or ilmiy asoslangan chora-tadbirlarni joriy qilib, qator ilmiy-amaliy natijalarga erishilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qarorida <sup>1</sup> «Respublikada tog‘-kon korxonalarini mineral-hom ashyo bazasidan foydalanish samaradorligini oshirish» kabi muhim vazifalar balgilangan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda, uran ma‘danlarni kompleks qayta ishlashga qaratilgan tadqiqotlar katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-4947-son Farmoni, 2019-yil 17-yanvardagi “Tog‘-kon-metallurgiya sanoati korxonalarini faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4124-son Qarori, 2022-yil 14-iyuldagi “2022-2030-yillarda uranni ishlab chiqarish, qayta ishlash hajmini oshirish va “Navoiyuran” DKni transformatsiya qilish chora-

---

<sup>1</sup> O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 17 yanvardagi PQ-4124-son «Kon-metallurgiya tarmog‘i korxonalarini faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi Qarori

tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-319-son Farmoni, shuningdek, ushbu sohada qabul qilingan boshqa huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning Respublika ilm-fan va texnologiyalari rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi.** Mazkur tadqiqot ishi Respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning VII. “Yer to‘g‘risidagi fanlar (geologiya, geofizika, seysmologiya va minerallarni qayta ishlash)” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

**Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi**<sup>2</sup>. Uran ma‘danlarni boyitish va kompleks qayta ishlash texnologiyasini yaratishga qaratilgan ilmiy izlanishlar dunyoning yetakchi ilmiy markazlari hamda oliy ta‘lim muassasalari, jumladan: University of Nevada (AQSh), University of Utah (AQSh), Institute of Condensed Matter Chemistry (Fransiya), Antverpen universiteti RUCA (Belgiya), Seoul Nation University of Science and technology (Janubiy Koreya), Nuclear Physics Institute (KXDR), University of Cape Town (Janubiy Afrika), University of the Witwatersrand (Janubiy Afrika), Rossiya davlat geologiya-qidiruv universiteti (Rossiya Federatsiyasi), Zabaykal davlat universiteti (Rossiya Federatsiyasi), “Yuqori texnologiyalar instituti” MChJ (Qozog‘iston), “MISiS” Milliy tadqiqot texnologiya universiteti (Rossiya Federatsiyasi), Navoiy kon-metallurgiya kombinati (NKMK) markaziy ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi va Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida (O‘zbekiston) olib borilmoqda.

Uran ma‘danlarni kompleks qayta ishlash usullarini ishlab chiqish hamda ularni takomillashtirishga doir jahonda olib borilgan tadqiqotlar natijasida qator, jumladan, quyidagi natijalar olingan: gidrogen konlarini ochishning yangi tizimi ishlab chiqilgan (Kimyoviy texnologiyalar bo‘yicha «Rosatom» davlat korporatsiyasining yetakchi ilmiy-tadqiqot instituti); vodorod peroksidini oksidlovchi vosita sifatida qo‘llash usuli ishlab chiqilgan (“Yuqori texnologiyalar instituti” MChJ); tanlab eritish uchun erituvchi sifatida ammoniy karbonatdan foydalanish texnologiyasi ishlab chiqilgan (University of Nevada); gazzimon oksidlovchilarni dozirovka uchun asboblarni ishlatilgan (University of Utah); uranni yer ostida tanlab eritmaga o‘tkazishda gidrodinamik jarayonlarni takomillashtirilgan (RUCA Antverpen universiteti va Navoiy davlat konchilik instituti, O‘zbekiston) samarali reagentlar - natriy gipoxlorit, texnik kislorod, havo kislorodidan foydalangan holda uran qazib olishning yangi texnologiyalari yaratilgan (Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti).

Dunyoda, uran ma‘danlarni boyitish va kompleks qayta ishlash bo‘yicha qator, jumladan, quyidagi ustuvor yo‘nalishlarda tadqiqotlar olib borilmoqda: uran tarkibli konlardagi mahsulдор eritmalaridan yo‘ldosh noyob elementlarni ajratib olish usullarini ishlab chiqish; gidrogen konlarni tanlab eritmaga o‘tkazish jarayonini yanada takomillashtirish; qora slanetsli ma‘danlarni kompleks qayta ishlashning yangi texnologiyalarni asoslash va turli xil polielementli uran konlarini o‘zlashtirish.

---

<sup>2</sup> Dissertatsiyaning mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi [www.atlasrockbit.com](http://www.atlasrockbit.com), <http://www.varelintl.com>, [www.dissercat.com](http://www.dissercat.com), <http://vbm.ru>, <https://www.amazon.com>, <http://www.mirknigi.ru> va boshqa manbalar asosida ishlab chiqilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi** Foydali qazilmalarni yer ostida va uyumlab tanlab eritish usulida qazib olish, mineral xomashyoni kompleks qayta ishlash orqali noyob metallarni ajratib olishni o'rganish rivojiga xorijiy va mahalliy olimlar: V.N.Nebera, Yu.V.Nesterov, B.V.Gromov, L.I.Lunev, V.A.Mamilov, R.P.Petrov, R.X.Sadikov, K.S.Sanakulov, O.F.Petuxov, D.I.Skorovarov, Z.B.Abishev, Y.A.Tolstov, G.S.Sattarov va boshqa olimlar salmoqli hissalarini qo'shganlar.

Jahon amaliyotida qora slanetsli uran ma'dan konlarini oqilona o'zlashtirishda uyumlab sulfat kislotali tanlab eritish texnologiyasi o'zini yaxshi isbotladi. Ushbu texnologiya eritmaga o'tkazilish jarayoni jadal kisotali rejimda (25-30 mg/l) olib boriladigan va mahsuldor eritmalarni keyingi qayta ishlash kuydirish, cho'ktirish, neytrallashtirish hamda sorbsiya bosqichlarini o'z ichiga oladigan, hozirgi vaqtda iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lmagan, shuningdek, atrof-muhitning ifloslanishi bilan bog'liq bo'lgan uran-vanadiy ma'dan konlarini ishlab chiqarishga jalb qilish imkonini beradi.

Shuning uchun past konsentratsiyali qimmatbaho komponentlarga ega uran xomashyosini kompleks qayta ishlashning mavjud texnologiyalarini takomillashtirish va yangi texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy muammo bo'lib, uran tarkibli ko'p elementli konlarni yer ostida va uyumlab tanlab eritish usullarini ishlab chiqish samaradorligini oshirishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

**Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti ilmiy-tadqiqot rejasiga muvofiq FZ-201907185 "Sust o'tkazuvchi uran rudalarini yer ostida tanlab eritish texnologiyasini ishlab chiqish" (2020-2022) va FZ-2019081428 "Yer ostida ishqorlash eritmalaridan reniyni ajratib olishning optimal texnologiyasini ishlab chiqish" (2021-2023) mavzularidagi loyihalar doirasida bajarilgan

**Tadqiqotning maqsadi** – yo'ldosh, noyob yer elementlarni kompleks qazib olishga qaratilgan texnologik va texnik yechimlarni joriy etish orqali uranli ma'danlarni kompleks qayta ishlashning ilmiy-texnik asoslarini ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqot vazifalari:**

Qizilqum mintaqasidagi uran konlarining geologik xususiyatlarini va ularni kompleks qayta ishlash ob'yektlari sifatida tahlil qilish;

uran ishlab chiqarish eritmalaridan reniy olish texnologiyasini ishlab chiqish, takomillashtirish va joriy etish;

uran qazib olishning qoldiq eritmalaridan NYE konsentratini ishlab chiqarish bilan bog'liq bo'lgan noyob yer elementlarini ajratib olish texnologiyasini kompleks tadqiq qilish;

uran-vanadiy qora slanetsli ma'danlarni qayta ishlash va boyitish jarayonida foydali komponentlarning taqsimlanish bo'yicha oldin amalga oshirilgan tadqiqotlar tahlil qilish;

Ma'danli konining qora slanetsli ma'danlarini tanlab eritish texnologiyasining, hamda mahsuldor eritmalarni noyob metallarni sorbsion va ekstraksiyon

konsentratsiyalash usullari yordamida qayta ishlashning laboratoriya va tajriba-sanoat sinovlarini o'tkazish.

**Tadqiqot obyekti** sifatida yer ostida tanlab eritish va uran tarkibli qora slanetsli ma'danlar mahsuldor eritmalaridan uranni sorbsion ajratib olish natijasida hosil bo'ladigan qoldiq eritmaları olingan.

**Tadqiqot predmetini** uran ishlab chiqarish eritmaları va qora slanetsli ma'danlarini uyumlab tanlab eritish mahsuldor eritmalaridan noyob metallarni ajratib olish texnologiyasi tashkil etgan.

**Tadqiqot usullari.** Dissertatsiya ishini bajarishda tabiiy uran qazib olish, rangli va noyob metallarni metallurgiya ishlab chiqarish bo'yicha faoliyat yuritayotgan korxonalaridagi ilmiy-texnik ma'lumotlar va tajribalarni tahlil qilish; analitik, atom-adsorbsion va fotokalorimetrik usullardan foydalangan holda nazariy tadqiqotlar; laboratoriya tajribalari, tajriba-sanoat sinovlari va ishlab chiqilgan usullarni ishlab chiqarish sharoitida sinovdan o'tkazish; pH-metriya, granulometrik tahlil, tajriba ma'lumotlarini qayta ishlashning matematik usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

uranni qazib olish jarayonida noyob metallarning xususiyatlariga tegishli qonuniyatlarni birinchi marta YOTE texnologiyasining noyob metallarni yer qa'ridan mahsuldor tanlab eritish jarayoniga ta'siri va ularning joylashish shakllari aniqlangan;

uranni tanlab eritish texnologik eritmalaridan reniyni (BO-020, KEP-200, RA-174 ionitlarida) va noyob yer elementlarini (S-150, TOKEM 101, Dowex kationitlarida) sorbsiyalash-desorbsiyalash kinetikasi aniqlangan;

texnologik eritmalarda noyob yer elementlari va boshqa yo'ldosh aralashmalarining joylashish shakllarini  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  sulfat ammoniy desorbsiya eritmalarining to'yingan NYE kationitlarining desorbsiyasida desorbatlarda aralashmalar miqdorining pasayishiga ijobiy ta'siri aniqlangan;

tributifosfat bilan suyuq fazali ekstraksiyaning hal qiluvchi roli kimyoviy boyitish usuli sifatida xomaki mahsulotdan NYE sof konsentratini olish jarayonida aniqlandi, bunda 48,9% NYE tarkibiga ega bo'lgan mahsulot olingan;

Ma'danli konining qora slanetsli ma'danlarini uyumlab tanlab eritish jarayonida uran, mis va vanadiyning eritmaga o'tish kinetikasi aniqlandi va sug'oriladigan eritmalarining kislotaligiga qarab unumdor eritmalarda ularning miqdori o'zgarishi aniqlandi hamda, qora slanetsli ma'dan materialini dastlabki kislotalash bosqichini joriy etish vanadiyning uyumlab eritmaga o'tkazishda ajralib chiqishini oshirish imkonini berish usuli ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

uranni er osti qoldiq eritmalarini reniy uchun selektiv anion almashtirgich va noyob yer elementlarini ajratib olish uchun kation almashtirgich yordamida, dastlabki bosqichida NYE 9,1% gacha, keyin qora konsentrat tarkibidagi NYE ni 48,9% gacha boyitishning texnologiyasi ishlab chiqilgan;

uranni sorbsiyalashdan so'nggi eritmalaridan reniy olishda eng samarali kuchsiz asosli anion almashinadigan smola RA-174 (reniy bilan to'yinganligi 16,9 mg/g gacha), NYE - kation almashinuvchi C-150 ( $\Sigma$ NYE da to'yinganlik 3,45 mg/g gacha) ekstraksiyasida esa eng samarali ekanligi aniqlangan.

konsentratni keyingi qayta ishlash uchun kuydirish bosqichini olib tashlash imkonini beradigan tajriba-sanoat qurilmasida 100 g/l konsentratsiyali ammoniy bikarbonat  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  eritmasi bilan NYE desorbatini cho'ktirish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

kislotalanish jarayonining dastlabki bosqichida (-25+5) mm toifadagi ma'dan materialining sulfat kislota (66 kg/t) bilan sulfatlanishi eritmalarining shtabel orqali sirkulyatsiya rejimida sug'orib, so'ngra kislotalangan ma'danni 10-12 l/ m<sup>2</sup> · soatlik sug'orish zichligida sust kislotali eritma bilan sug'orish va kichik sinfli (-5+0) mm ma'danni nisbatan konsentrlangan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (300 g/l) eritmasi bilan aylanadigan barabanli skrubberda tanlab eritish jarayonlarini o'z ichiga olgan QS ma'danlarini qayta ishlash texnologiyasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi quyidagilar bilan tasdiqlanadi: masalalarni qo'yishning to'g'riligi, laboratoriya va tajriba-sanoat sinovlarining yetarli va statistik jihatdan asoslangan hajmi; tarkibida uran bo'lgan ma'danlarni kompleks qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha ishlarning asosiy g'oyasini miqdoriy jihatdan tasdiqlash; haqiqiy natijalarni laboratoriya sinovlari va noyob elementlarni sorbsiyalash va ekstraksiya konsentratsiyasining fizik-kimyoviy asoslari usullari bilan mos kelishi; ishlab chiqilgan qayta ishlash texnologiyasini tajriba sharoitida sinovdan o'tkazishda olingan ijobiy natijalar; taklif qilingan tavsiyalar, usullarning sanoat aprotatsiyasi va erishilgan texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar bilan isbotlangan.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati lantanoidlar guruhining reniy va noyob yer elementlarining ion holatini turli muhitlarda aniqlash asosida olingan natijalardan ularning sorbsiya kinetikasini o'rganishda foydalanish orqali aniqlanib, past konsentratsiyali (Re - 0,8 mg/l dan kam, NYE - 17 mg/l dan kam) uran sorbsiyasidan so'nggi eritmalaridan, shuningdek, to'yingan kation almashtirgichdan NYE desorbsiyasi uchun ammoniy sulfatdan foydalanish, desorbatdan NYE ni taqsimlab cho'ktirish, sof NYE konsentratini olish uchun qora konsentratni olishda uni keyinchalik ekstraksiyalash bilan qayta tozalash, uran tarkibli qora slanets ma'danlarini kompleks qayta ishlashda ma'danni tanlab eritishda dastlabki kislotalash usulini qo'llashning samaradorligini nazariy baholash orqali asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ammoniy perrenat ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va uran sorbsion sorbsiyadan so'nggi eritmalaridan sof NYE konsentratini olishning texnologik sxemasini ishlab chiqish, shuningdek mineral uran xomashyosini qayta ishlash samaradorligini oshirish bo'yicha texnologik yechimlarni ishlab chiqishni va tarkibida xomashyo bo'lgan - qora slanets ma'danlari azot oksidi uran, vanadiy va mis konsentratlari shaklida tayyor mahsulot ishlab chiqarishga xizmat qiladi.

**Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi.** Qizilqum mintaqasi konlaridan uran tarkibli ma'danlarni kompleks qayta ishlash texnologiyasi bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

Qizilqum konlarida uran mahsuldor eritmalaridan selektiv sorbsion-desorbsiya, ekstraksiya va plazma kimyosi usulida reniy ni bog'liq holda olishning kombinatsiyalangan texnologik sxemasi Navoiy kon-metallurgiya kombinatida

amaliyotga joriy etilgan (Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJning 2023 yil 2 iyundagi 23/01-01-07/261-son ma'lumotnomasi). Natijada, yiliga 300 kg gacha hamda 99,975%li toza metall reniy ishlab chiqarish quvvatiga ega bo'lgan laboratoriya qurilmasi yaratishini imkonini bergan;

Zafarobod kon boshqarmasi GTK-2 va 3 dagi tajriba-sanoat qurilmasida uranni YOTening sorbsiyadan so'nggi eritmalaridan noyob yer elementlarini olish usuli Navoiy kon-metallurgiya kombinatida amaliyotga joriy etilgan (Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJning 2023 yil 2 iyundagi 23/01-01-07/261-son ma'lumotnomasi). Natijada, 48,9% konsentratsiyali NYE oksidlarining dezaktivatsiyalangan guruhli konsentrati olish imkonini bergan;

Uchquduq maydonidagi GTK tajriba-sanoat qurilmasida ma'dan materialini dastlabki kislotalash bilan qora slanetsli ma'danlarni uyumlab tanlab eritish usuli Navoiy kon-metallurgiya kombinatida joriy etilgan (Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJning 2023 yil 2 iyundagi 23/01-01-07/261-son ma'lumotnomasi). Natijada, ma'dandan uranni to'g'ridan-to'g'ri ajratib olish 76,4%, mis 65,9% va vanadiy 33,0% ni tashkil etish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqotlarning natijalari 5 ta respublika va 5 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarida aprobatsiya qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan 1 ta ixtiro patenti, 2 ta foydali modelga patent, 1 ta monografiya, O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarini asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola nashr etilgan, jumladan 6 ta respublika va 2 ta xorijiy jurnallarda.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiyaning tarkibi kirish, beshta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati hamda ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 199 betni tashkil etgan.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

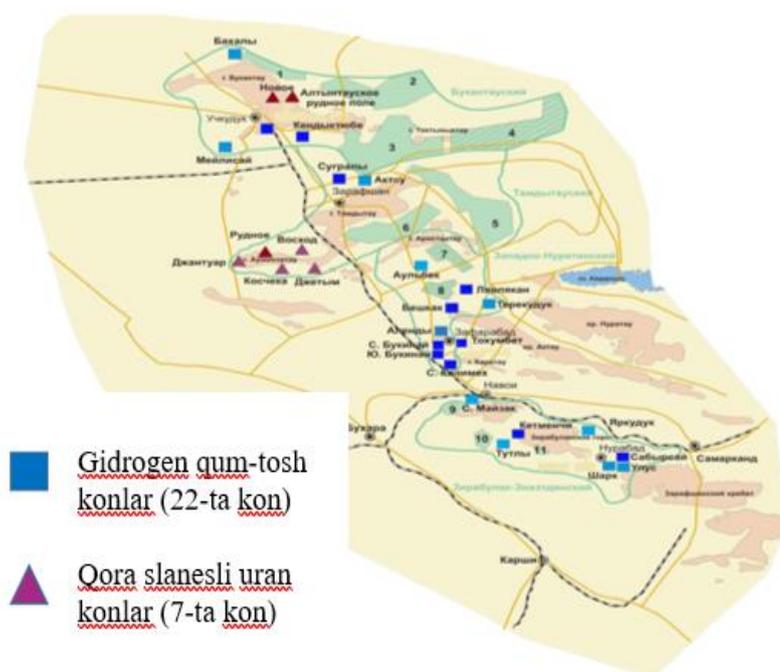
**Kirish** qismida olib borilgan tadqiqotning dolzarbligi va zaruriyati, tadqiqotning maqsad va vazifalari asoslangan, obyekt va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning Respublika fan va texnikasini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi ko'rsatilgan, ilmiy yangilik va tadqiqotning asosiy yo'nalishlari ko'rsatilgan, tadqiqotning amaliy natijalari, olingan natijalarning ilmiy-amaliy ahamiyati ochib berilgan va natijalarni amaliyotga tatbiq etilgan tadqiqot ishlari, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Qizilqum hududi uran tarkibli ma'danlarining geologik xususiyatlari ularni kompleks qayta ishlash obyekti sifatida”** deb nomlangan birinchi bobida Qizilqum hududi uran tarkibli ma'danlarining geologik xususiyatlari tahlil qilingan va muammoni bilish holatiga ko'ra uran konlarining umumiy tavsifi berilgan.

Mintaqadagi asosiy uran zahiralari ikkita asosiy tur ko'rinishida taqdim etilganligi batafsil o'rganilgan: vodorodli infiltratsiya va metamorflangan konlar,

ular da urandan tashqari, reniy, vanadiy, NYE, mis, skandiy va boshqalar kabi bogʻlangan metallar mavjud. (1-rasm).

Mezo-kaynozoyning qumli-gilli konlarida joylashgan uran konlarining sanoat minerallashuvining oʻziga xos xususiyati ularning ekzogen epigenetik tuzilishi boʻlib, ular qatlam-oksidlangan zonalarning boʻrtib chiqish chegaralari bilan boshqariladi. 90-yillarda Qizilqum hududida uran konlarini aniqlash boʻyicha olib borilgan geologik qidiruv ishlari asosida uran kabi reniyning tarqalishi umumiy geokimyoviy zonallikka boʻysunishini aniqlandi.



**1-rasm. Qizilqum hududidagi uran konlar**

Kislorod hosil qiluvchi suvlarda mavjud boʻlgan va pasayish natijasida choʻkishga qodir boʻlgan har bir element uchun oʻziga xos fazoviy ajratilgan (mahalliy birlashtirilgan) geokimyoviy toʻsiq mavjud. Qaytarilish toʻsiqida uran va reniydan tashqari selen, seriy va lantan, itriy va boshqa metallar ham toʻplanadi. (1-jadval).

1-jadval

**Gidrogen konlarida uran tarkibli maʼdanlardagi noyob metallarning oʻrtacha miqdori, %**

Element	Gidrogen konlar					
	Istiqlol	Sh. Konimex	Kuhnur	Loyliken	Beshqoq	Bukinay
Re	0,093	0,095	0,065	0,012	0,009	0,073
Sc	0,035	0,038	0,015	0,042	0,014	0,022
Mo	0,017	0,021	0,020	0,051	0,034	0,015
Se	0,028	0,046	0,011	0,014	0,010	0,025
$\Sigma$ La	0,025	0,022	0,018	0,015	0,017	0,011

Boshqa bog‘langan metallarning alohida ma‘danlarining paydo bo‘lishi kuzatilmaydi, chunki bunday sharoitda ularning lokalizatsiyasi eng kam ifodalangan. Ko‘rinib turibdiki, uran ma‘danli gorizontlarda reniy, skandiy, molibden va ma‘lum darajada noyob yer elementlari eng keng tarqalgan. Buning dalili alohida konlar uchun ma‘lum bir sanoat manfaati bo‘lgan konsentratsiyalarda uranni YOTE eritmalarida ushbu metallarning mavjudligidir.

Gidrogen qumtoshlardan farqli o‘laroq, qora slanets ma‘danlarining metamorflangan konlari jins hosil qiluvchi karbonli-kremniyli, fillitsimon karbonli-argilli slanetslar va ularning brekchilari bilan ifodalanadi. Qora va quyuq kulrang rangdagi karbonli-kremniyli slanetslar, shay va ingichka slanetslar, qattiq va mo‘rt. Qora slanetslar ulardagi organik moddalarning qo‘shilishi tufayli olingan. Asosiy uran minerallari uran vanadatlari bo‘lib, ular karnotit va tyuyamunit bilan ifodalanadi. Subordinativ miqdorda uran fosfatlari va nasturan mavjud. Bundan tashqari, uran temir gidroksidlari, gil minerallari va organik moddalarda mustahkamlanadi. Vanadiyning ko‘p qismi vanadatlar bilan bog‘liq - roskoelit (qiyin qayta ishlanadigan mineral), folbortit va korvusit. Vanadiyning ozgina qismi uran vanadatlari tarkibiga kiradi. Vanadiy va mis yo‘ldosh qimmatli komponentlar sifatida qiziqish uyg‘otadi (2-jadval).

2-jadval

Qora slanetsli ma‘dan konlarida noyob metallarning o‘rtacha miqdori, %

Element	Qora slanetsli ma‘dan konlari			
	Ma‘danli	Djantuar	Qoscheka	Qushquduq
Re	0,006	0,004	0,008	0,005
Cu	0,087	0,038	0,015	0,042
Mo	0,008	0,032	0,015	0,021
V	1,100	0,254	0,880	0,211
$\Sigma$ NYE	0,015	0,022	0,018	0,014

Amaliy natijalar va tadqiqotlar asosida YOTE usulida qazib olingan uran konlarining to‘rt guruhga bo‘lingan holda tasnifi ishlab chiqildi: juda qulay qazib olish sharoitiga ega; qulay qazib olish sharoitiga ega; noqulay qazib olish sharoitiga ega; qazib olish uchun yaramaydigan.

Dissertatsiyaning **“Qumtosh tipidagi gidrogen konlarning uran tarkibli ma‘danlarini qazib olishda reniyni yo‘ldosh ajratib olish texnologiyasini joriy etish”** deb nomlangan ikkinchi bobida ikki yo‘nalishdagi tadqiqot natijalari taqdim etilgan: 1 - reniyni sorbsion konsentratsiyalash usullaridan foydalanish samaradorligini oshirishni o‘rganish, bunda ammoniy perrenatning tayyor mahsulotini olish; 2 - ionoplazmatik vodorodni qayta tiklash texnologiyasidan foydalangan holda metall reniy olish asosiy yo‘nalishlari aniqlangan.

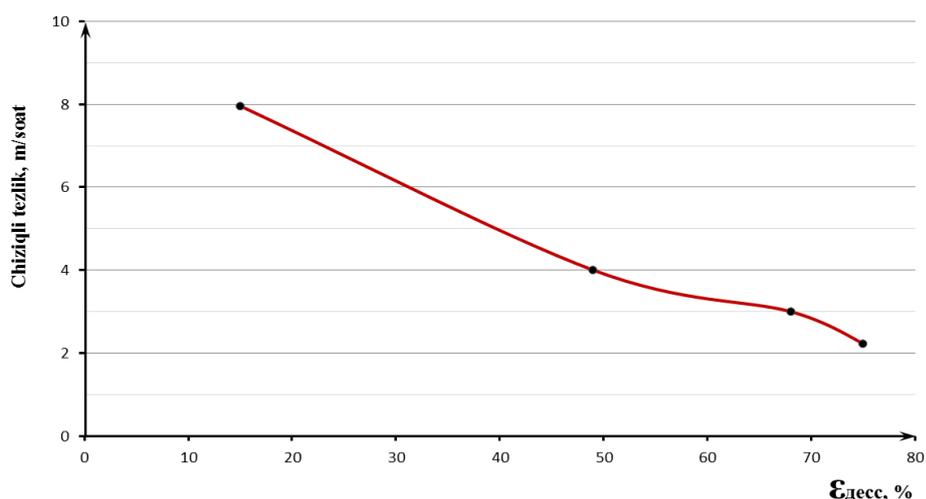
Reniyning bog‘liq ekstraksiyasini o‘rganish jarayonida reniy miqdori 1,0 mg/l gacha va sulfat kislota konsentratsiyasi 3 g/l gacha bo‘lgan uranni yer ostida tanlab eritish texnologik yechimlari qiziqish uyg‘otadi. Jahon amaliyotida shunga o‘xshash sharoitlar eng kam qo‘llaniladi, chunki bunday texnologik sxemalarni amalga oshirish har doim ham iqtisodiy jihatdan samarali emas.

$\text{ReO}_4^-$  perrenat ioni shaklida bo‘ladi, buning asosida kuchli asosli anion

almashtirgichda reniy va uranning birgalikda sorbsiyasi aniqlandi.

Bir qator sorbentlar zaif va kuchli asosli anion almashinuvchilarga bo‘linadi. Uran va reniyni sulfat kislota va gidrokarbonat eritmalaridan birgalikda ajratib olish jarayonida makrog‘ovak tuzilishga ega kuchli asosli anion almashinuvchi VO-020 ning sorbsion xarakteristikalari o‘rganildi. Natijada, anion almashinuvchilariga yuqori yaqinlikka ega bo‘lgan reniy eritmadagi muvozanat konsentratsiyasi sezilarli darajada past bo‘lishiga qaramay, uran bilan birga sorbsiyalanganligi aniqlandi, shuning uchun desorbsiya jarayonida uran va reniyni ajratish imkoniyati mavjudligi aniqlandi.

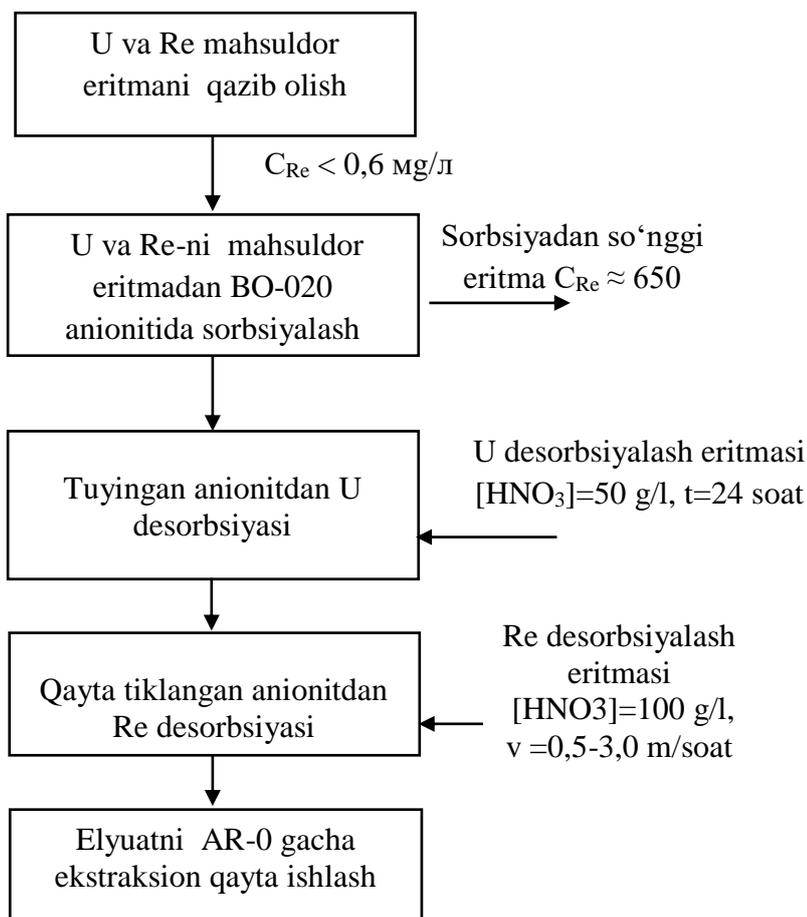
Reniy desorbsiyasining yanada oqilona usuli desorbsion eritmaning mavjud tarkibi va haroratini o‘zgartirmasdan eritmalarning solishtirma o‘tkazish tezligini (desorbsiya vaqtining ko‘payishi) kamaytirish bo‘lishi mumkinligi aniqlandi (2-rasm).



**2-rasm. Desorbsiyalash eritmasi chiziqli tezligining reniyning desorbsiya darajasiga ta'siri**

Shunday qilib, kinetik omildan foydalanib, reniyning desorbtsiyalanish darajasini desorbsion eritmaning konsentratsiyasini oshirmasdan turib oshirish mumkin.

Olingan tadqiqotlar asosida YOTE eritmalaridan reniy olishning texnologik sxemasi (3-rasm) ishlab chiqildi va O‘zbekiston Respublikasining 17.04.2018 yildagi FAP 01713-sonli patenti bilan himoyalandi.



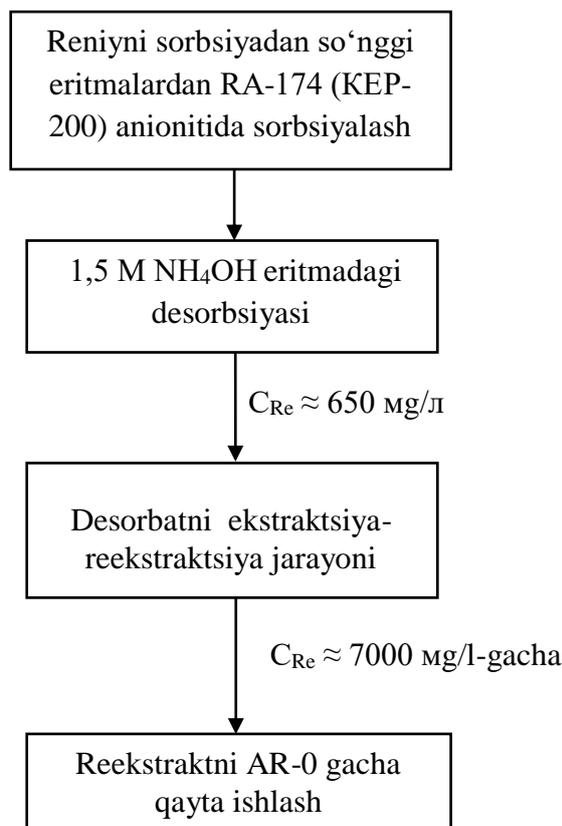
**3-rasm. BO-020 anionitida eritmalaridan uran va reniyni birgalikda sorbsion ajratib olish texnologik sxemasi**

Tadqiqotlarimizda reniyning qo‘shimcha manbai sifatida biz uran va reniyning birgalikda sorbsiyasi uchun sorbsiyadan so‘nggi eritmalarini ko‘rib chiqdik. Nisbatan past sig‘imli xarakteristikalar tufayli uranni sorbsiya qilish uchun zaif asosli anion almashinuvchilar ishlatilmaydi. Biroq, ularni uran sorbsiyasining sorbsiyadan so‘nggi eritmalaridan reniyni sorbsiyalash uchun foydalanish (uranning qoldiq konsentratsiyasi 0,5 - 2,0 mg/l va reniy 0,2-0,4 mg/l) juda istiqbolli ko‘rinadi. Reniy sorbsiyasi uchun anion almashtirgichni tanlashda bir qator ma‘lum (KEP-200, AN-21, AN-105) va yangi (RA-174) kuchsiz asosli anion almashtirgichlardan foydalanilgan.

Sinov natijalari shuni ko‘rsatadiki, zaif asosli anionitlar ichidan reniy bo‘yicha KEP 200 - 14,5 mg/g va RA-174-14,2 mg/g eng yuqori SASga ega.

Laboratoriya sharoitida to‘yingan zaif asosli anion almashinuvchining desorbsiyasi uchun  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1,5N),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (2N) +  $\text{HNO}_3$  (2N) va  $\text{HNO}_3$  (4N) ko‘rinishida yanada qulayroq eritmalar sinovdan o‘tkazildi. Sinov natijalariga ko‘ra, 1,5N (60 g/l)  $\text{NH}_4\text{OH}$  ning eng arzon eritmasi raqobatchilardan kam emasligi va reniy desorbsiyasi darajasiga 68,6% gacha erishish imkonini berishi aniqlandi.

Reniy bog‘liq holda ajratib olishga bag‘ishlangan barcha tadqiqotlar majmuasi ma‘lumotlariga asoslanib, biz RA-174 yoki KEP-200 zaif asosli anionitlardan foydalangan holda uran sorbsiyalashdan so‘nggi eritmalaridan reniy olishning texnologik sxemasini ishlab chiqdik (4-rasm).

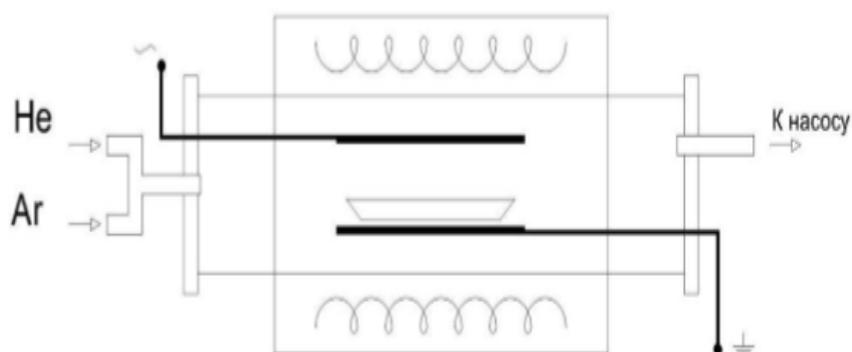


**4-rasm. Zaif asosli anionitlarda sorbsiyadan so'nggi eritmalardan renini ajratib olishning tarkibiy sxemasi**

Ishlab chiqilgan texnologik sxemaning yakuniy mahsuloti ammoniy perrenat AR-0 navi bo'lib, unda reniy miqdori 69,3% ni tashkil qiladi. Reniy metallurgiyasi amaliyotida reniy metall odatda vodorodni qaytarish yo'li bilan olinadi. Qaytarilish jarayoni odatda quvurli elektr pechlarda vakuum ostida bir yoki ikki bosqichda ( $T=350-400\text{ }^{\circ}\text{C}$  va  $850-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) amalga oshiriladi.

Jahon amaliyotida sof mahsulot olish uchun turli xomashyolarni plazma bilan qayta ishlash usullarini qo'llash tajribasi mavjud. Ammoniy perrenatning vodorod qaytarilishi sohasidagi tadqiqotimizni amalga oshirish doirasida O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Ion-plazma texnologiyalari instituti bilan hamkorlikda ish olib borildi. Ularning mavjud ilmiy-texnik bazasida vodorod generatori bilan jihozlangan laboratoriya ionoplazmatik qurilmasi yig'ildi, uning sxemasi 5-rasmda ko'rsatilgan.

Tadqiqotlarni o'tkazish jarayonida 500 g miqdoridagi ammoniy perrenatning maksimal yuki bilan o'rnatishning qisqarishi 3 soat ichida sodir bo'lganligi aniqlandi. Olingan metall reniy kukunining uchta namunasi misolida ionoplazma bilan ishlov berish juda yaxshi natijalar ko'rsatganini ko'rish mumkin. Ammoniy perrenatning quyuq kulrang kukun shaklida kamayishi natijasida olingan mahsulot reniy konsentratsiyasi 99,973% ni tashkil etdi, bu Re-1 naviga to'g'ri keladi. Mahsulot hosildorligi 96,5 foizni tashkil etdi.



**5-rasm. Plazma-kimyoviy reaktor uskunasi ning prinsipial sxemasi**

Dissertatsiyaning “**Uranni YOTE eritmalaridan NYE konsentratini olish texnologiyasini tadqiq qilish va ishlab chiqish**” deb nomlangan uchinchi bobida yer osti YOTE jarayonida uranni sorbsion sorbsiyadan so’nggi eritmalaridan noyob yer elementlari-lantanoidlarni olish sohasidagi tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Yakuniy mahsulot sifatida NYE dezaktivasiya guruhi konsentratini olingan bo’lib, buni o’z navbatida lantanoidlar guruhining alohida oksidlariga (seriy oksidi, lantan oksidi) va itriyga ajratish imkoniyati borligi qilingan.

Tadqiqotning dastlabki bosqichida qo’llaniladigan uranni YOTE usulining mahsuldor eritmalaridagi NYE tarkibiga ta’siri aniqlangan (3-jadval).

3-jadval

Mahsuldor eritmadagi noyob yer elementlari miqdorining qazib olish usuliga bog'liqligi

Qazib olish koni	Elementlar konsenrasiyasi, mg/l									
	Noyob yer elementlari						Aralashmalar			
	Y	Ce	La	Gd	Nd	∑NYE	Fe	Ca	Mg	Al
Sulfat kislotali tanlab eritish (mahsuldor eritmasining pH=1,6-2,0)										
MSU-2 «Loyliken»	3,8	8,5	3,2	1,1	1,2	17	750	242	110	165
MSU-8 «Beshqoq»	1,76	3,6	1,62	0,43	1,94	9,35	860	172	95	88
MSU-3 «Sh.Konimex»	2,25	4,2	1,93	0,44	1,99	10,8	640	205	103	116
Bikarbonat tanlab eritish (mahsuldor eritmasining pH=6,2-7,0)										
MSU-9 «Sh.Konimex»	0,33	0,42	0,13	0,04	0,01	0,92	35	471	766	39
MSU-1 «Aulbek»	0,21	0,40	0,12	0,03	0,12	0,88	77	564	275	20
MSU-7 «Teriquduq»	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	13	479	109	12
MSU-6 «Sugrali»	0,04	0,03	0,07	<0,01	0,02	0,16	52	409	99	9

YOTE eritmalarini sertifikatlash natijalarida (4-jadval) aniq ko'rinib turibdiki, NYE konsentratsiyasining qiymatlari YOTE sulfat kislotasi usulining mahsuldor eritmalariga qaraganda kattaroq tartibdir. Shuni ta'kidlash kerakki, seriy guruhining noyob yer elementlari va sulfat kislotada eritmalaridagi itriy erkin kationik shaklda ham, musbat zaryadlangan sulfat kompleks ionlari shaklida ham mavjud. Shuning uchun ularni YOTE eritmalaridan ajratib olish uchun faqat kation almashtirgichlardan foydalanish samaraligi tadqiq qilingan.

Eng samarali kation almashinuvchini tanlash uchun bir qator laboratoriya tadqiqotlari o'tkazildi, ular davomida C-150 eng yaxshi natijalarni ko'rsatdi.

Noyob yer elementlarini desorbsiyalash usulini aniqlash uchun sulfat va nitrat kislotalar, nitrat va sulfat ammoniy eritmaları yordamida NYE ning qiyosiy desorbsiyasi amalga oshirildi (4-jadval).

Bu yerda shuni ta'kidlash kerakki, ammoniy sulfat  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  eritmasining boshqa reagentlarga nisbatan afzalligi shundaki, NYE desorbsiya darajasining nisbatan o'xshash ko'rsatkichlari (70-72%) bilan aralashmalar ancha yomon desorbsiyalanadi. Nitrat kislotada eritmasini ammoniy sulfat eritmasi bilan almashtirganda, desorbatlarda NYE konsentratsiyasi sezilarli darajada o'zgarmaydi (249,8 mg/l), aralashmalar konsentratsiyasi esa, o'z navbatida, deyarli to'rt martaga kamayagan (3303 mg/l dan 780 mg/l gacha).

4-jadval

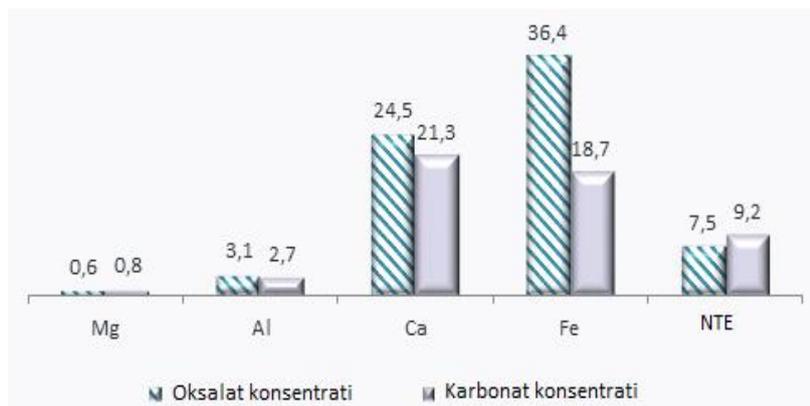
Turli reagentlar bilan noyob yer elementlari va aralashmalar desorbsiyasining qiyosiy natijalari

(desorbsiya shartlari: statik,  $V_{sm} : V_e = 1:5$ ,  $t = 24s$ ,  $t = 40^\circ\text{C}$ )

Desorbsiyalash eritmasi	To'yingan kationidagi elementlar miqdori, mg/g		Kationdagi elementlarning qoldiq miqdori, mg/g		Desorbsiyalash darajasi, %	
	NYE	Aralashmalar	NYE	Aralashmalar	NYE	Aralashmalar
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (100 g/l)	3,2	133,5	0,92	13,2	71,8	90,1
$\text{HNO}_3$ (100 g/l)	3,2	133,5	0,88	11,7	72,5	91,2
$\text{NH}_4\text{NO}_3$ (100 g/l)	3,2	133,5	1,55	60,7	51,6	54,5
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (100 g/l)	3,2	133,5	0,95	103,1	70,3	22,8

Eslatma: aralashmalar - Mg, Fe, Al va Ca asosiy metall aralashmalarining umumiy miqdori.

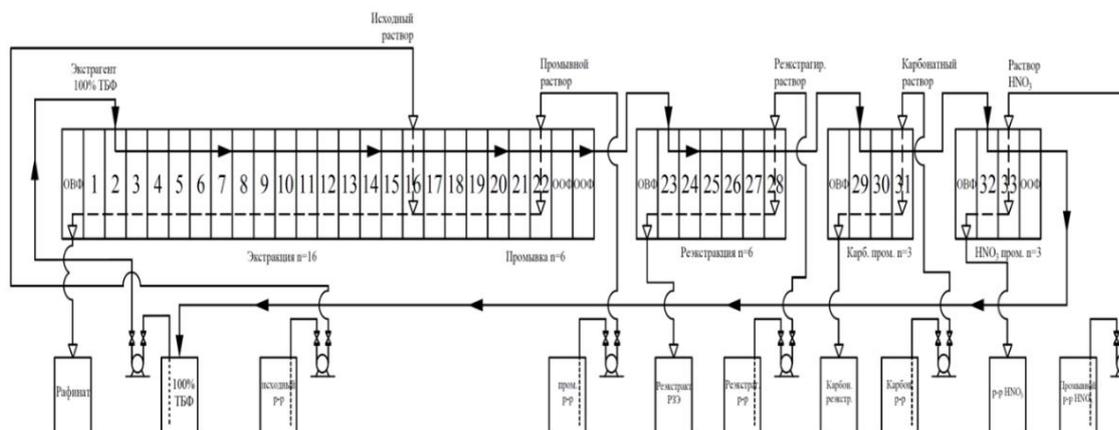
Ammoniy karbonatdan foydalanish bilan an'anaviy ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  - 75%,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  - 6%). Xomaki konsentratdagi aralashmalarni kamaytirish uchun har bir metallning o'ziga xos optimal pH-cho'kma diapazoni mavjudligini hisobga olib, cho'kma jarayonini ikki bosqichga bo'lish taklif etiladi: birinchisi -  $\text{pH}=3,8-4,2$ ; ikkinchisi -  $\text{pH} = 6,0-6,5$  da. Yakuniy natijada quyidagi tarkibdagi NYE xomaki konsentrati olindi (6-rasm).



**6-rasm. Xomaki konsentratlarning qiyosiy tarkibi, %**

Tarkibida NYE bo‘lgan oraliq mahsulotlarni konsentratsiyalash sohasidagi tadqiqotlar amaliyotidan ma’lumki, kimyoviy boyitishning eng samarali usuli bu ekstraksiya texnologiyasidir. Eng keng tarqalgan va mavjud ekstraktor tributil fosfat (TBF). Shu maqsadda NYE xomaki konsentratini oxirgi darajagacha boyitish bo‘yicha bir qator laboratoriya, keyin esa tajriba sinovlari o‘tkazilgan.

Hisoblangan ma’lumotlar asosida texnologik sxema ishlab chiqilib, “Zafarobod” KB da konsentratlarni boyitish bo‘yicha tajriba-sanoat quti tipidagi ekstraksiya qurilmasi barpo etilgan (7-rasm).



**7-rasm. Noyob yer elementlari konsentratini boyitish ekstraksiya uskunasi sxemasi**

Tajriba-sanoat tadqiqoti natijasida 48,9% konsentratsiyali NYE dezaktivatsiyalangan guruhli konsentrat olishiga imkonini berdi (5-jadval).

5-jadval

Noyob yer elementlari gidroksidi sof konsentratining tarkibi

Mahsulot	Miqdori, %										
	Ce	La	Nd	Sm	Gd	Dy	Y	$\sum$ NY E	Fe	Ca	Asam, Bk/kg
NYE sof konsentrat	20,2	3,9	8,4	2,4	2,1	1,6	10,3	48,9	3,1	0,2	725

Dissertatsiyaning “Qora slanets ma’danlarini kompleks qayta ishlash texnologiyasi bo’yicha tadqiqotlar” deb nomlangan to’rtinchi bobda tadqiqotlar natijalari tarkibida uran bo’lgan qora slanets ma’danlarini sulfat kislota bilan tanlab eritish usuli bilan qayta ishlash va uran bilan bog’liq mahsuldor eritmalardan vanadiy va misni ajratib olishdan iborat. Biroq, bunday ma’danlarni qayta ishlashning murakkabligi uran va boshqa qimmatli komponentlarni chuqur selektiv ajratib olish zaruratidadir.

Qora slanets ma’danlarining moddiy va mineralogik tarkibini tahlil qilish shuni ko’rsatdiki, urandan tashqari, vanadiy va misning tarkibi sanoatda qiziqish uyg’otadi. Qora slanets ma’danlari paydo bo’lgan joylarda, qoida tariqasida, suvli qatlamlar mavjud emasligi sababli, ular kon usulida (karyer yoki shaxta) qazib olinadi. Bunday hollarda maydalash va saralash jarayonlari dastlab ma’dan tayyorlash bosqichida amalga oshiriladi. Maydalangan ma’danning granulometrik tahlili shuni ko’rsatdiki, U , V va Cu ning 89-93% gacha 25 mm dan kam bo’lgan fraksiyalarda to’plangan (6-jadval) .

6-jadval

Ma’danli koni qora slanets ma’dani o’rtacha namunasining granulometrik tahlili

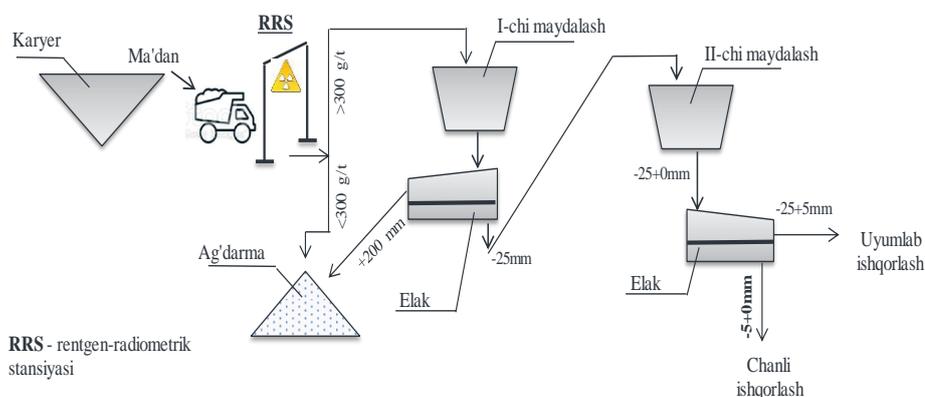
Sinf, MM	Og’irlig, kg	Chiqish, %	Miqdori, g/t			Tarqalishi, %		
			U	V	Cu	U	V	Cu
(+200)	2.6	2.6	330	2900	400	1.1	1.2	1.1
(-200 +25)	13.3	13.3	330	4500	575	5.7	9.7	8.3
(-25+10)	30.5	30.5	650	5000	625	9.9	24.8	20.7
(-10+5)	15.4	15.4	1200	6200	940	23.9	15.5	15.7
(-5+3)	18.1	18.1	1100	7500	1175	25.7	22.0	23.1
(-3+0)	20.1	20.1	1300	8200	1430	33.8	26.8	31.2
Jami	100	100	774	6159	922	100	100	100

Mo, Re va NYE metallari yo’ldosh elementlar sifatida ko’rib chiqiladi , ularni olish bo’yicha kelajakdagi tadqiqotlarga qiziqish mavjud.

AJ NKMK, MRI va Davlat geologiya qo’mitasi mutaxassisleri tomonidan olib borilgan tadqiqotlar natijalariga ko’ra uranning eritmaga ajratib olish darajasi o’rtacha 80% gacha mavjudligini ko’rsatadi, ammo umuman olganda vanadiy qazib olish 26% dan oshmaydi.

Qayta ishlashning eng maqbul va arzon usulini tanlash uchun tadqiqotlar yirik gidrometallurgiya majmualarini tashkil etish zaruratini bartaraf etadigan sulfat kislotali uyumlab va chanli tanlab eritish usuli tanlangan.

Shu bilan bir qatorda, ma’danni boyitish uchun tayyorlash bosqichida tanlab eritishjarayonlarining samaradorligini oshirish maqsadida ma’danni radiometrik saralash va maydalash usullari sinovdan o’tkazildi. Buning natijalariga ko’ra QS ma’danlari uchun boyitish zanjir va apparatlarining sxemasi ishlab chiqilgan (8-rasm).



**8-rasm. Qora slanets ma'danlarni boyitishning zanjir va apparatlar sxemasi**

Qatlamlash uchun tayyorlangan ma'danning mineralogik tarkibini tahlil qilish 30% gacha loy minerallari mavjudligini ko'rsatdi. Ma'danda mavjud bo'lgan gil minerallari namlik va kislota ta'sirida shishiradi va ma'lum bir o'tkazmaydigan ekranni yaratishga yordam beradi. O'z navbatida, kichik ma'dan sinfini granulyatsiya qilishning turli usullarini qo'llash ijobiy natijalar bermadi, chunki sulfat kislota eritmalari ta'siri ostida ular yo'q qilinadi. Shunday qilib, laboratoriya sharoitida ma'danning uyumlab tanlab eritish uchun optimal granulometrik tarkibi aniqlandi, bu kichik (3 mm dan kam) sinfning 15% gacha qayta ishlashga jalb qilinishiga imkon berdi va shu bilan 9-12 l/m<sup>2</sup>·soat optimal diapazonda sug'orish zichligiga erishildi. ( 7-jadval).

7-jadval

**Qora slanets ma'danlarini uyumlab tanlab eritish uchun optimal granulometrik tarkibni aniqlash natijalari**

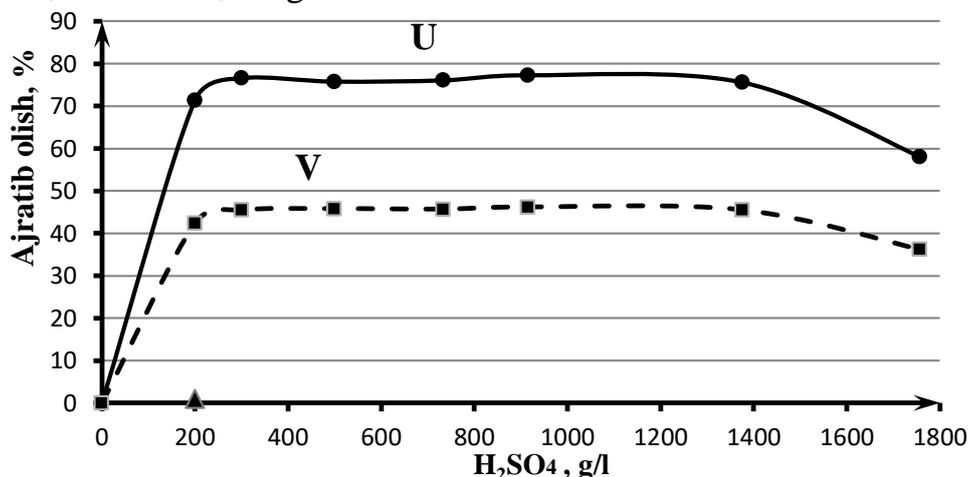
Parametr	Rudaning granulometrik tarkibi, MM							
	Ustun 1		Ustun 2		Ustun 3		Ustun 4	
	(-25+3)	(-3+0)	(-25+3)	(-3+0)	(-25+3)	(-3+0)	(-25+3)	(-3+0)
	100 %	0 %	<b>90 %</b>	<b>10 %</b>	<b>85 %</b>	<b>15 %</b>	80 %	20 %
Sug'orish zichligi, l/m <sup>2</sup> ·s	18		<b>12</b>		<b>9</b>		4	

Oldingi va biz tomonidan olib borilgan tadqiqotlar natijalariga asoslanib, aniq aytish mumkinki, sug'oriladigan eritmadagi sulfat kislota konsentratsiyasi 5-20 g/l oralig'ida uranni tanlab eritish jarayoni ancha dinamik tarzda amalga oshadi. Uni olish darajasi S:Q qiymatlariga qarab 80-90% ga yetadi.

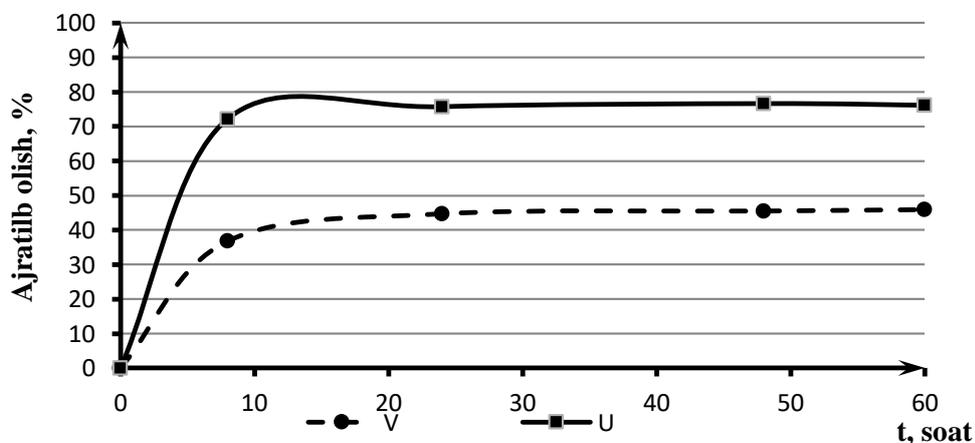
Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, tadqiqotlar natijalarini tahlil qilish vanadiyning kam ajratilib olinishining sababi uning katta miqdorda roskoelit minerali shaklida mavjudligi degan xulosaga keldik. Ba'zi ma'lumotlarga ko'ra, bu mineralda vanadiyning miqdori 65% gacha iborat.

Vanadiy ajratilib olishni ko'paytirish maqsadida laboratoriya sharoitida ma'danni sulfat kislotalaning kuchli eritmalari bilan dastlabki kislotalash, so'ngra suvda yuvish bo'yicha tadqiqotlar olib borildi. Kislotalanish bo'yicha tadqiqotlar natijalari 9- va 10-rasmlarda keltirilgan.

9-rasmdagi natijalardan ko‘rinib turibdiki 200-300 g/l kislota konsentratsiyasi bo‘lgan ma‘danni sulfat kislota bilan dastlabki ishlov berish uran va vanadiy ajratilib olinishining ko‘payishiga olib keladi. Ajratilib chiqish kislotaliligi 200 g/l dan 300 g/l gacha oshishi bilan tiklanish o‘sishi: uran uchun 71,4% dan 76,6% gacha; vanadiy uchun 42,4% dan 45,5% gacha.



9- rasm. Achatish jarayonida kislota miqdorining uran va vanadiy ajratib olishga ta'siri



10- rasm. Achatish jarayonida uran va vanadiy ajratib olish kinetikasi ([H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]=200 g/l)

Tadqiqotning navbatdagi bosqichida laboratoriya sharoitida qora slanets ma‘danlarini uyumlab eritmaga o‘tkazishning mahsuldor eritmalarini kompleks qayta ishlashning texnologik parametrlarini aniqlash zarur edi. Mineral xomashyoni kompleks qayta ishlash texnologiyalarini ishlab chiqishning muhim masalalaridan biri mahsuldor eritmaga singdirilgan komponentlarni alohida ajratib olish usullari va usullarini izlashdir. Hozirgi vaqtda uran qazib oluvchi korxonalarda eritmalardan uran olish uchun ma‘lum ion almashinish texnologiyasi qabul qilingan. Shuning uchun YOTE eritmalarini qayta ishlash masalasini ko‘rib chiqishda biz o‘z tadqiqotlarimizda birinchi navbatda uranni, keyin esa vanadiy selektiv sorbsion konsentratsiyalash sxemasidan foydalandik. Eritmani qayta ishlashning keyingi bosqichlarida mis va NYE ajratib olinishi kerak edi. Quyida QS ma‘danlarini tanlab eritish eritmalarining tarkibi keltirilgan (8-jadval).

Qora slanets ma'danlarini uyumlab tanlab eritishdagi mahsuldor eritmalarda asosiy metallarning o'rtacha miqdori

Namuna	Miqdori, mg/l					
	U	V <sup>4+</sup> / V <sup>5+</sup>	Cu	Fe <sup>3+</sup> / Fe <sup>2+</sup>	P3Э	pH
Mahsuldor eritma	45	57 / < 1,0	38	650 / < 5,0	< 3,0	1,8
Uran sorbsiyasidan so'nggi eritma	1,5	57 / < 1,0	38	420 / < 5,0	< 3,0	1,7
Ajratib olish, %	96,7	-	-	35,4	-	
DAS, mg/g	37,5			71,6		

Tadqiqotlar natijalaridan (8-jadval) ko'rinib turibdiki, vanadiy anion almashtirgichda so'rilmaydi va eritmalarda u to'rt valentlik holatida bo'ladi. Shu bilan birga, turli xil kation almashtirgichlarda sorbsiya natijalari ko'p darajada mis va NYE olish imkoniyatini ko'rsatdi. Ma'lumki, elementlarning ion almashinuv jarayonlarida ishtirok etish qobiliyati, ayniqsa, oksidlanishning eng yuqori darajasida namoyon bo'ladi. Bizning holatda, vanadiyga sorbsiya qilish qobiliyatini berish uchun uni besh valentli holatga o'tkazish kerak bo'ladi. Ushbu yo'nalishda bir qator tajribalar o'tkazildi, ular davomida OTP 1100 mV ga etganida natriy gipoxloritning V<sup>4+</sup> dan V<sup>5+</sup> gacha oksidlanish jarayoniga ijobiy ta'siri aniqlandi.

Shuni ta'kidlash kerakki, bir oz kislotali muhitda V<sup>5+</sup> gacha oksidlangan vanadiy uch soat ichida butunlay V<sup>4+</sup> ga qaytadi. Shuning uchun oksidlanish bosqichi eritmada vanadiyni olishdan oldin darhol amalga oshirilishi kerak. Shuningdek, eritmada pH = 4,0 da oksidlangan vanadiy vanadil anioni VO<sub>3</sub><sup>-</sup> holida ekanligi aniqlandi, buning natijasida KEP-200, D-301G, VPK (amfolit) va A-110 anion almashinuvchilari namunalari sinovdan o'tkazildi, sorbentlar sifatida, ulardan A-110 eng yaxshi natijalarni ko'rsatdi.

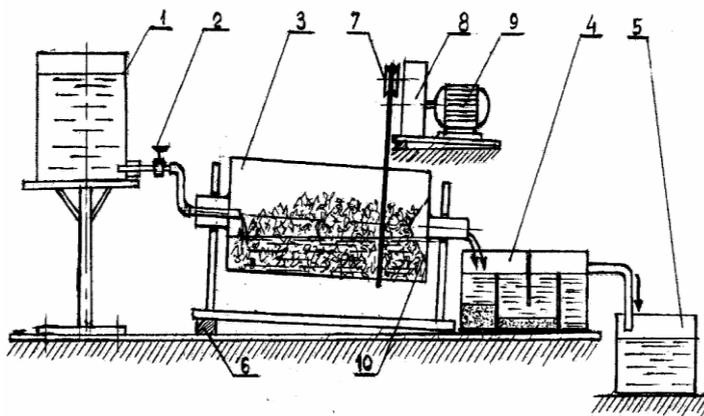
Laboratoriya sharoitida vanadiy bilan to'yingan anionit ammiakli suv bilan ikki bosqichli desorbsiyaga uchragan, natijada desorbatdan nitrat tuzlash usuli bilan V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 82,9% bo'lgan vanadiy konsentratini olingan.

Shu bilan bir qatorda, laboratoriya sharoitida pH=4,0 da ammiakli suv bilan cho'ktirish yo'li bilan vanadiyni uran sorbsion sorbsiyadan so'nggi eritmalaridan ajratish usuli sinovdan o'tkazildi. V = 4,5% miqdorida hosil bo'lgan xomaki konsentrat ishqoriy tozalash va nitrat bilan tuzlashdan o'tkazildi. Olingan yakuniy mahsulot vanadiy konsentratida V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 76,4% ni tashkil qilgan.

Uran va vanadiyni uyum eritmalaridan ajratib olgandan so'ng, uning miqdori 38,6 mg/l oralig'ida bo'lgan misni olish kerak edi. Misni past konsentratsiyali suvli eritmalaridan olishning eng keng tarqalgan usuli - bu temir parchalari bilan sementlash belgalangan.

Temir qipidlari va metallga ishlov berish sanoatining boshqa chiqindilaridan foydalanish cheklanganligini inobatga olib, NKMK AJ tarkibida oltin saqlovchi ma'danlarni gidrometallurgik qayta ishlashning magnit fraktsiyasidan foydalangan holda laboratoriya sharoitida mis sementatsiyasini o'rganish ishlari olib borildi.

11-rasmda aylanuvchi barabandagi eritmalardan misni sementlash uchun laboratoriya qurilmasi ko'rsatilgan.

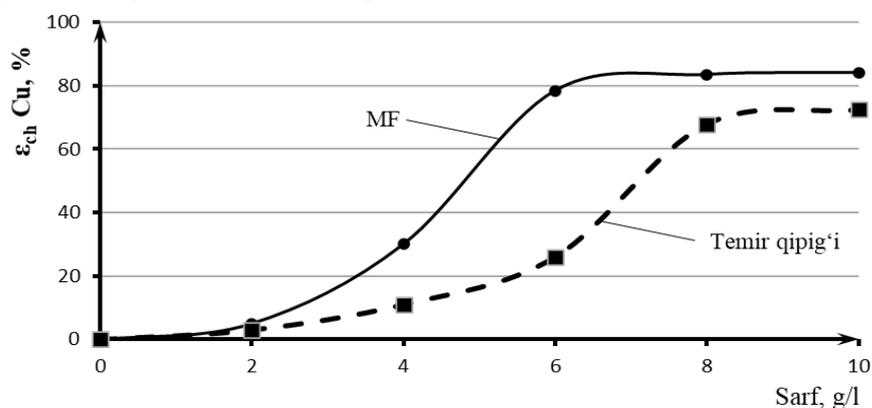


**11-rasm. Misni aylanuvchi barabanda cho'ktirish laboratoriya qurilmasi**

1 - idish; 2 - ventily; 3 - baraban; 4 - tindirgich; 5 – eritmalar yig'imi; 6 – qiyalik boshqargichi; 7 - shkiv; 8 - reduktor; 9 - elektruritma; 10 – panjara.

Temir qipqlari va magnit fraksiyadan foydalangan holda misni sementatsiya qilishning tajribalari natijalari 12- rasmda ko'rsatilgan.

Magnit fraksiyadan foydalangan holda tsementlash bo'yicha tadqiqotlar temir parchalari bilan solishtirganda cho'kindidagi mis miqdori bo'yicha eng yaxshi natijalarni ko'rsatdi. Magnit fraksiyasi (MF) bo'lgan sementlash mahsulotlarida o'rtacha mis miqdori 60% ni, temir qo'shimchalari bilan tajribalarda esa 40% ni tashkil qiladi. Shunday qilib, sementlash jarayonida temir parchalarini magnit fraksiya bilan almashtirish eritmalardan mis cho'ktirilish darajasining 72,5 dan 84,1% gacha oshishiga olib keladi va Cu moddasi bo'yicha cho'ktirilish mahsulotining sifatini 42,4 dan 61,4% gacha yaxshilaydi. Bu MF ning nozik fraksiyasining zarralari qipqlarga qaraganda eritma bilan umumiy aloqa maydoniga ega ekanligi bilan izohlangan.

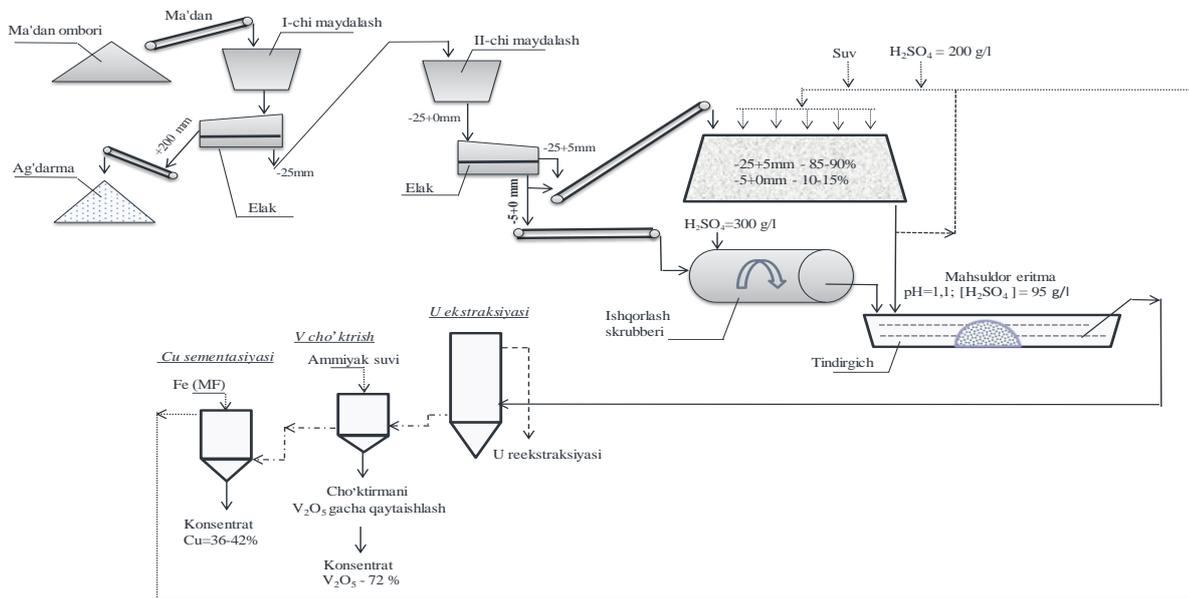


**12- rasm. Misning cho'kish darajasiga qo'llaniladigan metall-sementator turining bog'liqligi**

Dissertatsiyaning “Madanli konining qora slanetsli ma'danlarini kompleks qayta ishlash texnologiyasining tajriba-sanoat sinovi” deb nomlangan beshinchi bobida. nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida Ma'danli konining

qora slanets ma'danlarini dastlabki kislotalash bilan boyitish va kompleks qayta ishlash texnologik sxemasi ishlab chiqildi va tajriba sinovlari orqali sinovdan o'tkazildi, bu tayyor mahsulot sifatida uran oksidi, vanadiy va mis konsentratlari umuman olganda, texnologik sxema 13-rasmda ko'rsatilgan.

Uchquduq ishlab chiqarish maydonchasidagi geotexnologik kon sharoitida tajriba sinovlari o'tkazildi. Shu maqsadda konning 6-uchastkasida LSQ, 394 tonna qora slanets ma'dansi bo'lgan shtabel, uchta texnologik cho'ktirgich, ma'danni mexanik boyitish uskunasi iborat kompleks o'rnatildi. Eksperimental shtabel granulyatsiyasiz ma'dan materialidan tuzilgan.



### 13- rasm. Qora slanets ma'danlarini dastlabki achitish bilan kompleks qayta ishlash tajriba-sanoat qurilmasining zanjir va apparatlar sxemasi

Achitish bosqichi sulfat kislota konsentratsiyasi 200 g/l bo'lgan eritmalar sirkulyatsiyasi rejimida tindirgich orqali amalga oshirildi. Tindirgichdagi eritmalar tarkibi har kuni tahlil qilindi, kislotali eritmalarining sug'orish zichligi  $11,5\text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$  ni tashkil etgan.

Tajriba sinovlari natijasida  $L:T = 4,5:1$  ga erishilganda, achitishiruvchi eritmadagi asosiy metallarning konsentratsiyasi maksimal darajaga yetgan:  $U = 475\text{ mg/l}$ ,  $V = 1785\text{ mg/l}$  va  $\text{Cu} = 645\text{ mg/l}$ .

Tindirgichda hosil bo'lgan sulfat kislota eritmasining umumiy hajmi  $130\text{ m}^3$  ni tashkil etdi, unga  $U = 72,9\%$ ,  $V = 31,6\%$  va  $\text{Cu} = 69,2\%$  shtabeldan olingan.

Shuningdek, 106 tonna hajmdagi ma'dan materialining mayda fraksiyasining ( $<5\text{ mm}$ ) bir qismi aylanuvchi skrubberda konsentratsiyasi 300 g/l va  $S:Q=0,3:1$  sulfat kislota eritmasi bilan kislotalandi. Skrubberdan hosil bo'lgan zich massa maxsus truba orqali to'g'onga ega bo'lgan chuqurga yuborildi. Yig'ma mahsuldor eritmalar ma'danning kislotalangan nozik navi bilan aralashtirilgan bir xil cho'ktiruvchi idishga yuborildi. UEO' ning mahsuldor eritmalarida qoldiq kislota mavjudligi sababli foydali komponentlar ma'dandan kombinatsiyalangan mahsuldor eritmaga yuviladi. Natijada eritmaga uran, vanadiy va misning umumiy olinishi mos

ravishda 81,3%, 38,5% va 79,6% ni tashkil etdgan.

Laboratoriya sharoitida uranni olish uchun ishlab chiqarishda sinovdan o'tgan TAA+TBF+D2EGFK aralashmasi ishlatilgan. Ekstraksiya uchun mahsuldor eritmadan uranni ajratib olish 96,3%, vanadiy 36-41%, mis olinmagan. Shuning uchun uran ekstraksiya rafinatlaridan vanadiyni olish uchun yuqorida tavsiflangan cho'ktirish usulini qo'llash, keyin esa oltin tarkibidagi rudalarni gidrometallurgik qayta ishlashning magnit fraksiyasi bilan misni sementlash eng samarali deb hisoblangan.

Tajriba ishlari natijasida uranning to'g'ridan to'g'ri ajralib chiqishi 76,4%ni, vanadiy - 33%ni, mis - 65,9%ni tashkil qilib, bunda sulfat kislotaning sarfi 193 kg/t ma'dannin tashkil etdi. Qayta ishlashning yakuniy mahsuloti sifatida uran oksidi, 38%li mis konsentrati va 72%li vanadiy beshoksidi  $V_2O_5$  konsentrati ishlab chiqariladi. Yiliga 100 ming tonna ishlab chiqarish quvvatiga ega loyihaning o'zini oqlash muddati 4,4 yilni tashkil etish belgilangan.

## XULOSA

«Qizilqum hududi uran tarkibli ma'danlarini kompleks qayta ishlashning ilmiy-texnik asoslari» mavzusidagi texnika fanlari doktori (DSc) dissertasiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarga asoslangan holda, nazariy va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Amaliy natijalar va tadqiqotlar asosida YOTE usulida qazib olingan uran konlarining tasnifi ishlab chiqildi, unga ko'ra geotexnologik shart-sharoitlarning umumiylikiga qarab to'rtta guruh ajratiladi: - juda qulay qazib olish sharoitiga ega; - qulay qazib olish sharoitiga ega, alohida belgilarning salbiy ta'sirini bartaraf etish bilan; - noqulay qazib olish sharoitiga ega, ko'pgina belgilarning salbiy ta'sirini bartaraf etish bilan; - qazib olish uchun yaramaydigan. Taklif etilayotgan tasnif yangi ishga tushiriladigan konlar uchun kapital xarajatlarni, kutilayotgan (rejalashtirilgan) ko'rsatkichlarni, ish sharoitlarini va yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xatarlarni baholash imkonini beradi.

2. Namunalarning mineralogik tarkibini o'rganish natijalariga ko'ra, qora slanets ma'danlarining vanadiy qazib olinishiga qiyinligining sababi, 65% gacha vanadiyning roskoelit ( $KV_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ ) minerali tarkibida ekanligi va an'anaviy usullar bilan eritmaga o'tkazilishi qiyinligi o'rnatildi. Vanadiyning qolgan qismi korvusit ( $V_2O_4 \cdot 6V_2O_5 \cdot nH_2O$ ), tuyamunit ( $CaO \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot H_2O$ ) va karnotit ( $K_2[UO_2]_2[VO_4] \cdot 3H_2O$ ) minerallarida joylashgan bo'lib, ulardan sulfat kislota eritmasi yordamida osongina ajratib olinadi.

3. YOTE eritmalarida reniyni joylashish shaklini aniqlash uchun elektrodializ usuli qo'llanildi. Bu usul Cu, Zn, Cd, Se va noyob yer elementlari kabi boshqa qimmatbaho metallar kation shaklda ekanligini aniqladi.

4. Kuchli asosli anionitdan reniy desorbsiyasi kinetikasining tahlili desorbsion kolonkalarda desorbsion eritmaning chiziqli tezligini pasaytirishning ijobiy samarasini aniqlash imkonini beradi. Chiziqli tezlik  $v=0,5-3,0$  m/soat bo'lganda reniyni desorbsiya darajasining 49% dan 76% gacha oshishiga erishiladi.

5. Ion-plazma texnologiyasi usulidan foydalanish ammoniy perrenatdan

tozaligi 99,973% bo'lgan Re-1 markali metall reniy olish imkonini beradi.

6. Ishlab chiqilgan, tarkibida noyob yer elementlari (seriy, ittriy, lantan va boshqalar) bo'lgan uranni yer ostida tanlab eritish orqali texnogen chiqindi eritmalarini sorbsion qayta ishlash texnologiyasi desorbat tarkibidagi aralashmalar (Fe, Ca, Mg, Al) konsentratsiyasini 3,3 g/l dan 0,78 g/l gacha kamaytirish imkonini beradi. Bu desorbatdan cho'kish paytida xomaki konsentratdagi NYElar miqdorini oshirishga ijobiy ta'sir ko'rsatadi .

7. Hosil bo'lgan desorbatning tarkibini o'rganish natijasi NYEni cho'ktirishni taqsimlash usulda o'tkazish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi. Birinchi navbatda, temirni pH=3,8-4,2 da ammiakli suv bilan cho'ktirish, so'ngra NYE karbonatlarini ammoniy karbonati eritmasi bilan pH = 6,0-6,5 muhitda cho'ktirish, tarkibida 9,2% NYE bo'lgan karbonat xomaki konsentratni olish imkonini beradi.

8. NYE xomaki konsentratini sof (NYE = 48,9%)gacha kimyoviy boyitish texnologik sxemasi ishlab chiqildi va sinovdan o'tkazildi. Olingan noyob yer elementlarining faolsizlantirilgan guruh konsentratini (675 Bq/kg gacha samarali o'ziga xos alfa faolligi, II sinf) undan Ce, La, Y va boshqa noyob yer elementlarining alohida oksidlarini ajratib olish uchun xom ashyo bo'lishiga imkon beradi.

9. Qora slanets ma'danlarini boyitish jarayonlarida minerallar va elementlarning xususiyatlarini o'rganish asosida uran, vanadiy, mis va gil kichik sinflardagi minerallarda jamlanishi aniqlandi. O'z navbatida, temir, reniy va noyob yer elementlari kabi elementlar barcha o'lcham sinflari bo'ylab bir tekis taqsimlangan. Ma'danli konidan olingan QS ma'danlari namunalarning granulometrik tahlili 25 mm dan kichik sinfdagi uranning - 93,2%, vanadiyning - 89,1% va misning - 90,6% taqsimlanganligini ko'rsatdi. Shunday qilib, maydalashning birinchi bosqichidan keyin +25 mm sinfdagi chiqindi jinslarning ag'darmalarga chiqishi 16% ni tashkil etadi.

10. Ma'danli koni qora slanetsli ma'danlarini uyumda tanlab eritish usuli tajriba-sinov uchastkasida ishlab chiqildi va joriy etildi. Bunda shtabel orqali eritma sirkulyatsiyasi hamda shtabelni zaif  $H_2SO_4$  (3-5 g/l) eritmasi bilan sug'orish, so'ng ma'danni suv bilan yuvish amalga oshiriladi. Buning natijasida mahsuldor eritmada uran miqdori 78,1%, vanadiy 36,1%, mis 76,8% va NYE 55,4% ni tashkil etadi.

11. Qora slanetsli ma'danlarini yuvishning sulfat kislota mahsuldor eritmalarida vanadiyning harakatini o'rganish asosida deyarli barcha vanadiy  $V^{4+}$  tetravalent kation shaklida bo'lishi va sorbsion ekstraktsiya uchun uni OTP=950-1000 mV da besh valentli  $V^{5+}$  holatiga oksidlash zarur.

12. Ma'danli konining qora slanets ma'danlarini kompleks qayta ishlashning mavjud sharoitda optimal bo'lgan texnologiyasi ishlab chiqilib, tajriba sharoitida sinovdan o'tkazildi. Natijada uran qazib olish 76,4%, vanadiy - 33%, mis - 65,9%, sulfat kislotaning solishtirma sarfi 193 kg/t ni tashkil etadi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 17/04.06.2021.Т.06.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАВОИЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**КУРБАНОВ МАШХУР АМОНОВИЧ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ РУД  
КЫЗЫЛКУМСКОГО РЕГИОНА**

**04.00.14 – Обогащение полезных ископаемых**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации доктора **ТЕХНИЧЕСКИХ** наук (DSc)

**Навои - 2023**

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2023.2.DSc/Т625

Докторская диссертация выполнена в Навоийском государственном горно-технологическом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.nsumt.uz](http://www.nsumt.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

<b>Научный консультант:</b>	<b>Санакулов Кувандик</b> доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Мухиддинов Баходир Фахриддинович</b> доктор химических наук, профессор <b>Бердияров Бахриддин Гиловкабулович</b> доктор технических наук, доцент <b>Холикулов Дониёр Бахтиёрович</b> доктор технических наук, доцент
<b>Ведущая организация:</b>	<b>филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в г. Алмалык</b>

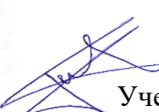
Защита диссертации состоится «26» 10 2023 года в «14<sup>00</sup>» часов на заседании Научного совета DSc. 17/04.06.2021.Т.06.01. (Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 76в. Зал заседаний Навоийского государственного горно-технологического университета. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66; e-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz). [www.nsumt.uz](http://www.nsumt.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горно-технологического университета (зарегистрирован за № 138). (Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 76в. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66.).

Автореферат диссертации разослан «13» 10 2023 года.  
(реестр протокола рассылки № 12 от 13.10 2023 года).



  
**М.М. Якубов**  
Вр.и.о. председателя Научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

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

  
**А.У. Самадов**  
Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире расширение номенклатуры выпускаемой продукции горнодобывающих предприятий является неотъемлемой частью укрепления потенциала экономики любого государства. Наряду с этим, комплексная переработки отходов производства и минеральных ресурсов важна, прежде всего, для наиболее затратных отраслей экономики, в том числе и для горнодобывающей промышленности, в которой требуется решение различных технических, технологических, организационных и прочих задач. В результате многолетнего опыта эксплуатации месторождений урана Кызылкумов методом подземного выщелачивания (далее ПВ) установлено, что вместе с ураном в раствор переходят и такие ценные компоненты, как рений, скандий, церий, лантан, и другие редкоземельные элементы (далее РЗЭ).

На сегодняшний день в мире выполнен ряд научно-практических работ по модернизации и увеличению объемов производства предприятий горно-металлургической отрасли, комплексной переработке и попутному выделению из минеральных ресурсов максимального количества полезных компонентов, созданию рентабельных технологий и увеличению степени переработки отходов. В связи с этим особое внимание уделяется решению задач по определению наиболее эффективных технологических решений для селективного концентрирования редких элементов из маточных растворов ПВ урана, обоснованию оптимальных технологических параметров очистки полупродуктов, содержащих редкие элементы, определению технологических параметров комплексной переработки черносланцевых (далее ЧС) руд.

В Республике ряд научных и практических результатов достигаются за счет внедрения передовых научно-обоснованных мероприятий по повышению эффективности производственных предприятий АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» и ГП «Навоийуран». В Указе Президента Республики Узбекистан<sup>1</sup> определены важные задачи по «повышению эффективности использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы горнодобывающих и перерабатывающих предприятий». В связи с этим актуальным становится решение задач, направленных на комплексную переработку урановых руд, которые имеют большое научное и практическое значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли» и №ПП-319 от 14 июля 2022 г. «О мерах по увеличению объемов добычи, переработки урана и трансформации ГП

---

<sup>1</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли».

«Навоийуран» в 2022-2030 годах», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

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

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

Научные исследования, направленные на разработку технологий обогащения и комплексной переработки урановых руд, проводятся в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в: University of Nevada (США), University of Utah (США), Institute of Condensed Matter Chemistry (Франция), университете Антверпена RUCА (Бельгия), Seoul Nation University of Science and technology (Южная Корея), Nuclear Physics Institute (КНДР), University of Cape Town (ЮАР), University of the Witwatersrand (ЮАР), Российском государственном геолого-разведочном университете (Российская Федерация), Забайкальском государственном университете (Российская Федерация), Казахском национальном техническом университете (Казахстан), Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС» (Российская Федерация), Центральной научно-исследовательской лабораторией Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК) и Навоийского государственного горного и технологического университета (Узбекистан).

В результате проводимых в мире исследований по разработке комплексных методов переработки урановых руд и их совершенствованию получен ряд результатов, среди которых: разработана новая схема вскрытия гидрогенных месторождений (Ведущий научно-исследовательский институт химических технологий при государственной корпорации «Росатом»); применение перекиси водорода в качестве реагента-окислителя (ТОО «Институт высоких технологий»); применение карбоната аммония в качестве растворителя при выщелачивании (University of Nevada); разработка устройств для дозирования газообразного окислителя (University of Utah); улучшение гидродинамических процессов при селективном выщелачивании урана (Университет RUCА Antwerpen и Навоийский государственный горно-технологический университет, Узбекистан); разработка новых технологий для добычи урана с применением эффективных реагентов - гипохлорита натрия, технического кислорода, кислорода воздуха (Навоийский государственный горно-технологический университет).

В мире проводится ряд исследований по обогащению и комплексной переработке урановых руд, в том числе по следующим приоритетным направлениям: разработка методов извлечения редких элементов из продуктивных растворов урановых месторождений; повышение

---

<sup>2</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе [www.atlasrockbit.com](http://www.atlasrockbit.com), <http://www.varelintl.com>, [www.dissercat.com](http://www.dissercat.com), <http://vbm.ru>, <https://www.amazon.com>, <http://www.mirknigi.ru> и др. источников.

эффективности процесса выщелачивания в гидрогенных месторождениях; обоснование новых технологий комплексной переработки месторождений черносланцевых руд и вовлечение в отработку полиэлементных месторождений урана.

**Степень изученности проблемы.** Значительный вклад в развитие науки по добыче полезных ископаемых методом подземного и кучного выщелачивания, в изучении комплексной переработки минерального сырья с извлечением редких металлов внесли зарубежные и отечественные ученые: В.Н.Небера, Ю.В.Нестеров, Б.В.Громов, Л.И.Лунев, В.А.Мамилов, Р.П.Петров, Р.Х.Садыков, К.С.Санакулов, О.Ф.Петухов, Д.И.Скороваров, З.С.Абишева, Е.А.Толстов, Г.С.Саттаров и др.

В мире для рационального освоения урановых черносланцевых рудных месторождений хорошо зарекомендовала себя технология кучного сернокислотного выщелачивания. Данная технология позволяет вовлечь в промышленную эксплуатацию месторождения уран-ванадиевых руд, процесс выщелачивания которых протекает в жестко кислотном режиме (25-30 г/л) и последующая переработка продуктивных растворов представляет сложные стадии обжига, осаждения, нейтрализации и сорбции, которая в настоящее время экономически нецелесообразна, а также связана с загрязнениями окружающей среды.

В связи с этим, совершенствование существующих и разработка новых технологий комплексной переработки уранового сырья с низкими концентрациями ценных компонентов является актуальной научной проблемой и имеет важное научное и практическое значение для повышения эффективности, при разработке урансодержащих полиэлементных месторождений методами подземного и кучного выщелачивания.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом НИР Навоийского государственного горно-технологического университета в рамках проектов FZ -201907185 «Разработка технологии подземного выщелачивания слабопроницаемых урановых руд» (2020-2022 гг) и FZ-2019081428 «Разработка оптимальной технологии извлечения рения из растворов подземного выщелачивания» (2021-2023 гг)

**Целью исследования** является разработка технологических и технических решений, направленных на комплексное извлечение сопутствующих и редкоземельных элементов, а также разработка научно-технических основ комплексной переработки урановых руд.

**Задачи исследования:**

анализ геологических особенностей месторождений урана Кызылкумского региона как объектов их комплексной переработки;

разработка и внедрение совершенствования технологии извлечения рения из растворов уранового производства;

комплексное исследование технологии попутного извлечения редкоземельных элементов из хвостовых растворов уранового производства с получением концентрата РЗЭ;

анализ ранее проведенных исследований по переработке уран-ванадиевых черносланцевых руд и распределения полезных компонентов при обогащении ЧС руд;

лабораторные и опытно-промышленные испытания технологии: выщелачивания черносланцевых руд месторождения «Маьданли», переработки продуктивных растворов выщелачивания способами сорбционного и экстракционного концентрирования ценных металлов;

**Объектом исследования** являются хвостовые растворы, образующиеся в результате сорбционного извлечения урана из продуктивных растворов ПВ и урансодержащие черносланцевые руды.

**Предмет исследования:** технология извлечения редких металлов из растворов уранового производства и продуктивных растворов кучного выщелачивания черносланцевых руд.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использованы комплексные методы исследований, включающие: анализ научно-технической информации и опыт эксплуатации предприятий по добыче природного урана, металлургических производств цветных и редких металлов; теоретические исследования с использованием аналитического, атомно-адсорбционного и фотокалориметрического методов; лабораторные эксперименты, опытно-промышленные испытания и проверку разработанных методик в производственных условиях; рН-метрию, гранулометрический анализ, математические методы обработки экспериментальных данных.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые на основе изучения закономерностей поведения редких металлов в процессе добычи урана установлено влияние способа технологии ПВ на их извлечение из недр в продуктивный раствор и определены формы их нахождения;

определена кинетика сорбции-десорбции рения (на ионитах ВО-020, КЭП-200, РА-174) и редкоземельных элементов (на катионитах С-150, ТОКЕМ 101, Dowex) из технологических растворов выщелачивания урана;

на основе изучения формы нахождения РЗЭ и других сопутствующих примесей в растворах ПВ, установлено положительное влияние десорбирующего раствора сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  на снижение примесей в десорбате при десорбции насыщенного РЗЭ катионита;

установлена определяющая роль жидкофазной экстракции с трибутилфосфатом, в процессе получения чистового концентрата РЗЭ из чернового, как способа химического обогащения, при котором получен продукт с содержанием РЗЭ 48,9 %;

определена кинетика выщелачивания урана, меди и ванадия в процессе кучного выщелачивания черносланцевых руд месторождения «Маьданли» и установлено изменение их содержания в продуктивных растворах в зависимости от кислотности орошаемых растворов. Так же определено, что

внедрение стадий предварительного обогащения и закисления черносланцевого рудного материала увеличивает извлекаемость компонентов при дальнейшем выщелачивании.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана технология переработки хвостовых растворов, содержащих рений и редкоземельные элементы с применением селективного по рению анионита и катионита для извлечения РЗЭ, позволяющая в последующем получать 9,1 %-ый концентрат РЗЭ, из которого затем с применением технологии обогащения получен 48,9 %-ый концентрат РЗЭ;

установлено, что наиболее эффективной слабоосновной анионообменной смолой при извлечении рения из маточников сорбции урана является RA-174 (насыщение по рению до 16,9 мг/г), а при извлечении РЗЭ - катионит С-150 (насыщение по  $\Sigma$ РЗЭ до 3,45 мг/г);

разработана и испытана на опытно-промышленной установке технология сорбционного извлечения РЗЭ из хвостовых растворов и применение раствора 100 г/л бикарбоната аммония  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  для внедрения метода дробного осаждения, исключающая применение стадию обжига концентрата;

разработан и прошел испытание на опытно-промышленном участке метод кучного выщелачивания ЧС руд включающий стадии обогащения рудного материала и предварительное его закисление рудного материала класса (-25+5) мм серной кислотой (66 кг/т) в режиме циркуляции растворов через штабель, затем закисленный штабель орошается слабокислотным раствором с плотностью орошения 10-12 л/м<sup>2</sup>·час, при этом руда более мелкого класса (-5+0) мм подвергается выщелачиванию во вращающемся скруббере-барабане раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (300 г/л).

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов диссертационной работы подтверждаются: корректностью постановки задач, достаточным и статистически обоснованным объемом лабораторных и опытно-промышленных экспериментов; количественным подтверждением основной идеи работы по разработке технологии комплексной переработки урансодержащих руд; сходимостью фактических результатов с лабораторными испытаниями и методами физико-химических основ сорбционного и экстракционного концентрирования редких элементов; положительными результатами полученными при проверке в опытно-промышленных условиях разработанной технологии переработки; промышленной апробацией предложенных рекомендаций, методик и достигнутыми технико-экономическими показателями.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования определена использованием результатов, полученных на основе определения ионного состояния рения и редкоземельных элементов группы лантаноидов в различных средах, для изучения кинетики их сорбции из хвостовых растворов с низкими концентрациями (Re - менее 0,8 мг/л, РЗЭ - менее 17 мг/л), а также обосновании целесообразности применения сульфата аммония для десорбции

РЗЭ из насыщенного катионита, применения химического обогащения черного концентрата РЗЭ для получения чистого продукта.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении эффективности производства перрената аммония и разработке технологической схемы получения чистого концентрата РЗЭ из хвостовых урановых растворов, а также в разработке технологических решений по повышению эффективности переработки черносланцевых руд, обеспечивающей получение готовой продукции в виде закиси-окиси урана, концентратов ванадия и меди.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов исследований по технологии комплексной переработки уранодержащих руд месторождений Кызылкумского региона внедрены:

комбинированная технологическая схема попутного извлечения рения методом селективной сорбции-десорбции, экстракции и плазмохимии из растворов ПВ урана на месторождениях Центральных Кызылкумов (справка АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 23/01-01-07/261 от 02.06.2023г.). В результате была создана лабораторная установка, производительностью до 300 кг металлического рения в год с чистотой 99,975% Re;

способ извлечения РЗЭ из маточных растворов ПВ урана внедрен на опытно-промышленной установке в ГТР-2 и 3 РУ «Зафаробод» (справка АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 23/01-01-07/261 от 02.06.2023г.). В результате получен дезактивированный групповой концентрат оксидов РЗЭ с концентрацией 48,9%;

способ кучного выщелачивания черносланцевых руд с предварительным закислением рудного материала внедрен на опытно-промышленной установке ГТР площадки Учкудук (справка АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 23/01-01-07/261 от 02.06.2023г.). В результате чего сквозное извлечение урана из руды составило 76,4%, меди 65,9% и ванадия 33,0%.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования проведена на 5 республиканских и 5 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 21 научных работ, из них 1 патент на изобретение, 2 патента на полезную модель, 1 монография, в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, изданы 8 статей, в том числе 6 из которых в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

**Структура и объём диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 199 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации «Геологические особенности урансодержащих руд Кызылкумского региона как объекта их комплексной переработки» проведен анализ геологических особенностей урансодержащих руд Кызылкумского региона и дан обзор характеристик месторождений урана по состоянию изученности проблемы.

Подробно изучено, что основные запасы урана в регионе представлены в виде двух основных типов: гидрогенных инфильтрационных и метаморфизованных месторождений, в которых кроме урана присутствуют сопутствующие металлы, такие как рений, ванадий, РЗЭ, медь, скандий и другие (рис1).

Отличительной особенностью промышленных оруденений урановых месторождений, локализованных в песчано-глинистых отложениях мезокайнозоя является их экзогенная эпигенетическая структура, и они контролируются границами выклинивания пластово-окисленных зон. На основании выполненных в 90-х годах геологоразведочных работах по выявлению месторождений урана Кызылкумского региона, удалось установить, что распределение рения, как и урана, подчиняется общей геохимической зональности.

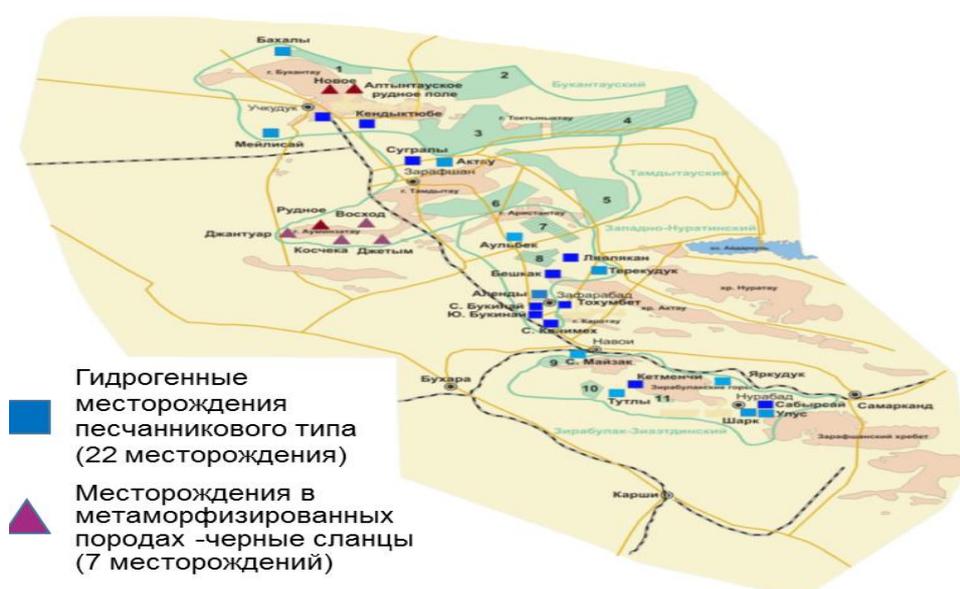


Рис.1. Месторождения урана Кызылкумского региона

Для каждого элемента, содержащегося в кислородных пластовых водах и способных осаждаться в результате восстановления, существует свой особый пространственно разобщенный (местами совмещенный) геохимический барьер. Кроме урана и рения на восстановительном барьере происходит осаждение селена, церия, лантана, иттрия и других металлов (табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание редких металлов в урансодержащих рудах  
гидрогенных месторождений, %

Элемент	Гидрогенные месторождения					
	Истиклол	Сев. Канимех	Кухнур	Лойликен	Бешкак	Букинай
Re	0,093	0,095	0,065	0,012	0,009	0,073
Sc	0,035	0,038	0,015	0,042	0,014	0,022
Mo	0,017	0,021	0,020	0,051	0,034	0,015
Se	0,028	0,046	0,011	0,014	0,010	0,025
$\Sigma La$	0,025	0,022	0,018	0,015	0,017	0,011

Образование отдельных рудопроявлений других сопутствующих металлов не отмечается, так как их локализация в подобных условиях носит наименее выраженный характер. Как видно, наибольшее распространение в урановых рудоносных горизонтах имеют рений, скандий, молибден и в некоторой степени РЗЭ. Доказательством этого по отдельным месторождениям является присутствие этих металлов в растворах ПВ урана в концентрациях, представляющих определенный промышленный интерес.

В отличие от гидрогенных песчанниковых, метаморфизованные месторождения черносланцевых руд представлены порообразующими углисто-кремнистыми, филлитовидными углисто-глинистыми сланцами и их брекчиями. Углисто-кремнистые сланцы чёрного и тёмно-серого цвета, сланцеватые и тонкосланцеватые, твёрдые и хрупкие. Чёрный цвет сланцы приобрели за счёт включений в них органического вещества. Основные урановые минералы – уранованадаты, которые представлены карнотитом и тюямунитом. В подчинённых количествах присутствуют уранофосфаты и настуран. Помимо этого уран фиксируется в гидроокислах железа, глинистых минералах и органическом веществе. Большая часть ванадия связана с ванадатами – роскоэлитом (упорный минерал), фольбортитом и корвуситом. Меньшая часть ванадия входит в состав уранованадатов. В качестве попутных ценных компонентов интерес представляет ванадий и медь (табл. 2).

На основании практических результатов и исследований разработана классификация месторождений урана, отрабатываемых способом ПВ, с выделением четырех групп: с особо благоприятными условиями отработки; благоприятные; малоблагоприятные и неблагоприятные для отработки.

Среднее содержание редких металлов в месторождениях черносланцевых руд, %

Элемент	Месторождения черносланцевых руд			
	Маъданли	Джантуар	Косчека	Кушкудук
Re	0,006	0,004	0,008	0,005
Cu	0,087	0,038	0,015	0,042
Mo	0,008	0,032	0,015	0,021
V	1,100	0,254	0,880	0,211
$\Sigma$ РЗЭ	0,015	0,022	0,018	0,014

Во второй главе диссертации «Внедрение технологии попутного извлечения рения при отработке урансодержащих руд гидрогенных месторождений песчаникового типа» изложены результаты исследований по двум направлениям: 1 - исследование повышения эффективности применения методов сорбционного концентрирования рения из растворов ПВ урана с получением готового продукта перрената аммония; 2 – получение металлического рения с применением технологии ионоплазменного водородного восстановления.

В процессе исследования попутного извлечения рения представляют интерес технологические растворы подземного выщелачивания урана с содержанием рения до 1,0 мг/л и концентрации серной кислоты – до 3 г/л. Схожие условия в мировой практике нашли наименьшее внедрение, так как реализация подобных технологических схем не всегда рентабельна.

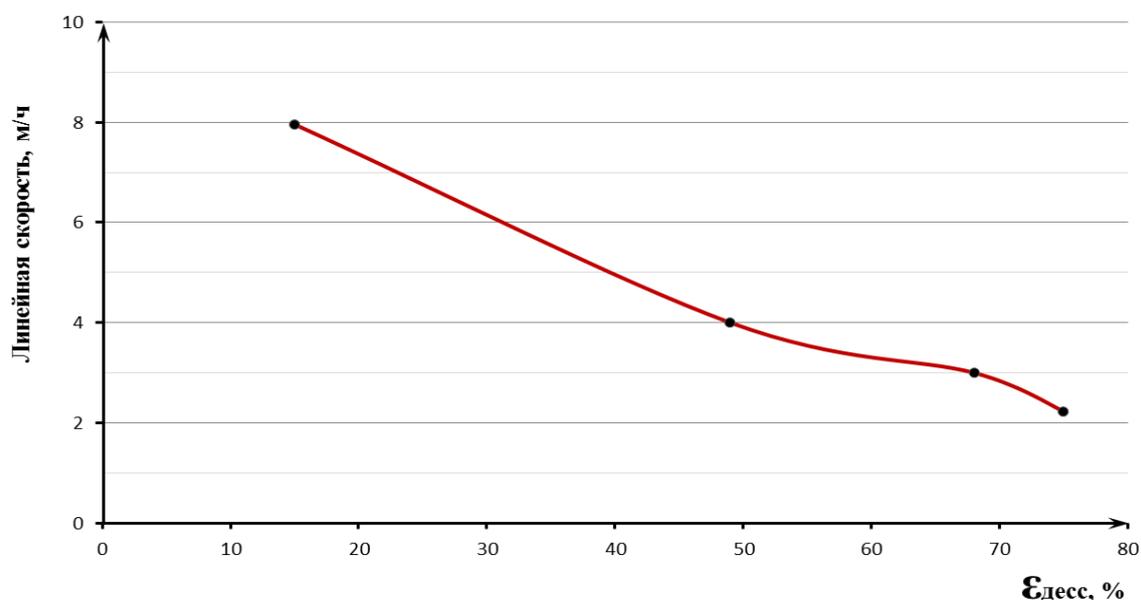
Основной закономерностью поведения рения в процессе его попутного извлечения из растворов является то, что рений, как и уран в продуктивных растворах находится в анионном состоянии в виде перренат-иона  $ReO_4^-$ .

Ряд сорбентов классифицируются на слабо и сильноосновные аниониты. Ассортимент слабоосновных анионитов гораздо шире. Изучены сорбционные характеристики сильноосновного анионита ВО-020 с макропористой структурой при совместном извлечении урана и рения из сернокислых и бикарбонатных растворов ПВ. В результате этого установлено, что имея высокое сродство к анионитам рений сорбируется совместно с ураном, несмотря на значительно более низкие равновесные концентрации в растворе, следовательно, возможность разделения урана и рения осуществимо на операции десорбции.

Установлено, что более рациональным способом десорбции рения может стать снижение удельной скорости пропускания растворов (увеличение времени десорбции) при этом, не изменяя существующий состав и температуру десорбирующего раствора (рис.2).

Таким образом, используя кинетический фактор можно добиться увеличения степени десорбции рения без повышения концентрации десорбирующего раствора.

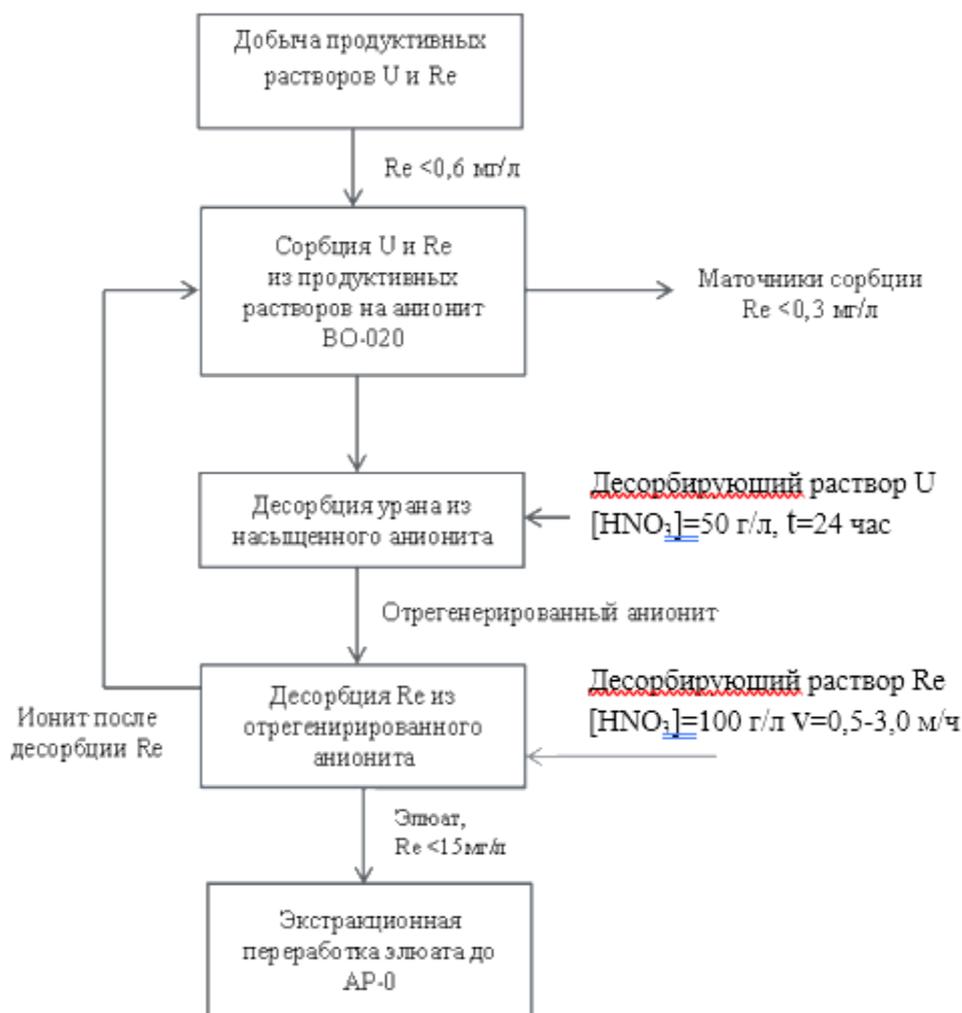
На базе полученных исследований была разработана и внедрена технологическая схема (рис.3) извлечения рения из растворов ПВ, защищённая патентом Республики Узбекистан FAP 01713 от 17.04.2018.



**Рис.2. Влияние линейной скорости десорбирующего раствора на степень десорбции рения**

В качестве дополнительного источника рения в наших исследованиях мы рассмотрели маточники совместной сорбции урана и рения. Слабоосновные аниониты, вследствие относительно низких емкостных характеристик, для сорбции урана не применяются. Однако их использование для сорбции рения из маточных растворов сорбции урана (с остаточной концентрацией урана 0,5 – 2,0 мг/л и рения 0,2-0,4 мг/л) представляется весьма перспективным. При выборе анионита для сорбции рения использовали ряд известных (КЭП-200, АН-21, АН-105) и новых (РА-174) слабоосновных анионитов .

По результатам испытаний видно, что из слабоосновных анионитов большей СОЕ по рению обладает КЭП-200 - 14,5 мг/г и РА -174 – 14,2 мг/г.



**Рис. 3. Технологическая схема совместного сорбционного извлечения урана и рения из растворов на анионите BO-020**

Для десорбции насыщенного слабоосновного анионита в лабораторных условиях были испытаны более доступные растворы в виде  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1,5N),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ (2N) +  $\text{HNO}_3$ (2N) и  $\text{HNO}_3$ (4N). По результатам испытаний было определено, что наименее затратный раствор 1,5N (60г/л)  $\text{NH}_4\text{OH}$  не уступает своим конкурентам и так же позволяет достигнуть степени десорбции рения до 68,6%.

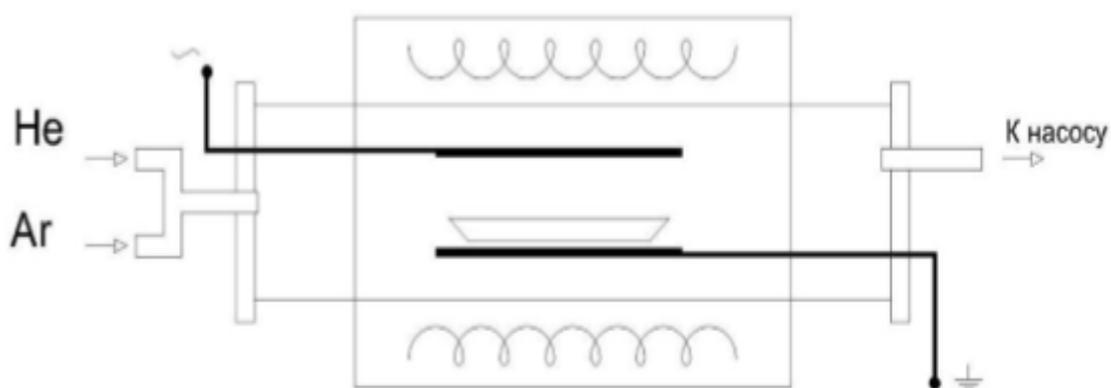
На базе данных всего комплекса исследований, посвященных попутному извлечению рения, нами была разработана технологическая схема извлечения рения из маточников сорбции урана с использованием слабоосновных анионитов RA-174 или КЭП-200 (рис. 4).

Конечным продуктом, разработанной технологической схемы является перренат аммония марки AP-0, в котором содержание рения составляет 69,3%. В практике металлургии рения металлический рений обычно принято получать методом водородного восстановления. Процесс восстановления проводится обычно в трубчатых электропечах под вакуумом в одну или в две стадии ( $T=350-400$  °C и  $850-1000$  °C).



**Рис. 4. Структурная схема извлечения урана из маточников сорбции на слабоосновном анионите**

В мировой практике имеется опыт применения методов плазменной обработки различного сырья для получения чистых продуктов. В рамках исполнения наших исследований в области водородного восстановления перрената аммония была проведена совместная работа с Институтом ионно-плазменных технологий АН РУз. На имеющейся их научно-технической базе была собрана лабораторная ионноплазменная установка в комплекте с генератором водорода, схема которой приведена на рис. 5.



**Рис. 5. Принципиальная схема установки плазмохимического реактора**

В соответствии с теорией воздействия плазмы на объект процесс восстановления происходят на границе раздела плазма-подложка (таблетка) порошок, где восстановительный газ находится в плазменном состоянии. Плазма, которая проводит электричество, находится в контакте с

обрабатываемым материалом, который находится в твердом состоянии.

В процессе проведения исследований было определено, что при максимальной загрузке перрената аммония в количестве 500 г, восстановление в установке происходило в течении 3 час. На примере трех образцов полученного порошка металлического рения можно увидеть, что ионоплазменное воздействие показало довольно хорошие результаты. Полученный в результате восстановления перрената аммония продукт в виде порошка темно серого цвета имел концентрацию рения 99,973 %, что соответствует марке Ре-1. Выход продукта составил 96,5%.

В третьей главе диссертации «**Исследование и разработка технологии получения концентрата РЗЭ из растворов ПВ урана**» приведены результаты исследований в области извлечения редкоземельных элементов-лантаноидов из маточников сорбции урана при подземном выщелачивании. В качестве конечного продукта получен дезактивированный групповой концентрат РЗЭ, который в дальнейшем можно разделять на индивидуальные оксиды группы лантаноидов (оксид церия, лантана) и иттрия.

На начальном этапе исследований была определено влияние применяемого метода ПВ урана на содержание РЗЭ в продуктивных растворах (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость содержания редкоземельных элементов в продуктивном растворе от метода добычи

Добычной рудник	Концентрация элементов, мг/л									
	Редкоземельные элементы						Примеси			
	Y	Ce	La	Gd	Nd	∑РЗЭ	Fe	Ca	Mg	Al
Сернокислотное выщелачивание (рН продуктивных растворов 1,6-2,0)										
ЛСУ-2 «Лойликен»	3,8	8,5	3,2	1,1	1,2	17	750	242	110	165
ЛСУ-8 «Бешкак»	1,76	3,6	1,62	0,43	1,94	9,35	860	172	95	88
ЛСУ-3 «Сев.Кенимех»	2,25	4,2	1,93	0,44	1,99	10,8	640	205	103	116
Бикарбонатное выщелачивание (рН продуктивных растворов 6,2-7,0)										
ЛСУ-9 «Сев. Кенимех»	0,33	0,42	0,13	0,04	0,01	0,92	35	471	766	39
ЛСУ-1 «Аульбек»	0,21	0,40	0,12	0,03	0,12	0,88	77	564	275	20
ЛСУ-7 «Терекудук»	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	13	479	109	12
ЛСУ-6 «Сугралы»	0,04	0,03	0,07	<0,01	0,02	0,16	52	409	99	9

В приведенных результатах паспортизации растворов ПВ (табл.4) довольно четко видно, что значения концентраций РЗЭ на порядок превышают в продуктивных растворах сернокислотного способа ПВ. При этом следует отметить, что РЗЭ цериевой группы и иттрий в сернокислых растворах представлены как в свободной катионной форме, так и в виде положительно

заряженных сульфатных комплексных ионов. Следовательно, для их извлечения из растворов ПВ эффективно использовать только катиониты.

Для выбора наиболее эффективного катионита была проведена серия лабораторных исследований, в ходе которых наилучшие результаты показал С-150.

В следующем этапе исследований предстояло определить метод десорбции РЗЭ из насыщенного катионита. Для этого была проведена сравнительная десорбция РЗЭ с использованием растворов серной и азотной кислот, сульфата и нитрата аммония. Результаты по десорбции элементов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные результаты по десорбции редкоземельных элементов и примесей различными реагентами

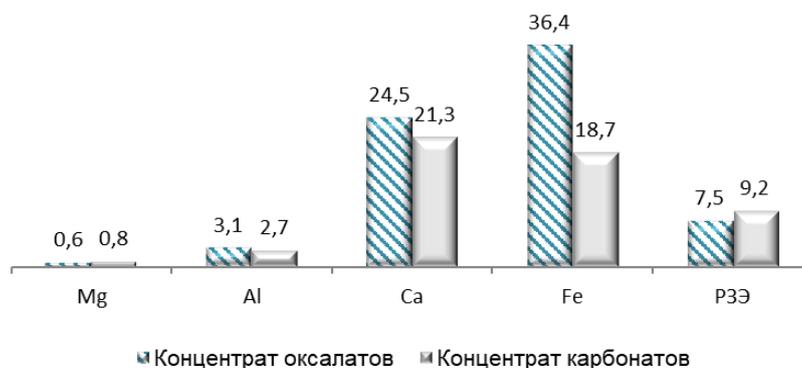
(условия десорбции: статические,  $V_{CM} : V_P = 1:5, \tau = 24\text{ч}, t = 40\text{ }^\circ\text{C}$ )

Десорбирующий раствор	Содержание элементов в насыщенном катионите, мг/г		Остаточное содержание элементов в катионите, мг/г		Степень десорбции, %	
	РЗЭ	Примеси	РЗЭ	Примеси	РЗЭ	Примеси
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (100 г/л)	3,2	133,5	0,92	13,2	71,8	90,1
HNO <sub>3</sub> (100 г/л)	3,2	133,5	0,88	11,7	72,5	91,2
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (100 г/л)	3,2	133,5	1,55	60,7	51,6	54,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (100 г/л)	3,2	133,5	0,95	103,1	70,3	22,8

Примечание: примеси – суммарное количество основных примесей металлов Mg, Fe, Al и Ca.

Здесь надо отметить, преимущество раствора сульфата аммония (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> перед остальными реагентами заключается в том, что при сравнительно схожих показателях степени десорбции РЗЭ (70-72 %), значительно хуже десорбируются примеси. при замене раствора азотной кислоты на раствор сульфата аммония концентрация РЗЭ в десорбатах существенно не изменяется (249,8 мг/л), а концентрация примесей в свою очередь снижается практически в четыре раза (с 3303 мг/л до 780 мг/л).

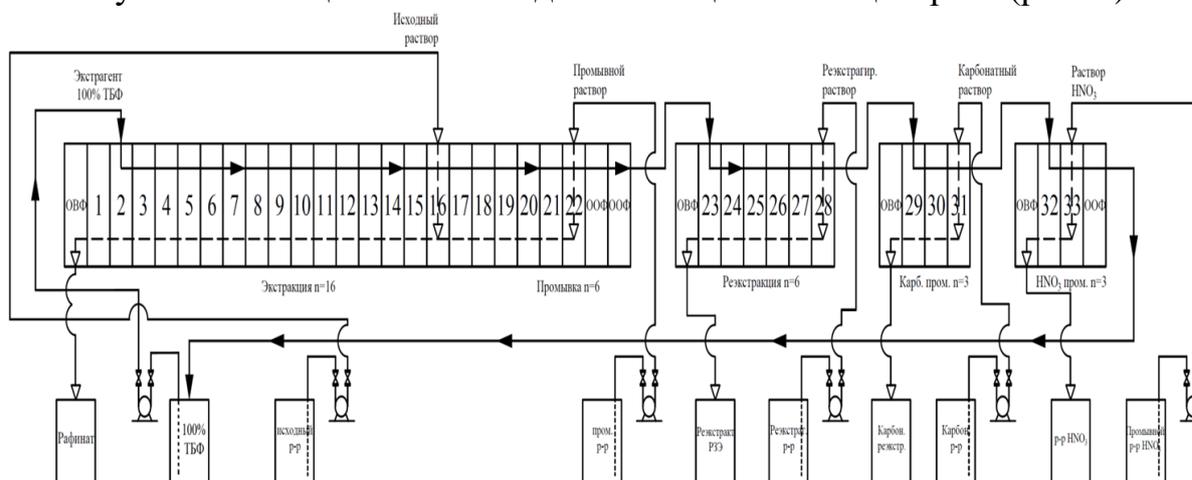
Для осаждения РЗЭ из десорбатов были рассмотрены два метода – традиционного с применением щавелевой кислоты и углеаммонийной соли (УАС: NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>-75 %, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - 6 %). Учитывая, что для каждого металла имеется свой оптимальный диапазон рН-осаждения в целях снижения примесей в черновом концентрате предложено процесс осаждения разделить на две стадии: первый - при рН=3,8-4,2; второй – при рН=6,0-6,5. В конечном результате получен черновой концентрат РЗЭ следующего состава (рис. 6).



**Рис. 6. Сравнительный состав черновых концентратов, %**

Из практики исследований в области концентрирования полупродуктов, содержащих РЗЭ известно, что наиболее эффективным методом химического обогащения является экстракционная технология. В качестве экстрагента наиболее распространенным и доступным является трибутилфосфат (ТБФ). Для этой цели была проведена серия лабораторных, а затем и опытно-промышленных экспериментов по обогащению экстракцией черного концентрата РЗЭ до чистового.

На основании расчетных данных была разработана технологическая схема и смонтирована в РУ Зафаробод опытно-промышленная экстракционная установка ящичного типа для обогащения концентрата (рис. 7).



**Рис. 7. Схема экстракционной установки обогащения концентрата редкоземельных элементов**

В результате проведения опытно-промышленных работ была достигнута возможность получения дезактивированного группового концентрата с концентрацией РЗЭ 48,9 % (табл.5).

Таблица 5

Состав чистового концентрата гидроксидов редкоземельных элементов

Продукт	Содержание, %										
	Ce	La	Nd	Sm	Gd	Dy	Y	$\Sigma$ РЗЭ	Fe	Ca	Аэфф, Бк/кг
Чистовой концентрат РЗЭ	20,2	3,9	8,4	2,4	2,1	1,6	10,3	48,9	3,1	0,2	725

В четвертой главе диссертации «Исследования по технологии комплексной переработки черносланцевых руд» изложены результаты исследований, направленных на переработку урансодержащих черносланцевых руд способом сернокислотного выщелачивания и попутным с ураном извлечением ванадия и меди из продуктивных растворов. Однако, сложность переработки таких руд заключается в необходимости глубокого селективного извлечения урана и других ценных компонентов. Существующие технологии не всегда могут решить эту проблему, потому что одним из факторов сложности ее решения, является упорность этих руд по одному или нескольким ценным компонентам.

Анализ вещественного и минералогического состава черносланцевых руд показал, что кроме урана промышленный интерес представляет содержания ванадия и меди. В следствии того, что в местах залегания черносланцевых руд как правило отсутствуют водоносные горизонты, их отработка производится горным способом (карьерным или шахтным). В таких случаях первоначально на стадии рудоподготовки осуществляются процессы дробления и грохочения. Гранулометрический анализ дробленной руды показал, что до 89-93 % U, V и Cu концентрируются в фракциях менее 25 мм (табл. 6).

Таблица 6

Гранулометрический анализ усреднённой пробы черносланцевой руды месторождения «Маъданли»

Класс, мм	Вес, кг	Выход, %	Содержание, г/т			Распределение, %		
			U	V	Cu	U	V	Cu
(+200)	2.6	2.6	330	2900	400	1.1	1.2	1.1
(-200 +25)	13.3	13.3	330	4500	575	5.7	9.7	8.3
(-25+10)	30.5	30.5	650	5000	625	9.9	24.8	20.7
(-10+5)	15.4	15.4	1200	6200	940	23.9	15.5	15.7
(-5+3)	18.1	18.1	1100	7500	1175	25.7	22.0	23.1
(-3+0)	20.1	20.1	1300	8200	1430	33.8	26.8	31.2
Всего	100	100	774	6159	922	100	100	100

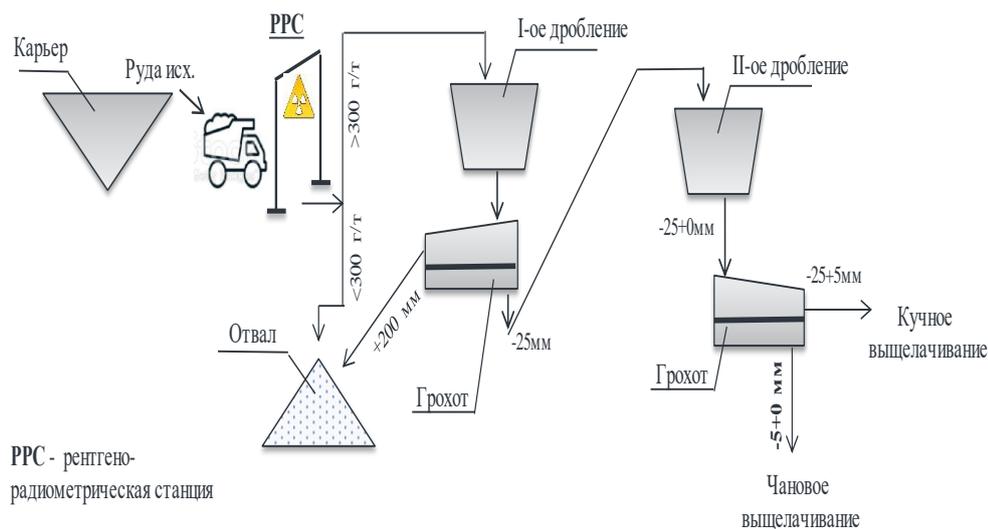
В качестве сопутствующих элементов рассматриваются металлы Mo, Re и PЗЭ, для которых в будущем имеется интерес к проведению исследований для их извлечения.

Результаты исследовательских работ, проведенных специалистами НГМК, ИМР и Госкомгеологии показывают доступность для извлечения урана в среднем до 80 %, однако в основном извлечение ванадия не превышает 26 %.

Для выбора наиболее оптимального и доступного метода переработки исследованиями был выбран способ сернокислотного кучного и чанового выщелачивания, исключая необходимость организации крупных гидрометаллургических комплексов.

Наряду с этим, для повышения эффективности процессов выщелачивания на стадии рудоподготовки для обогащения опробованы способы

радиометрической сортировки руды и дробления. По результатам этого разработана схема цепи и аппаратов обогащения ЧС руд (рис.8).



**Рис. 8. Схема цепи и аппаратов обогащения черносланцевых руд**

Анализ минералогического состава подготовленной для укладки руды показал наличие в ней до 30 % глинистых минералов. Присутствующие в руде глинистые минералы под воздействием влаги и кислоты набухают и способствуют созданию определенного противофильтрационного экрана. В свою очередь, применение различных методов грануляции мелкого класса руды не дало положительных результатов, так как под воздействием сернокислотных растворов происходит их разрушение. Таким образом, в лабораторных условиях был определен оптимальный гранулометрический состав руды для кучного выщелачивания, позволяющий вовлекать в переработку до 15 % мелкого (менее 3 мм) класса и тем самым достигать плотности орошения в оптимальных пределах 9-12 л/м<sup>2</sup>·час (табл. 7).

Таблица 7

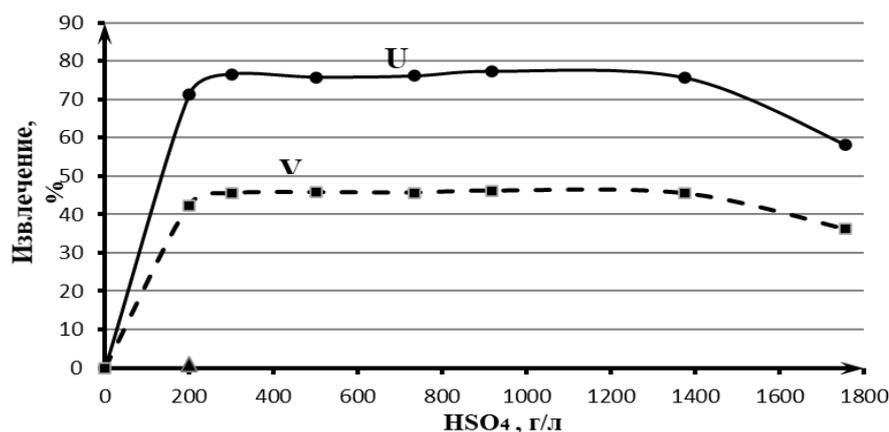
Определение оптимального гранулометрического состава для кучного выщелачивания черносланцевых руд

Параметр	Гранулометрический состав руды в колонках, мм							
	Колонка 1		Колонка 2		Колонка 3		Колонка 4	
	(-25+3)	(-3+0)	(-25+3)	(-3+0)	(-25+3)	(-3+0)	(-25+3)	(-3+0)
	100 %	0 %	90 %	10 %	85 %	15 %	80 %	20 %
Плотность орошения, л/м <sup>2</sup> ·ч	18		12		9		4	

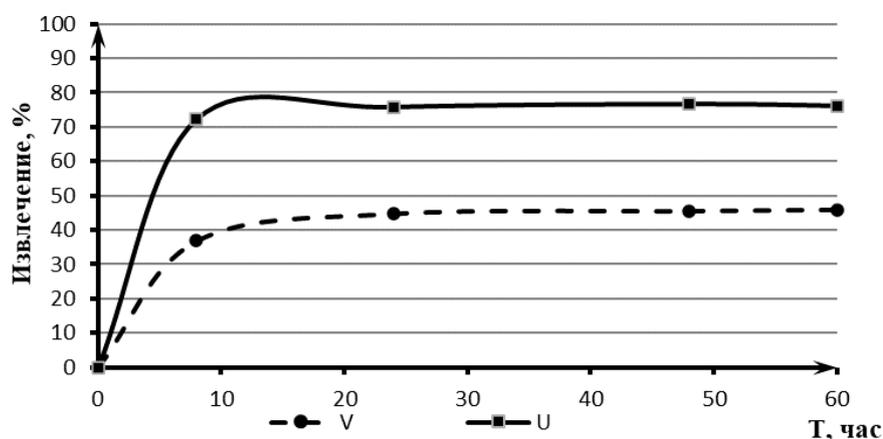
Основываясь на результатах ранее проведенных и проведенных нами исследований, определенно можно утверждать, что в диапазоне концентраций серной кислоты 5-20 г/л в орошаемом растворе, процесс выщелачивания урана проходит довольно динамично. Степень извлечения его достигает 80-90 % в зависимости от значений Ж:Т.

Как отмечалось выше, анализ результатов проведенных исследований позволил сделать вывод о том, что причиной низкого извлечения ванадия является нахождение значительного его количества в виде упорного минерала роскоэлита. По некоторым данным до 65 % ванадия находится в этом минерале.

Известно, что в практике добычи урана способом ПВ, перед началом добычи продуктивных растворов проводится этап подготовки вскрытых запасов урана – закисление рудовмещающего горизонта крепкими растворами серной кислоты. В целях повышения извлечения ванадия, в лабораторных условиях проведены исследования по предварительному закислению руды крепкими растворами серной кислоты с последующим водным выщелачиванием. Результаты исследований по закислению представлены на рис. 9 и рис. 10.



**Рис. 9. Влияние кислотности на извлечение урана и ванадия при закислении**



**Рис. 10. Кинетика извлечения урана и ванадия при закислении ([H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]=200 г/л)**

Как видно из результатов рис. 9, предварительная сернокислая обработка руды с концентрацией кислоты 200-300 г/л приводит к повышению извлечения урана и ванадия. С повышением кислотности обработки от 200 г/л до 300 г/л рост извлечения составил: по урану с 71,4 % до 76,6%; по ванадию с 42,4 % до 45,5 %.

На следующем этапе исследований предстояло определить технологические параметры комплексной переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания черносланцевых руд в лабораторных условиях. Одним из важных вопросов в разработках технологий комплексной переработки минерального сырья является поиск способов и методов отдельного извлечения выщелоченных в продуктивный раствор компонентов. В настоящее время для извлечения урана из растворов в уранодобывающих предприятиях принята известная ионообменная технология. Поэтому, рассматривая вопрос переработки растворов КВ, в исследованиях мы использовали схему селективного сорбционного концентрирования сначала урана, а затем ванадия. На следующих этапах переработки растворов следом предстояло извлечь медь и РЗЭ. Ниже представлен состав растворов выщелачивания ЧС руд (табл. 8).

Таблица 8

Средние содержания основных металлов в продуктивных растворах кучного выщелачивания черносланцевых руд

Проба	Концентрация, мг/л					
	U	V <sup>4+</sup> / V <sup>5+</sup>	Cu	Fe <sup>3+</sup> / Fe <sup>2+</sup>	РЗЭ	pH
Продуктивный раствор	45	57 / < 1,0	38	650 / < 5,0	< 3,0	1,8
Маточник сорбции урана	1,5	57 / < 1,0	38	420 / < 5,0	< 3,0	1,7
Извлечение, %	96,7	-	-	35,4	-	
ДОЕ, мг/г	37,5			71,6		

Из результатов исследований (табл. 8) видно, что ванадий не сорбируется на анионит и в растворах он представлен в четырех валентном состоянии. Однако результаты сорбции на различных катионитах показали в значительной мере возможность извлечения меди и РЗЭ. Известно, что способность элементов участвовать в ионообменных процессах особенно проявляется в состоянии высшей степени окисления. В нашем случае, для придания способности ванадию сорбироваться возникает необходимость перевода его в пятивалентное состояние. В данном направлении проведен ряд экспериментов, в ходе которых установлено положительное влияние гипохлорита натрия на процесс окисления V<sup>4+</sup> до V<sup>5+</sup> при достижении ОВП 1100 мВ.

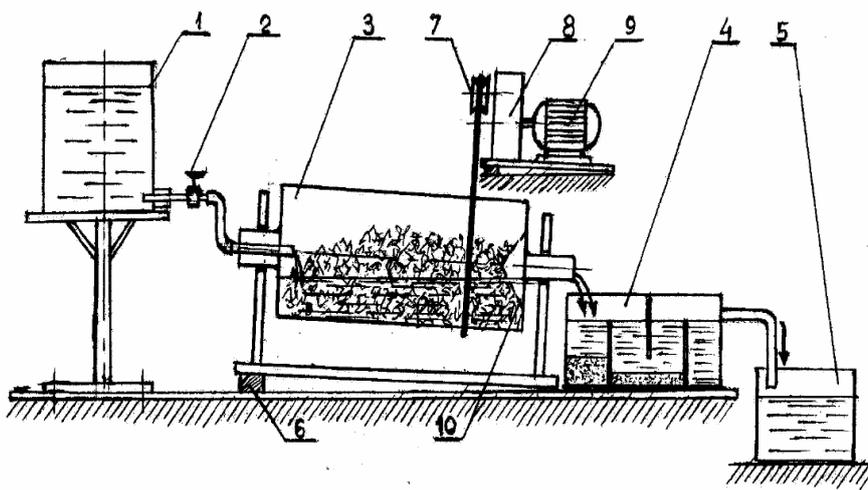
Следует отметить, окисленный до V<sup>5+</sup> ванадий в слабокислой среде в течении трех часов полностью переходит обратно в V<sup>4+</sup>. Следовательно стадию окисления необходимо проводить непосредственно перед извлечением ванадия из раствора. Так же установлено, что окисленный ванадий при pH=4,0 в растворе находится в виде ванадил-аниона VO<sub>3</sub><sup>-</sup>, в следствии чего в качестве сорбентов были испытаны образцы анионитов КЭП-200, D-301G, ВПК (амфолит) и А-110, из которых наилучшие результаты показал А-110.

Насыщенный ванадием анионит в лабораторных условиях был подвергнут двухстадийной десорбции аммиачной водой в результате которого из десорбата способом нитратного высаливания был получен ванадиевый концентрат с содержанием  $V_2O_5=82,9\%$ .

В качестве альтернативного варианта в лабораторных условиях опробован способ выделения ванадия из маточников сорбции урана методом осаждения аммиачной водой при  $pH=4,0$ . Полученный черновой концентрат с содержанием  $V=4,5\%$  подвергался щелочной перечистке и нитратному высаливанию. Полученный конечный продукт в виде ванадиевого концентрата содержит  $V_2O_5=76,4\%$ .

После извлечения урана и ванадия из растворов кучного выщелачивания предстояло извлечь медь, содержание которого находилось в пределах  $38,6$  мг/л. Наиболее распространенным способом извлечения меди из водных растворов низкой концентрации является цементация железной стружкой.

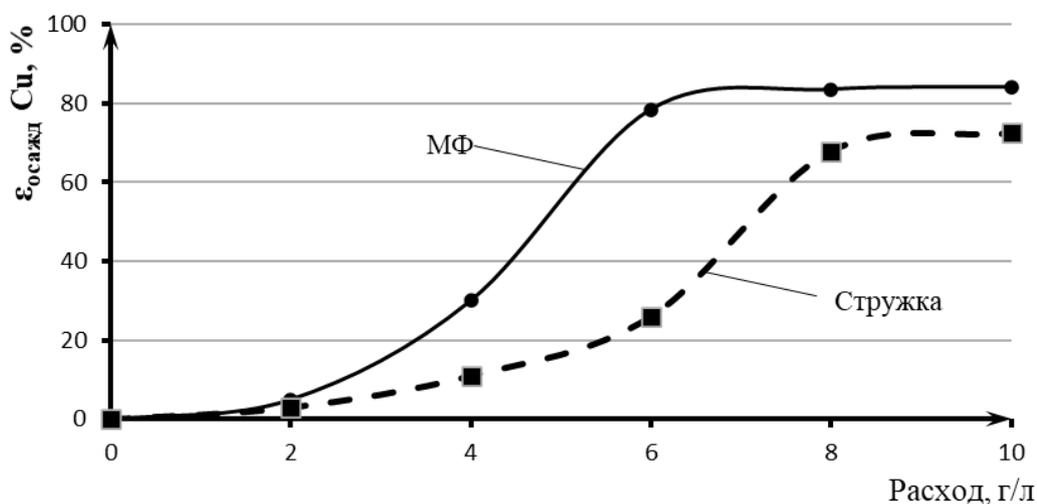
В виду того, что применение железной стружки и прочих отходов металлообрабатывающих производств носит ограниченный характер, в лабораторных условиях проведены исследования цементации меди с использованием магнитной фракции гидрометаллургической переработки золотосодержащих руд АО НГМК. На рисунке 11 представлена лабораторная установка цементации меди из растворов во вращающемся барабане.



**Рис. 11. Лабораторная установка осаждения меди во вращающемся барабане**

1 - емкость; 2 - вентиль; 3 – барабан; 4 - отстойник; 5 – сборник растворов; 6 – регулятор наклона; 7 – шкив; 8 – редуктор; 9 – электродвигатель; 10 - решетка

Результаты сравнительных опытов цементации меди с применением железной стружки и магнитной фракции приведены на рис. 12.

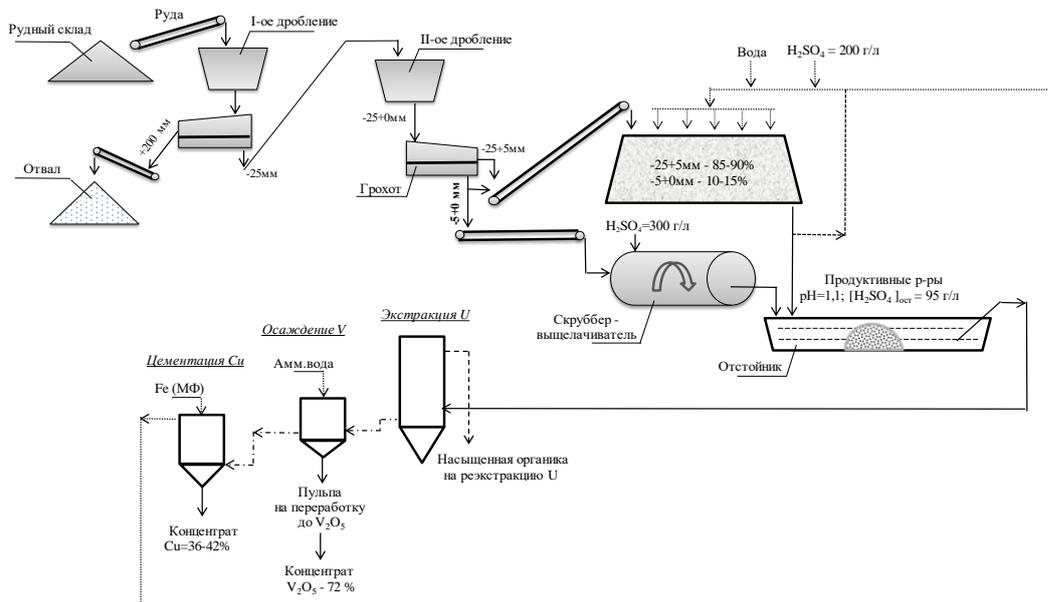


**Рис. 12. Зависимость степени осаждения меди от типа применяемого металла-цементатора**

Исследования цементации с использованием магнитной фракции в сравнении с железной стружкой показали наилучшие результаты по содержанию меди в осадке. В среднем содержание меди в продуктах цементации с магнитной фракцией (МФ) составляет 60%, а в опытах с железной стружкой – 40%. Таким образом, замена железной стружки на магнитную фракцию при цементации приводит к увеличению степени осаждения меди из растворов с 72,5 до 84,1% и улучшает качество продукта осаждения по содержанию Cu с 42,4 до 61,4%. Это объясняется тем, что частицы мелкой фракции МФ обладают большей суммарной площадью контакта с раствором, чем у стружки.

В пятой главе «**Опытнo-промышленное испытание технологии комплексной переработки черносланцевых руд месторождения «Маъданли»** на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана и опытнo-промышленным испытанием опробована технологическая схема обогащения и комплексной переработки черносланцевых руд месторождения «Маъданли» с предварительным закислением, которая в качестве готовой продукции позволяет получить закись-окись урана, ванадиевый и медный концентраты. В целом технологическая схема представлена на рис. 13.

Опытнo-промышленные испытания проводились в условиях геотехнологического рудника производственной площадки Учкудук. Для этого на участке №6 рудника была смонтирован комплекс, состоящий из ЛСУ, штабеля с количеством черносланцевой руды 394 тн, трех технологических отстойников, оборудования для механического обогащения руды. Опытный штабель был сформирован из рудного материала без грануляции.



**Рис. 13. Схема цепи и аппаратов опытно-промышленной установки комплексной переработки черносланцевых руд с предварительным закислением**

Стадию закисления проводили при концентрации серной кислоты 200 г/л в режиме циркуляции растворов через отстойник. Ежедневно проводили анализ состава растворов в карте и на сливе из штабеля, плотность орошения закисляющих растворов составляла 11,5 л/м<sup>2</sup>·ч.

В результате проведенных ОПР, при достижении Ж:Т=4,5:1 концентрации основных металлов в закисляющем растворе достигли максимума и составили: U=475 мг/л, V=1785 мг/л и Cu=645 мг/л.

В целом общий объем образованного в отстойнике сернокислого раствора составил 130 м<sup>3</sup>, в который из штабеля извлечено U=72,9 %, V=31,6 % и Cu=69,2 %.

Также, часть мелкой фракции (< 5 мм) рудного материала в количестве 106 тн была закислена во вращающемся скруббере раствором серной кислоты с концентрацией 300 г/л и Ж:Т=0,3:1. Образованная густая масса из скруббера по специальному желобу подавалась в отстойник, имеющий дамбу. В этот же отстойник подавали продуктивный раствор кучного выщелачивания, который смешивался с закисленным мелким классом руды. За счет наличия остаточной кислотности в продуктивных растворах КВ происходило выщелачивание полезных компонентов из руды в объединенный продуктивный раствор. В итоге суммарное извлечение в раствор урана, ванадия и меди составило 81,3 %, 38,5 % и 79,6 % соответственно.

В лабораторных условиях для извлечения урана применили испытанную на производстве смесь ТАА+ТБФ+Д2ЭГФК. Извлечение урана из продуктивного раствора на экстракции составило 96,3 %, ванадия 36-41 %, медь не извлеклась. Поэтому для извлечения ванадия из рафинатов экстракции урана наиболее эффективно применять метод осаждения, описанный выше, а затем цементацию меди магнитной фракцией гидрометаллургической переработки золотосодержащих руд.

В результате опытных работ сквозное извлечение урана составило 76,4%, ванадия - 33 %, меди - 65,9 %, при этом удельный расход серной кислоты на выщелачивание составил 193 кг/тн руды. Конечными продуктами переработки является закись-окись урана, 38 %-ый концентрат меди и концентрат пятиокси ванадия  $V_2O_5$  -72 %. Расчетный срок окупаемости проекта при производительности 100 тыс.тн в год составит 4,4 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора технических наук (DSc) на тему: «Научно-технические основы комплексной переработки урансодержащих руд Кызылкумского региона» сделаны следующие заключения, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. На основании практических результатов и исследований разработана классификация месторождений урана, обрабатываемых способом ПВ, по которой в зависимости от совокупности геотехнологических условий выделены четыре группы: - с особо благоприятными условиями отработки; - благоприятные, с устранением отрицательного влияния отдельных признаков; - малоблагоприятные, с устранением отрицательного влияния большинства признаков; - неблагоприятные для отработки.

Предлагаемая классификация позволит для вновь вводимых в эксплуатацию месторождений оценивать капитальные затраты, ожидаемые (планируемые) показатели, условия эксплуатации и риски, которые могут при этом возникать.

2. По результатам исследования минералогического состава проб установлено, что причиной упорности черносланцевых руд в отношении извлечения ванадия является нахождение до 65% ванадия в составе минерала роскоэлита ( $KV_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ ), из которого он трудно выщелачивается традиционными способами. Остальная часть ванадия находится в минералах корвусит ( $V_2O_4 \cdot 6V_2O_5 \cdot nH_2O$ ), туямунит ( $CaO \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot H_2O$ ) и карнотит ( $K_2[UO_2]_2[VO_4] \cdot 3H_2O$ ), из которых он легко извлекается с применением серноокислотного выщелачивания.

3. Для определения формы нахождения рения в растворах ПВ впервые применен метод электролиза. Данным методом установлено, что другие ценные металлы, такие как Cu, Zn, Cd, Se, РЗЭ находятся в катионной форме.

4. Анализ кинетики десорбции рения из сильноосновного анионита позволил установить положительное влияние сокращения линейной скорости десорбирующего раствора в десорбционных колоннах. При линейной скорости  $v = 0,5-3,0$  м/ч достигнуто повышение степени десорбции рения с 49 % до 76 %.

5. Впервые с применением метода ионоплазменной технологии из перрената аммония получен металлический рений марки Re-1 с чистотой 99,973%.

6. Разработана технология сорбционной переработки техногенных

сбросных растворов подземного выщелачивания урана, содержащих редкоземельные элементы (церий, иттрий, лантан и др.), которая позволила снизить концентрацию примесей (Fe, Ca, Mg, Al) в десорбате с 3,3 г/л до 0,78 г/л. Это оказало положительное влияние на увеличение содержания РЗЭ в черновом концентрате, при осаждении его из десорбата.

7. Исследованиями состава полученного десорбата установлено, что осаждение РЗЭ целесообразно проводить дробным методом: с начало осаждение железа при  $\text{pH}=3,8-4,2$  аммиачной водой, а затем осаждение карбонатов РЗЭ раствором УАС при  $\text{pH}=6,0-6,5$ . В результате получен карбонатный черновой концентрат с содержанием РЗЭ=9,2%.

8. Разработана и испытана технологическая схема химического обогащения черного концентрата РЗЭ до чистового (РЗЭ=48,9%). Полученный дезактивированный групповой концентрат РЗЭ (эффективная удельная альфа-активность до 675 Бк/кг, II-ой класс) является исходным сырьем для выделения из него индивидуальных оксидов Ce, La, Y и др. РЗЭ.

9. На основе изучения поведения минералов и элементов в процессах обогащения черносланцевых руд установлено концентрирование в мелких классах урана, ванадия, меди и глинистых минералов. В свою очередь, такие элементы как железо, рений и РЗЭ распределены более равномерно по всем классам крупности. Гранулометрический анализ проб ЧС руд месторождения «Маъданли» показал распределение в классе менее 25 мм: урана – 93,2 %, ванадия – 89,1 % и меди – 90,6 %. Таким образом, установлено, что после I-ой стадии дробления выход в отвал пустой породы класса +25 мм составляет 16 %.

10. Разработан и внедрен на опытно-промышленном участке метод кучного выщелачивания черносланцевых руд месторождения «Маъданли» с предварительным закислением рудного материала способом циркуляции растворов через штабель, последующее орошение штабеля слабым раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (3-5 г/л) и водная отмывка руды. В результате чего достигнуто извлечение в продуктивный раствор урана 78,1%, ванадия 36,1%, меди 76,8 % и РЗЭ 55,4 %.

11. На основе изучения поведения ванадия в сернокислых продуктивных растворах выщелачивания ЧС руд установлено, что ванадий практически весь находится в четырехвалентной катионной форме  $\text{V}^{4+}$  и для сорбционного извлечения необходимо окислить его в пятивалентное состояние  $\text{V}^{5+}$  при ОВП=950-1000 мВ.

12. Разработана и опробована в опытно-промышленных условиях оптимальная для существующих условий технология комплексной переработки черносланцевых руд месторождения «Маъданли». В результате сквозное извлечение урана составило 76,4%, ванадия - 33%, меди - 65,9%, при этом удельный расход серной кислоты на выщелачивание составил 193 кг/т руды.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.17/04.06.2021.T.06.01 AT NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING  
AND TECHNOLOGIES**

---

**NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGIES**

**KURBANOV MASHKHUR AMONOVICH**

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL FOUNDATIONS OF  
COMPLEX PROCESSING URANIUM-BEARING ORES  
OF THE KYZYLKUM REGION**

**04.00.14 – Mineral processing**

**DISSERTATION ABSTRACT  
for the Doctor of TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

**Navoi – 2023**

The theme of dissertation Doctor of Sciences (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under № B2023.2.DSc/T625.

The dissertation has been carried out at the oi State University of Mining and Technologies.

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

**Scientific Consultant:**

**Sanakulov Kuvandik**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Muxiddinov Baxodir Faxriddinovich**  
Doctor of Chemical Sciences, Professor

**Berdiyarov Bahriddin Tilovqabulovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Leading organization:**

**Branch of the National University of Science and Technology “MISiS” in Almalyk.**

The defense of the dissertation will be held on « 26 » 10 2023 at 14:00 at the meeting of the Scientific Council DSc.17/04.06.2021.T.06.01 at the Navoi State University of Mining and technologies. (Address: 210100, Navoi, Galaba Shokh Street, 76v. Conference Hall of the Navoi State University of Mining and technologies Phone: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66; e-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz), [www.nsumt.uz](http://www.nsumt.uz).)

The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Centre of the Navoi State University of Mining and Technologies under No 138 (Adress: 210100, Navoi, 76V Galaba Shokh St. Phone: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66.)

The abstract of the dissertation is distributed on «13» 10 2023.  
(Protocol at the register No 12dated «13»10 2023).



**M.M. Yakubov**  
Acting chairman of the Scientific Council  
for awarding the scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

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

**A.U. Samadov**  
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific  
Council for the award of academic degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of the dissertation of Doctor of Science (DSc))

**The aim of the research** to develop technological and technical solutions aimed at complex extraction of associated and rare-earth elements, as well as to develop scientific and technical bases for integrated processing of uranium ores.

**The object of the research** is tailing solution formed as a result of sorption extraction of uranium from productive solutions of in-situ leaching and uranium-bearing black shale ores.

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

for the first time on the basis of studying the regularities of behaviour of rare metals in the process of uranium mining, the influence of the in-situ leaching technology method on their extraction from the subsurface into the productive solution was established and their forms were determined;

kinetics of sorption-desorption of rhenium (on ionites BO-020, KEP-200, RA-174) and rare-earth elements (on cationites C-150, TOKEM 101, Dowex) from uranium leaching process solutions was determined;

on the basis of studying the form of REE and other accompanying impurities in solutions of underground leaching, the positive influence of desorbing solution of ammonium sulphate  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  on reduction of impurities in desorbate at desorption of REE saturated cationite was established;

the determining role of liquid-phase extraction with tributyl phosphate in the process of obtaining pure REE concentrate from rough concentrate as a method of chemical enrichment, at which the product with REE content of 48.9 % was obtained;

kinetics of leaching of uranium, copper and vanadium in the process of heap leaching of black shale ores of "Ma'danli" deposit was determined and the change of their content in productive solutions depending on the acidity of irrigated solutions was established. It was also determined that the introduction of stages of preliminary concentration and acidification of black shale ore material increases the recoverability of components in further leaching.

**Implementation of the research results.** On the basis of obtained results of researches on technology of complex processing of uranium-containing ores of deposits of Kyzylkum region are introduced:

combined technological scheme of associated extraction of rhenium by selective sorption-desorption, extraction and plasma chemistry from uranium underground leaching solutions at the deposits of Central Kyzylkum (Reference of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC No. 23/01-01-07/261 dated 02.06.2023). As a result, a laboratory unit with a capacity of up to 300 kg of metallic rhenium per year with a purity of 99.975% Re was created;

method of REE extraction from uranium in-situ leaching mother solutions was implemented at pilot plant in geotechnological mine-2 and 3 Zafarobod Ore Department ( Reference No. 23/01-01-07/261 of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC dated 02.06.2023). As a result, deactivated group concentrate of REE oxides with concentration of 48.9% was obtained;

the method of heap leaching of black shale ores with preliminary acidification of ore material was implemented at the pilot geotechnological mine unit of the Uchkuduk site (reference No. 23/01-01-07/261 of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC dated 02.06.2023). As a result, the through recovery of uranium from ore was 76.4%, copper 65.9% and vanadium 33.0%.

**Publication of research results.** On the dissertation topic a total of 21 scientific papers have been published, including 1 patent for invention, 2 patents for utility model, 1 monograph, 8 articles have been published in scientific editions recommended for publishing the main scientific results of dissertations by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, including 6 of them in national and 2 in foreign journals.

**The structure and volume of the dissertation.** The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references and annexes. The volume of the thesis is 199 pages.

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

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Санакулов К.С., Петухов О.Ф., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З. Монография «Рений» // Навоийский горно-металлургический комбинат, Навои, 2020. – 467 с.
2. Курбанов М.А., Аликулов Ш.Ш., Ганиева Д.С., Каримов Н.М. Исследования в области технологии экстракционного концентрирования рения из десорбатов // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №2. – С. 75-78 (04.00.00. № 3).
3. Курбанов М.А., Аликулов Ш.Ш., Ганиева Д.С., Шарафутдинов У.З. Исследование сорбционных свойств анионитов при совместной сорбции урана и рения в процессе подземного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. — Москва, 2021.— № 3-1. — С. 136–146 (04.00.00. № 15).
4. Петухов О.Ф., Рузиев Б.Т., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З. Выделение церия из концентрата редкоземельных металлов методом растворения-осаждения // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021. – №3. – С. 49-51 (04.00.00. № 3).
5. Петухов О.Ф., Рузиев Б.Т., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З. Получение двуокиси церия из концентрата редкоземельных металлов методом экстракции // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021. – №4. – С. 56-58 (04.00.00. № 3).
6. Аликулов Ш.Ш., Курбанов М.А., Ражаббоев И.М., Юлдашев Ш.Ш., Шарафутдинов У.З. Исследования поведения кремнезема и органики в продуктивных растворах подземного выщелачивания урана и их влияния на процесс сорбции урана // Universum: технические науки. – Москва, 2023. - №2 – С. 22-27 (02.00.00 №1).
7. Курбанов М.А., Рузиев Б.Т., Икрамов Д.З., Нурмухамедова Н.Э. К вопросу извлечения ванадия из упорных черносланцевых руд // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – №1. – С. 57-59 (04.00.00. № 3).
8. Санакулов К., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З. Обзор о состоянии дел и перспектива развития комплексной переработки урана // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – №2. – С. 50-54 (04.00.00. № 3).
9. Курбанов М.А., Рузиев Б.Т., Икрамов Д.З., Нурмухамедова Н.Э. Экстракционная переработка продуктивных растворов кучного выщелачивания черносланцевых руд «Маъданли» // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – №3. – С. 72-74 (04.00.00. № 3).
10. Патент на изобретение IAP 06789. Способ подземного выщелачивания урана / Санакулов К., Снитка Н. П., Исмагилов М.М., Рузиев О. Б., Назаров В.Ф., Петухов О.Ф., Урдабаев Н.Э., Сапаров А.Б., Курбанов М.А., Рузиев Б.Т. // Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан 28.08.2022 г.

## II бўлим (II часть; part II)

11. Петухов О.Ф., Курбанов М.А., Халимов И.У., Шарафутдинов У.З. Новые аспекты классификации урановых месторождений, обрабатываемых методом подземного выщелачивания // Международной научно-практической конференции «Геология Средней Азии: состояние изученности и перспективы развития» г. Навои, 23 декабря 2021 года. – Т.2. - С. 54-59.

12. Курбанов М.А., Ражабова М.К., Шарафутдинов У.З. Разработка технологии получения индивидуальных окислов или металлов РЗЭ из концентратов. // X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Научкам о Земле» г. Москва, 31 марта-1 апреля 2022 года. – Т.4. – С.47-51.

13. Петухов О.Ф., Рузиев Б.Т., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З. Получение двуокиси церия из концентрата редкоземельных металлов // Республиканская научно-практическая конференция «Инновационные технологии переработки минерального и техногенного сырья химической, металлургической, нефтехимической отраслей и производства строительных материалов». Ташкент 12-14 май 2022 года. – С.253-255.

14. Санакулов К.С., Курбанов М.А., Рузиев Б.Т., Юлдашев Ш.Ш. Лабораторные исследования по выделению ванадия из растворов кучного выщелачивания черносланцевых руд // Международная научно-практическая конференция «Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari». – Навои, 27-28 октября 2022г. – С. 285--288.

15. Курбанов М.А., Рузиев Б.Т., Нурмухамедова Н.Э., Икрамов Д.З., Ражабова М.К. Опыт извлечения меди из черносланцевых руд месторождения «Маъданли» методом кучного выщелачивания // Узбекско-японская международная конференция «Energy-Earth-Environment-Engineering», – Ташкент, 17-18 ноября 2022 г. – С. 25.

16. Курбанов М.А., Аликулов Ш.Ш., Халимов И.У., Юлдашев Ш.Ш. Исследование совместной сорбции урана и рения из растворов подземного выщелачивания // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы Урановой промышленности».- Алматы, 24-26 ноября 2022г. – С.32-34.

17. Санакулов К., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З. Получения индивидуальных окислов или металлов РЗЭ из концентратов // “Нодир ва ноёб металлар кимёси ва технологияси: бугунги ҳолати, муоммолари ва истиқболлари” Республика илмий-амалий конференцияси. 2-қисм. Термез. 28-29 апрель 2023 й. 66-67 бетлар.

18. Санакулов К., Курбанов М.А. Разработка комбинированной сорбционно-экстракционной технологической схемы попутного извлечения рения из растворов подземного выщелачивания урана // “Нодир ва ноёб металлар кимёси ва технологияси: бугунги ҳолати, муоммолари ва истиқболлари” Республика илмий-амалий конференцияси. 2-қисм. Термез. 28-29 апрель 2023 й. 66-67 бетлар.

19. Курбанов М.А., Эшонова Г.А., Шарафутдинов У.З. Минерально-

сырьевая база рения и извлечение редкоземельных металлов из нетрадиционного сырья // Наука и инновация Таджикский Национальный университет. Серия геологических и технических наук. – Душанбе, 2023. – №2. – С. 81-86.

20. Патент на изобретение FAP 01444. Устройство для дегазации продуктивных растворов подземного выщелачивания / Санакулов К., Снитка Н.П., Солиев Р.С., Курбанов М.А., Истомин В.П., Леонтьев В.В., Фарукшин Н.Е., Петухов О.Ф. // Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан 15.11.2019 г.

21. Патент на изобретение FAP 01713. Способ десорбции рения / Санакулов К., Снитка Н.П., Исмагилов М.М., Рузиев О.Б., Холмуродов Б.О., Хасанов Ж.Т., Назаров В.Ф., Урдабаев Н.Э., Сапаров А.Б., Курбанов М.А., Петухов О.Ф., Рузиев Б.Т. // Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан 21.10.2021 г.

Avtoreferat “O‘zbekiston konchilik xabarnomasi” jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bichimi 60x84<sub>1/16</sub>. Ofis qog‘ozi. Raqamli bosma usulida chop etildi. Times New Roman garniturasida. Shartli bosma tabog‘i: 3,7. Adadi 60. Buyurtma № 40 .  
Guvohnoma № 021683 “SARMISH NASHR” MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: Navoiy sh., G‘alaba shox ko‘chasi, 84a-uy.