



SANOATDA

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

Volume 4
No 2
June, 2026

ILMIY-TEXNIK JURNAL

E-mail:
info@srt-journal.uz
Web-adress:
www.srt-journal.uz



**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

научно-технический журнал

ISSN (ISSN-L): 3030-3214

**DIGITAL TECHNOLOGIES
IN INDUSTRY**

scientific and technical journal

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

SANOATDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

Ilmiy-texnik jurnali

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Научно-технический журнал

DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY

Scientific and technical journal

№4(2) / 2026

QARSHI – 2026

Ilmiy-texnik jurnal O'zbekiston
Respublikasi Prezidenti
Administratsiyasi huzuridagi Axborot
va ommaviy kommunikatsiyalar
agentligining 26.07.2023-yildagi
106679-son guvohnomasi.

Ta'sischi

Qarshi davlat texnika universiteti,
"Olmaliq kon-metallurgiya kombinati"
AJ

CHIEF EDITOR

Sherzod Nematov

Rektor, Qarshi davlat texnika
universiteti

E-mail: rektor@kstu.uz

Bosh muharrir o'rinbosari

Abdurashid Khasanov

T.f.d. prof. Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati

E-mail: abdurashidsoli@mail.ru

Mas'ul kotib

Abbas Shadieyev

T.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti

E-mail: a.shodieyev@srt-journal.uz

Editorial address

180100, Qarshi shahri, Mustaqillik shoh
ko'chasi, 225-uy, Qarshi davlat texnika
universiteti

Tel: (+998) 90 673 64 33

E-mail: info@srt-journal.uz

Veb sayt: www.srt-journal.uz

Texnik muharrirlar

Najmiddin Boymurodov

Ihom Togaev

Tahlil guruhi

Oybek Qayumov,

Uchqun Eshonqulov,

Dizayn

Farusxon Olimov

Jurnalning elektron versiyasini nashr

etish va yangilash uchun mas'ul

Abbos Shodieyev

Chop etilgan

Terishga topshirilgan sana:

15.06.2026 y.

Nashr qilingan sana: 29.06.2026 y.

Format: 60x84 1/8. Times shriftida.

Shartli bosma taboq: 16,125. Bosma

taboq: 16,125. Adadi: 30 nusxa.

Buyurtma №: 197. Qarshi davlat texnika

universitetining "INTELLEKT" MIU

nashriyotida chop etildi.

Manzil: Qarshi, Mustaqillik ko'chasi,

225.

© Sanoatda raqamli texnologiyalar

(E)ISSN: 3030-3214

DOI: [10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026](https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026)

TAHRIRIYAT HAY'ATI

Sherzod Nematov, Rektor. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Abdulla Xursanov, t.f.d., Olmaliq kon-metallurgiya kombinati, O'zbekiston
G'ulom Uzoqov, t.f.d., prof. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Abdirashid Hasanov, t.f.d. prof. Olmaliq kon-metallurgiya kombinati,
O'zbekiston
Xayit Turayev, k.f.d., prof., Termiz davlat universiteti kimyo fakulteti dekani,
O'zbekiston
Eshmurat Pirmatov, t.f.d., prof. Yevroosiyo fanlar akademiyasi akademigi,
Qozog'iston
Bum Sung Kim, t.f.d., prof., Koreya nodir metallar instituti, Janubiy Koreya
Irina Shadrinova, t.f.d., prof. Rossiya fanlar akademiyasi M.V.Melnikov
nomidagi Mineral resurslardan kompleks foydalanish instituti, Rossiya
Gabor Muksi, PhD, DSc, prof. Mishkols universiteti, Vengriya
Marcin Lutynski, PhD, DSc, prof. Sileziya texnologiya universiteti, Polsha
Márton Benke, Prof. Dr., professor, Mishkols universiteti, Vengriya
Tünde Kovács, t.f.d., prof. Óbuda universiteti, Vengriya
Anatoliy Gets, t.f.d., prof., Belarussiya milliy texnika univesiteti, Belarussiya
Pyotr Tsibulenko, t.f.d., prof., Belarussiya milliy texnika univesiteti,
Belarussiya
Shohrux Jo'rayev, t.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, O'zbekiston
Nodir Doniyarov, t.f.d., prof., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, O'zbekiston
Behzod Tolibov, t.f.d., prof., O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish
agentligi, O'zbekiston
Abbos Shodieyev, t.f.d., prof. Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Baxriddin Voxidov, t.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, O'zbekiston
O'tkir Nosirov, t.f.d., prof., Milliy texnologik tadqiqotlar universiteti MISiS
ning Olmaliq filiali, O'zbekiston
Gafur Nutfulloyev, t.f.d., dots., Milliy tadqiqotlar universiteti "MISIS" ning
Olmaliq shahridagi filiali, O'zbekiston
Utkir Xalikulov, t.f.d., prof., Olmaliq davlat texnika isticuiti, O'zbekiston
Shahboz Turdiyev, t.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Sarvar Parmonov, t.f.d., dotsent, Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq
filiali, O'zbekiston
Ulug'bek Hasanov, t.f.f.d., Olmaliq kon-metallurgiya kombinati, O'zbekiston
Jamoliddin Todjiyev, k.f.d., prof., O'zbekiston Milliy universiteti,
O'zbekiston
Asqar Parmonov, k.f.d., prof., O'zbekiston Milliy universiteti, O'zbekiston
Aktam Saidaxmedov, t.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnoogiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
Shaxriddin Turobov, t.f.f.d., dots., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar
universiteti, O'zbekiston
Rustam Nomdorov, t.f.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Uchqun Eshonqulov, t.f.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti,
O'zbekiston
Oybek Qayumov, t.f.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti, O'zbekiston
Najmiddin Boymurodov, t.f.f.d., PhD., Qarshi davlat texnika universiteti,
O'zbekiston

*"Sanoatda raqamli texnologiyalar" (e-ISSN:3030-3214) ilmiy-texnik jurnali
O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi
Oliy attestatsiya komissiyasining 30-iyul 2024 yildagi №358-sonli qaroriga
asosan quyidagi ixtisosliklar bo'yicha texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori
(PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya
ishlari yuzasidan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya
etilgan:*

- 05.00.00 - Texnika fanlari
- 04.00.00 - Geologiya-mineralogiya fanlari
- 02.00.00 - Kimyo fanlari

MUNDARIJA

KON-METALLURGIYA VA ISHLAB CHIQRISH SANOATI

Xasanov Abdirashid Saliyevich, Eshankulova Gulmira Rashidovna. Uran elementining tarixi va O'zbekistonda atom energetikasini rivojlantirish istiqbollari 10

Nurxonov Xusan Almirza o'g'li, Bo'riyev Feruz Mansur o'g'li, Ravshanov Avaz Ali o'g'li, Bakirov G'ayrat Xoliqberdiyevich. Kon lahimlarini ankerli mahkamlashda qo'llaniladigan kimyoviy ampulalarning o'rni 19

Xujakulov Nurmurod Botirovich, Nasirova Nigora Ramazanovna, Ibotov Bobur Odil o'g'li, Safarov Aminjon Ne'mat o'g'li. Murakkab kumush tarkibli rudalarni turli reagentlar yordamida qayta ishlash orqali sorbsion sianlash jarayoni samaradorligini oshirish 23

Alimov Shoxriddin Muxammadovich, Normurodov Jasurbek Jalol o'g'li. Yoshlik-I konida qoyali tog' jinslarining maydalanish darajasini oshirish uchun portlovchi skvajinalarning maqbul parametrlarini asoslash 28

Ataullayev Azizjon Odilovich, Jo'rayev Nodirbek Normurodovich, Egamberdiyev Ilhom Pulatovich, Yaxshiyev Sherali Namozovich. Besh o'qli RDB tizimidagi issiqlik yuklamalari va deformatsiyalarni hisobga olgan holda aylanuvchi o'q korpusining termomekanik tahlili 33

Jo'rayev Nodirbek Normurodovich, Ataullayev Azizjon Odilovich, Egamberdiyev Ilhom Pulatovich, Yaxshiyev Sherali Namozovich. Mashinali ko'rish texnologiyalari asosida silindrik g'ildiraklarning evolvent tishlari profilini nazorat qilish usulini ishlab chiqish 41

Xasanov Adham Amankulovich, Eshankulova Kumushoy Abdumanap qizi, Ergashev Ro'zibek Alisher o'g'li, Norbekov Islomjon G'ofurjon o'g'li. "Yoshlik I" konida qo'llanilayotgan SBSH-250 MNA-32 burg'ilash dastgohlarining texnologik samaradorligi va tog' jinsi massivining fizik-mexanik ta'sirini tadqiq etish 47

Kayumov Umiddin Erkinovich, Xatamova Dilshoda Normurodovna, Pardayeva Shahlo Saxibjonovna. Kon mashinalarining ichki yonuv dvigatellari uchun so'ruluvchi havoni tozalash samaradorligini oshirish 53

Sidiqov Ravshan Mirzabekovich, Ergashev Mahmud Axbaraliyevich, Axmadaliyev Alisher Madaminovich, Abdurazakov Ulug'bek Mamayusub o'g'li. Polimetall rudalarni boyitishda kombinatsiyalashgan texnologiyaning samaradorligini tadqiq etish 61

Xoliqulov Doniyor Bahtiyorovich, Boltayev Olmos Najmidinovich, Elchiyeva Mohinur Dilshod qizi. Dunyo mis rudasi zaxiralari tarkibida oksidlangan rudalarning o'rni va ularni qayta ishlashning zamonaviy texnologik yechimlari tahlili 67

Toshqodirova Rano Erkinjonovna, Kenjayeva Sevvara Absamatovna. Bioksidlanish eritmalardan olingan temir oksidli pigmentlarni mishyakdan selektiv tozalash jarayonining termodinamik asoslari 74

Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich, Sharopova Durdona Yo'ldosh qizi. Mis fosfidi (Cu₃P): sintez usullari, elektrokimyoviy xossalari va korroziyaga qarshi qo'llanilishining zamonaviy tahlili 81

Mirzanova Zulfizar Anvarjonovna, Eshonqulov Uchqun Xudoynazar o'g'li, Vakkasov Baxtiyor Abdurahimovich. Metallurgiya ishlab chiqarishi qo'rg'oshin-vismut shlamlarini selektiv eritish va qayta ishlash texnologiyasi 87

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI

Berdimuratova Gulbanu Parxat qizi, Kurbonova Moxigul Mamasaliyevna. Quljuqtov tog'lari devon davri yotqiziqqlarining litologik tarkibi va qatlamlanish xususiyatlari 93

Mavlonov Shohrux Boboxon o'g'li, Fozilov Sadridin Fayzullayevich. Uch monomerli terpolimerlanish reaksiyasida tarkibining strukturaviy o'zgarishlari eksperimental va kinetik model asosida baholash 99

Rustamov Mirzoxid Mansur o'g'li. Gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishini kamaytirish uchun ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasini takomillashtirish 105

Otaxonov Maqsud Yusufovich, Zokirov Ilhomjon Bahtiyor o'g'li, Arifjanov Alisher Abdullayevich, Azizov Khurshid Abduxamidovich. Smart channel qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfini eksperimental baholash 111

Axmedov Xolxo'ja Raxmatullayevich, Abdusalomova Moxinur Musurmon qizi. Burmachan kamarning postkollizion bosqichining rivojlanishi va postkollizion granitoidlarning shakllanishi 121

Alimov Ma'ruffjon Mavlonberdiyevich, Djalilov Gafur Ganiyevich, Tog'ayev Isomiddin Saparovich. Boysun egilmasidagi yura karbonat formatsiyalarining strukturaviy va litostratigrafik xususiyatlari 127

Shoymurotov To'ychi Xoliqulovich, Tog'ayev Isomiddin Saparovich, Alimov Ma'ruffjon Mavlonberdiyevich, Toshtemirov Shoxruxjon Alisher o'g'li. Chorjo'y pog'onasidagi umid maydoni yura terrigen yotqiziqqlarining neftgazliligining geologik-qidiruv mezonlari 135

Kilichev Ikrom Komil o'g'li, Ibotov Oybek Kuyli o'g'li, Turdiyev Shoxjaxon Shermamat o'g'li, Matniyazov Oxunjon Pulatovich. Buxoro-Xiva regionidagi konlarda uglevodorod olishni jadallashtirish texnologiyalarining samaradorligi 142

Dononov Jasur Ural o'g'li. Yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlari 151

Dononov Jasur Ural o'g'li, Shamsidinova Gulzoda Ural qizi. Hududlarning neotektonik tuzilishi va harakatini o'rganishda ierarxik tektodinamik model asosidagi metodologik yondashuv 157

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH

- Buranova Dinara Baxtiyarovna.* “Xiva kvarts qumi – sulton uvays dala shpati – qo‘rg‘oshinli chiqindi” tizimi asosida past haroratda suyuqlanuvchi emal kompozitsiyalarini ishlab chiqish va xossalarini tadqiq etish 166
- Turdiyev Jasurbek Qahramon o‘g‘li, Kuyboqarov Oybek Ergashevich, Panjiyev Ulug‘bek Rustamovich.* Adsorbsiya jarayoniga pH, kontakt vaqti, sorbent miqdori va boshlang‘ich konsentratsiya ta‘sirini o‘rganish 171
- Davronova Munisa Nurali qizi, Eshqurbonov Furqat Bozorovich, Ashurova Asal Abdulolim qizi, Abdullayeva Rayxona Ilhom qizi.* Sherobod argillit minerali bilan to‘ldirilgan ikkilamchi polietilen asosidagi geomembranalar sintezi va xossalarini o‘rganish 180
- Sattorov Laziz Xolmurodovich, Kurbanov Abdiraxim Axmedovich, Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich, Jurayeva Huriyat Zoirovna.* Mashar poyasi sellulozasi asosida tibbiy gips uchun farmatsevtik sifatidagi natriy karboksimetilsellyuloza (Na-CMC) olish va tozalash texnologiyasini ishlab chiqish 186
- Sattorov Laziz Xolmurodovich, Kurbanov Abdiraxim Axmedovich, Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich, Jurayeva Huriyat Zoirovna.* Sellyuloza-bazalt tolali gibridd kompozitlarning issiqlik va ovoz izolyatsiyasi uchun tayyorlanishi hamda fizik-mexanik xossalarini baholash 193
- Rahmanqulov Aliqul Amirkulovich, Maxmanov Ergash Binoqulovich, Xaydarov Tuymurod Zoyirovich, Ro‘ziyev Rufat Toshboyevich.* Binar to‘ldiruvchilar asosida olingan epoksid polimer kompozit qoplamalarning termofizik va o‘tga chidamlilik xossalarini tadqiq etish 199

YENGIL SANOAT TARMOQLARI

- Nazirov Raxmatjon Rasulovich, Karimov Maxmud Raxmatovich, Abduqahorov No‘monbek Oybek o‘g‘li, Muxammadiyev Umarali Sheraliyevich.* Linterlash jarayoni samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarning analitik tahlili va tadqiqot yo‘nalishini asoslash 207

EKOLOGIYA, MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI

- Ikromov Abdulaziz A‘zamovich, Urinov Ulug‘bek Komiljonovich, Fayziyev Jahongir Bahromovich.* Koagulyatsiya jarayoni asosida sanoat oqava suvlarini tozalashning nazariy asoslari va amaliy yondashuvlari 212

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Хасанов Абдирашид Салиевич, Эшанкулова Гульмира Рашидовна. История элемента урана и перспективы развития атомной энергетики в Узбекистане 10

Нурхонов Хусан Алмирза угли, Буриев Феруз Мансур угли, Равианов Аваз Али угли, Бакиров Гайрат Холикбердиевич. Роль химических ампул, применяемых при анкерном креплении горных выработок 19

Хужакулов Нурмурод Ботирович, Насирова Низора Рамазановна, Иботов Бобур Одил угли, Сафаров Аминжон Нетьмат угли. Повышения эффективности сорбционного цианирования упорных серебро-содержащих руд с применением различных реагентов для предварительной обработки 23

Алимов Шохриддин Мухамматович, Нормуродов Жасурбек Жалол угли. Обоснование рациональных параметров взрывных скважин для повышения степени дробления скальных горных пород на месторождении «Ёшлик-1» 28

Атауллаев Азизжон Одилович, Жураев Нодирбек Нормуродович, Эгамбердиев Илхом Пулатович, Яхшиев Шерали Намозович. Термомеханический анализ корпуса вращающейся оси с учетом тепловых нагрузок и структурных деформаций в пятиосевой системе ЧПУ 33

Жураев Нодирбек Нормуродович, Атауллаев Азизжон Одилович, Эгамбердиев Илхом Пулатович, Яхшиев Шерали Намозович. Разработка метода контроля профиля эвольвентных зубов цилиндрических колес на основе технологий машинного зрения 41

Хасанов Адхам Аманкулович, Эшанкулова Кумушой Абдуманан кизи, Эргашев Рузибек Алишер угли, Норбеков Исломжон Гофуржон угли. Исследование технологической эффективности буровых установок СБШ-250 МНА-32, применяемых на месторождении «Ёшлик I», и физико-механического воздействия горного массива 47

Каюмов Умиджон Эркинович, Хатамова Дилишода Нормуродовна, Пардаева Шахло Сахибжоновна. Повышение эффективности очистки впускного воздуха двигателей внутреннего сгорания горных машин 53

Сидиков Равшан Мирзабекович, Эргашев Махмуд Ахбаралиевич, Ахмадалиев Алишер Мадаминович, Абдуразаков Улугбек Мамаюсуб угли. Исследование эффективности комбинированной технологии при обогащении полиметаллических руд 61

Холикулов Дониёр Бахтиёрович, Болтаев Олмос Наджмиддинович, Элчиева Мохинур Дилишод кизи. Анализ роли окисленных медных руд в мировых запасах медных руд и современных технологических решений по их переработке 67

Тошкодирова Рано Эркинжоновна, Кенжаева Севара Абсаматовна. Термодинамические основы селективной очистки железистых пигментов от мышьяка, полученных из растворов биоокисления 74

Холикулов Дониёр Бахтиёрович, Шаропова Дурдона Юлдош кизи. ФОСФИД МЕДИ (Cu₃P): Современный анализ методов синтеза, электрохимических свойств и противокоррозионного применения 81

Мирзанова Зулфизар Анваржановна, Эшонкулов Учкун Худайназар угли, Ваккасов Бахтияр Абдураимович. Технология селективного выщелачивания и переработки свинцово-висмутовых шламов металлургического производства 87

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Бердимуратова Гульбану Пархат кизи, Курбанова Мохигул Мамасалиевна. Литология и особенности залегания девонских отложений кульдзуктауских гор 93

Мавлонов Шохрух Бобохон угли, Фозилов Садриддин Файзуллаевич. Оценка структурных изменений состава в реакции терполимеризации в трёхкомпонентной системе на основе экспериментальных данных и кинетической модели 99

Рустамов Мирзохид Мансур угли. Совершенствование технологии пеногенирующих шашек для снижения скопления жидкости в газовых скважинах 105

Отахонов Максуд Юсуфович, Зокиров Илхомжон Бахтиёр угли, Арифжанов Алишер Абдуллаевич, Азизов Хуришод Абдухамидович. Экспериментальная оценка чувствительности устройства Smart channel и минимального расхода воды 111

Ахмедов Холхужа Рахматуллаевич, Абдусаломова Мохинур Мусурмон кизи. Развитие постколлизонной стадии складчатых поясов и происхождение постколлизонных гранитоидов 121

Алимов Маруфжон Мавлонбердиевич, Джалилов Гафур Ганиевич, Тогаев Исомиддин Сапарович. Структурные и литостратиграфические особенности юрской карбонатной формации в Байсунском прогиб 127

Шоймуратов Туйчи Холикулович, Тогаев Исомиддин Сапарович, Алимов Маруфжон Мавлонбердиевич, Тоштемуров Шохрухжон Алишер угли. Геолого-поисковые критерии нефтегазоносности юрских терригенных отложений площади Умид Чарджуйской ступени 135

Киличев Икром Комил угли, Иботов Ойбек Куйли угли, Турдиев Шохжахон Шермамат угли, Матниязов Охунжон Пулатович. Эффективность технологий интенсификации добычи углеводородов на месторождениях Бухаро-Хивинского региона 142

Дононов Жасур Урал угли. Особенности пространственного и глубинного распределения разломов земной коры 151

Дононов Жасур Урал угли, Шамсидинова Гульзода Урал кизи. Методологический подход к изучению неотектонической структуры и движения территорий на основе иерархической тектодинамической модели 157

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО

Буранова Динара Бахтияровна. Разработка и исследование свойств легкоплавких эмалевых композиций на основе системы «Хивинский кварцевый песок – полевоы шпат Султан-Увайс – свинецсодержащие отходы» 166

Турдиев Жасурбек Кахрамон угли, Куйбокаров Ойбек Эргашевич, Панджиев Улугбек Рустамович. Исследование влияния pH, времени контакта, количества сорбента и начальной концентрации на процесс адсорбции 171

Давронова Муниса Нурали кизи, Эшкурбонов Фуркат Бозорович, Ашурова Асал Абдуолим кизи, Абдуллаева Райхона Ильхом кизи. Синтез и исследование свойств геомембран на основе вторичного полиэтилена, наполненных Шерабадским аргиллитом 180

Сатторов Лазиз Холмуродович, Курбанов Абдирахим Ахмедович, Рахматов Худоёр Бобониёзович, Джурсаева Хурият Зоировна. Разработка технологии получения и очистки натриевой карбоксиметилцеллюлозы (Na-CMC) фармацевтического качества из целлюлозы стеблей машара для медицинского гипса 186

Сатторов Лазиз Холмуродович, Курбанов Абдирахим Ахмедович, Рахматов Худоёр Бобониёзович, Джурсаева Хурият Зоировна. Получение и оценка эксплуатационных свойств гибридных композитов на основе целлюлозы и базальтового волокна для тепло- и звукоизоляции 193

Рахманкулов Алижул Амиркулович, Махманов Эргаш Бинокулович, Хайдаров Туймурод Зойирович, Рузиев Руфат Тошбоевич. Исследование теплофизических и огнестойких свойств эпоксидных полимерных композиционных покрытий на основе бинарных наполнителей 199

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Назирова Рахматжон Расулович, Каримов Махмуд Рахматович, Абдукахоров Нуманбек Ойбек угли, Мухаммадиев Умарали Шералиевич. Аналитический обзор научных исследований по повышению эффективности процесса линтерования и обоснование направления исследований 207

ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Икромов Абдулазиз Азамович, Уринов Улугбек Комилжонович, Файзиев Жахонгир Бахромович. Теоретические основы и практические подходы к очистке промышленных сточных вод на основе процесса коагуляции 212

CONTENTS

MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

- Xasanov Abdirashid Saliyevich, Eshankulova Gulmira Rashidovna.* The history of uranium and prospects for the development of nuclear energy in Uzbekistan 10
- Nurkhonov Khusan Almirza ugli, Boriyev Feruz Mansur ugli, Ravshanov Avaz Ali ugli, Bakirov Ghayrat Kholiqberdiyevich.* The role of chemical capsules used in rock bolt support of mine workings 19
- Xujakulov Nurmurod, Nasirova Nigora, Ibotov Bobur, Safarov Aminjon.* Increasing the efficiency of sorption cyanidation of refractory silver-containing ores using various reagents for pre-treatment 23
- Alimov Shokhridin Mukhammadovich, Normurodov Jasurbek Jalol ugli.* Substantiation of optimal blast hole parameters to enhance the fragmentation efficiency of hard rock masses at the Yoshlik-I deposit 28
- Ataullaev Azizjon Odilovich, Juraev Nodirbek Normurodovich, Egamberdiev Ilkhom Pulatovich, Yakhshiev Sherali Namozovich.* Thermomechanical analysis of a rotating axis housing taking into account thermal loads and structural deformations in a five-axis CNC system 33
- Juraev Nodirbek Normurodovich, Ataullaev Azizjon Odilovich, Egamberdiev Ilkhom Pulatovich, Yakhshiev Sherali Namozovich.* Development of a method for controlling the evolvent teeth profile of cylindrical wheels based on machine view technologies 41
- Khasanov Adham Amankulovich, Eshankulova Kumushoy Abdumanap kizi, Ergashev Ruzibek Alisher ugli, Norbekov Islomjon Gofurjon ugli.* Investigation of the technological efficiency of SBSH-250 MNA-32 drilling rigs used at the “Yoshlik I” deposit and the physico-mechanical impact of the rock mass 47
- Kayumov Umidjon Erkinovich, Khatamova Dilshoda Normurodovna, Pardayeva Shahlo Saxibjonovna.* Enhancement of intake air filtration efficiency for internal combustion engines of mining equipment 53
- Sidikov Ravshan Mirzabekovich, Ergashev Makhmud Axbaraliyevich, Akhmadaliyev Alisher Madaminovich, Abdurazakov Ulugbek Mamayusub ugli.* Investigation of the efficiency of combined technology for polymetallic ore beneficiation 61
- Kholikulov Doniyor Bakhtiyorovich, Boltayev Olmos Najmidinovich, Elchiyeva Mokhinur Dilshod kizi.* Analysis of the role of oxidized copper ores in global copper ore reserves and modern technological solutions for their processing 67
- Toshkodirova Rano Erkinjonovna, Kenjayeva Sevara Absamatovna.* Thermodynamic basis of selective arsenic removal from iron oxide pigments obtained from bio-oxidation solutions 74
- Kholikulov Doniyor Bakhtiyorovich, Sharopova Durdona Yuldosh kizi.* Copper phosphide (Cu₃P): a modern review of synthesis methods, electrochemical properties, and anticorrosion applications 81
- Mirzanova Zulfizar Anvarjonovna, Eshonkulov Uchkun Khudoynazar ugli, Vakkasov Bakhtiyor Abdurahimovich.* Technology of selective leaching and processing of lead–bismuth sludges from metallurgical production 87

GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

- Berdimuratova Gulbanu Parkhat kizi, Kurbanova Moxigul Mamasaliyevna.* The importance of aerospace mapping methods in oil and gas field exploration 93
- Mavlonov Shokhruxh Bobokhon ugli, Fozilov Sadridin Fayzullayevich.* Evaluation of compositional structural changes in terpolymerization of a ternary system based on experimental data and kinetic modeling 99
- Rustamov Mirzokhid Mansur ugli.* Improvement of foam-generating stick technology for reducing liquid loading in gas wells 105
- Otakhonov Maqsud Yusufovich, Zokirov Ilhomjon Bakhtiyor ugli, Arifjanov Alisher Abdullayevich, Azizov Khurshid Abduxamidovich.* Experimental assessment of the sensitivity of the Smart channel device and the minimum water discharge 111
- Akhmedov Xolkuja Rakhmatullaevich, Abdusalomova Mokhinur Musurmon kizi.* Development of the post-collisional stage of fold belts and the origin of post-collisional granitoids 121
- Alimov Ma'ruffjon Mavlonberdiyevich, Djalilov Gafur Ganievich, Togayev Isomiddin Saparovich.* Structural and litho-stratigraphic features of the jurassic carbonate formation of the Boysun flex 127
- Shoymurotov Tuychi Kholiqulovich, Togayev Isomiddin Saparovich, Alimov Maruffjon Mavlonberdiyevich, Toshtemirov Shoxruxjon Alisher ugli.* Geological-search criteria for oil and gas in the jurassic terrigenous deposits of the Umid field of the Charjoy stage 135
- Kilichev Ikrom Komil ugli, Ibotov Oybek Kuyli ugli, Turdiyev Shoxjaxon Shermamat ugli, Matniyazov Oxunjon Pulatovich.* Efficiency of technologies for intensifying the production of hydrocarbons at the deposits of the Bukhara-Khiva region 142
- Dononov Jasur Ural ugli.* Spatial and depth distribution characteristics of geological faults 151
- Dononov Jasur Ural ugli, Shamsidinova Gulzoda Ural kizi.* A methodological approach to studying neotectonic structure and movement of regions based on a hierarchical tectodynamic model 157

CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

Buranova Dinara Baxtiyarovna. Development and investigation of the properties of low-temperature fusible enamel compositions based on the “Khiva quartz sand – Sultan Uvays feldspar – lead-containing waste” system 166

Turdiyev Jasurbek Kahramon ugli, Kuybokarov Oybek Ergashevich, Panjiev Ulugbek Rustamovich. Investigation of the effects of pH, contact time, sorbent dosage, and initial concentration on the adsorption process 171

Davronova Munisa Nurali kizi, Eshkurbonov Furkat Bozorovich, Ashurova Asal Abduolim kizi, Raykhona Abdullayeva Ilkhom kizi. Synthesis and study of the properties of geomembranes based on recycled polyethylene filled with sherobod argillite mineral 180

Sattorov Laziz Kholmurodovich, Kurbanov Abdiraxim Axmedovich, Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich, Juraeva Huriyat Zoirovna. Development of a purification technology for pharmaceutical-grade sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) from mashar stem cellulose for medical gypsum applications 186

Sattorov Laziz Kholmurodovich, Kurbanov Abdiraxim Axmedovich, Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich, Juraeva Huriyat Zoirovna. Preparation and performance evaluation of cellulose–basalt fiber hybrid composites for thermal and acoustic insulation 193

Rahmankulov Alijul Amirkulovich, Maxmanov Ergash Binokulovich, Khaydarov Tuymurod Zoyirovich, Ruziyev Rufat Toshboevich. Investigation of the thermophysical and fire-resistance properties of epoxy polymer composite coatings based on binary fillers 199

LIGHT INDUSTRIES

Nazirov Rakhmatjon Rasulovich, Karimov Makhmud Rakhmatovich, Abdukahorov Nomonbek Oybek ugli, Mukhammadiev Umarali Sheralievich. Analytical review of scientific research on improving the efficiency of the lintering process and justification of the research direction 207

ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

Ikromov Abdulaziz Azamovich, Urinov Ulugbek Komiljonovich, Fayziyev Jahongir Bahromovich. Theoretical foundations and practical approaches to industrial wastewater treatment based on the coagulation process 212

KON-METALLURGIYA VA ISHLAB CHIQRISH SANOATI
ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

UO'K: 553.495:621.039(575.1)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.25

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

URAN ELEMENTINING TARIXI VA O'ZBEKISTONDA ATOM
ENERGETIKASINI RIVOJLANTIRISH ISTIQBOLLARI



Xasanov Abdirashid Saliyevich

Texnika fanlari doktori, professor, "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ Innovatsion texnologiyalarni rivojlantirish va joriy etish markazi texnologiya bo'yicha direktor o'rinbosari, Olmaliq, O'zbekiston

E-mail: a.xasanov@srt-journal.uz
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622
Science ID: DTV-1225-0005



Eshankulova Gulmira Rashidovna

MISIS Olmaliq filiali tayanch doktoranti, Olmaliq, O'zbekiston
E-mail: egr1424@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-5351-3760
Science ID: FTV-0426-0024

Annotatsiya. Ushbu maqolada uran elementining kelib chiqishi, kashf etilish tarixi va yadro fizikasi rivojlanishidagi o'rni tahlil qilingan. Shuningdek, uranni boyitish texnologiyalari, zamonaviy atom energetikasining rivojlanish tendensiyalari hamda O'zbekistonning global uran bozoridagi strategik mavqei yoritilgan. Mamlakatimizda uran qazib olishning zamonaviy usullari, «Navoiyuran» davlat korxonasi faoliyati, yangi konlarni o'zlashtirish istiqbollari va Jizzax atom elektr stansiyasi loyihasining energetik hamda iqtisodiy ahamiyati baholangan. Tadqiqot natijalari O'zbekistonning jahon yadro sanoatidagi roli tobora ortib borayotganini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: uran, yadro energetikasi, uranni boyitish, atom elektr stansiyasi, Navoiyuran, Markaziy Qizilqum, yer ostida tanlab eritish, yadro xavfsizligi, strategik xomashyo, yashil energetika.

Received: 30.05.2026

Accepted: 28.06.2026

Published: 29.06.2026

ИСТОРИЯ ЭЛЕМЕНТА УРАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УЗБЕКИСТАНЕ

Хасанов Абдирашид Салиевич

Доктор технических наук, профессор, заместитель директора по технологиям Центра разработки и внедрения инновационных технологий АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», Алмалык, Узбекистан

Эшанкулова Гульмира Рашидовна

Базовый докторант Алмалыкского филиала НИТУ «МИСИС», Алмалык, Узбекистан

***Аннотация.** В статье рассмотрены происхождение элемента урана, история его открытия и роль в развитии ядерной физики. Проанализированы технологии обогащения урана, современные тенденции развития атомной энергетики и стратегическое значение Узбекистана на мировом рынке урана. Особое внимание уделено современным технологиям добычи урана, деятельности предприятия «Навоиуран», освоению новых месторождений, а также энергетическому и экономическому значению проекта строительства Джизакской атомной электростанции. Полученные результаты свидетельствуют об укреплении позиций Узбекистана в мировой ядерной промышленности.*

***Ключевые слова:** уран, атомная энергетика, обогащение урана, атомная электростанция, Навоиуран, Центральный Кызылкум, подземное скважинное выщелачивание, ядерная безопасность, стратегическое сырьё, зелёная энергетика.*

THE HISTORY OF URANIUM AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY IN UZBEKISTAN

Xasanov Abdirashid Saliyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Technology, Innovation Development and Implementation Center, Almalyk Mining and Metallurgical Complex JSC, Almalyk, Uzbekistan

Eshankulova Gulmira Rashidovna

PhD Researcher, Almalyk Branch of MISIS National University of Science and Technology, Almalyk, Uzbekistan

***Abstract.** This paper examines the origin of uranium, the history of its discovery, and its contribution to the development of nuclear physics. It analyzes uranium enrichment technologies, recent trends in nuclear energy development, and Uzbekistan's strategic position in the global uranium market. Particular attention is given to modern uranium mining technologies, the activities of Navoiuran State Enterprise, the development of new uranium deposits, and the economic and energy significance of the Jizzakh Nuclear Power Plant project. The findings demonstrate Uzbekistan's steadily growing role in the global nuclear industry.*

***Keywords:** uranium, nuclear energy, uranium enrichment, nuclear power plant, Navoiuran, Central Kyzylkum, in-situ leaching, nuclear safety, strategic raw materials, green energy.*

Kirish. Insoniyat tarixi aslida energiya manbalarini qidirish va ularni bo'ysundirish xronikasidan iborat. Olov ustidan qozonilgan ilk g'alabadan boshlab, ko'mir va neft davrigacha bo'lgan yo'lni bosib o'tish uchun bizga minglab yillar kerak bo'ldi. Biroq XX asrga kelib, ilm-fan olami koinotning eng dahshatli va eng sirli xazinalaridan birini ochishga muvaffaq bo'ldi. Bu — atom yadrosi qa'rida yashiringan va aqlga sig'mas darajada ulkan bo'lgan quvvat edi. Bu buyuk va vayronkor kuchning markazida esa Mendeleev davriy jadvalining 92-raqamli elementi — kumushsimon-oq rangli, og'ir va sirli uran (U) metalli turadi.

Bugungi kunda uran shunchaki kimyoviy element emas. U global geosiyosat tarozisini belgilab beruvchi asosiy tosh, yashil energetikaga o'tish davrining bosh ustuni va davlatlar xavfsizligining kafolatidir. Bu metallning tarixi koinotning yaratilishi bilan boshlanib, bugungi

kunda O'zbekiston sahralaridagi zamonaviy konlarda davom etmoqda [1].

Uranning paydo bo'lish tarixi Yerdagi hech bir jarayon bilan bog'liq emas. U ko'mir yoki neft kabi millionlab yillar davomida organik moddalarning chirishidan hosil bo'lmagan. Uni yaratish uchun tabiatga butun boshli yulduzlarni portlatish to'g'ri kelgan.

Adabiyot tahlili va metodologiyasi.

Zamonaviy astrofizikaning isbotlashicha, uran kabi o'ta og'ir metallar faqat Koinotdagi eng dahshatli va global halokatlar — so'nuvchi yulduzlar (Supernova) portlashi yoki ikkita neytron yulduzining o'zaro to'qnashishi paytidagina yuzaga keladi. Bunday lahzalarda sodir bo'ladigan aql bovar qilmas harorat va milliardlab neytronlar oqimi yengil yadrolarni bir-biriga qo'shilishga majbur qiladi va natijada uran yadrosi shakllanadi.

Bundan taxminan 4,5 milliard yil avval Koinot changi va qadimgi yulduzlar qoldiqlaridan

biz yashab turgan Yer sayyorasi shakllanayotganda, uran ham uning tarkibiga kirgan. Geologik xususiyatlariga ko'ra, uran tosh jinslariga o'ch metall hisoblanadi. Shu sababli u Yerning markazidagi og'ir temir yadroga cho'kib ketmasdan, sayyoraning ustki qatlamida — biz oyoq bosib turgan Yer po'stlog'ida qolib ketgan. Eng qizig'i, insoniyat bu elementni kovlab olishni boshlagunga qadar, uran milliard yillar davomida o'zidan chiqargan radiatsiya hisobiga Yer bag'rini isitib, vulqonlar va geologik harakatlarni ta'minlab kelgan. Ya'ni, sayyoramizning tirik va issiq ekanligi uchun ham biz urandan qarzdormiz.

Insonlar uran bilan juda qadimdan to'qnash kelishgan, ammo uni tanishmagan. Masalan, qadimgi Rim imperiyasi davrida kulollar va shishasozlar uran ma'dani qo'shilgan tuproqdan yasalgan buyumlarning nafis sarg'ish-yashil tus olishini payqashgan. Biroq uni alohida metall sifatida ajratib olish hech kimning xayoliga kelmagan.



1-rasm. So'nuvchi yulduz (supernova) portlashi natijasida og'ir elementlarning sintezi.

Uran rasman **1789-yilda** nemis kimyogari **Martin Genrix Klaprot** tomonidan kashf etildi. U Saksoniyadagi kumush konlaridan topilgan qora rangli og'ir mineralni tadqiq qilayotganda, uning ichidan noma'lum metall oksidini ajratib olishga muvaffaq bo'ladi. O'sha yillarda ilm-fan olamida yana bir buyuk voqea sodir bo'lgan edi — astronom Uilyam Gershel koinotda yangi sayyorani kashf etib, uni qadimgi yunon xudosi sharafiga Uran deb nomlagandi.

Klaprot ham o'zi topgan yangi elementni mana shu mashhur sayyora sharafiga Uran deb

atashni lozim topadi [2].



2-rasm. Martin Genrix Klaprot.

Shuni aytish kerakki, Klaprot olgan modda sof uran emas, balki uning oksidi edi. Oradan yarim asrdan ko'proq vaqt o'tib, **1841-yilda** fransuz kimyogari **Ejen Peligo** birinchi bo'lib to'q rangli kumushsimon sof uran metallini olishga muvaffaq bo'ldi. Ammo u paytlarda bu metallning ichida qanday dahshatli kuch yashiringanini hali hech kim, hatto olimlarning o'zlari ham tasavvur qila olishmasdi. U uzoq vaqt davomida oddiy bo'yoq va shisha sanoati xomashyosi bo'lib qolaverdi.



3-rasm. Anri Bekkerel.

XIX asrning oxiri va XX asrning boshlari uran atrofida butun boshli yangi fan — yadro fizikasining yaratilishiga sabab bo'ldi. Bu davrda zanjirband sodir bo'lgan ilmiy kashfiyotlar insoniyatning materiya va energiya haqidagi tushunchalarini butunlay ostin-ustun qilib yubordi.



4-rasm. Mariya Kyuri.

Hammasi 1896-yilda fransuz fizigi **Anri Bekkerelning** oddiy bir tasodifidan boshlandi. U uran tuzlarining yorug'lik chiqarish xususiyatini o'rganayotgan edi. Bir kuni u fotoplastinkani qora qog'ozga o'rab, ustiga uran bo'lagini qo'ydi-da, ob-havo bulut bo'lgani uchun ishni keyinga qoldirib, hammasini qorong'i g'aladonga joylashtirdi. Bir necha kundan keyin plastinkani ochib ko'rganda, unda uran tuzining aniq soyasi (tasviri) qolganini ko'rib hayratda qoldi. Bu uranning tashqi yorug'lik yoki issiqliksiz ham, o'z-o'zidan ko'zga ko'rinmas, qog'ozdan o'tib ketuvchi nurlar chiqarishini anglatar edi. Bu hodisa keyinchalik **Mariya va Pyer Kyurilar** tomonidan "radiofaollik" deb nomlandi va ular bu kashfiyot yo'lida o'z sog'liqlarini qurbon qilishdi.

Biroq eng dahshatli va olamshumul yangilik 1938-yilning sovuq dekabr kunlarida sodir bo'ldi. Nemis kimyogarlari Otto Gan va Frits Shtrassman laboratoriyada uran yadrosini neytron zarrachalari bilan o'qqa tutganda, uran yadrosi deyarli teng ikki bo'lakka bo'linib ketganini payqashdi. Fizik ayol Liza Meytner va uning jiyani Otto Frish bu jarayonning matematik va fizik isbotini ishlab chiqishdi.

Bu oddiy kimyoviy reaksiya emas, balki koinot sirining ochilishi edi. Bir dona uran yadrosi bo'linganda, Albert Eynshteynning mashhur formulasiga muvofiq, oddiy yonilg'ilardan millionlab marta kuchli bo'lgan energiya va qo'shimcha yangi neytronlar ajralib chiqardi. Bu yangi neytronlar esa qo'shni uran yadrolarini urib vayron qilar va shu tariqa soniyaning mingga bir

ulushida "zanjirli yadro reaksiyasi" boshlanardi. Mana shu kashfiyot insoniyatni bir vaqtning o'zida ham eng dahshatli qurol — atom bombasi, ham eng kuchli energiya manbai — yadroviy energetika ostonasiga olib keldi.

1-jadval.

2026-yilda dunyoda jami ishlab turgan atom reaktorlari holati

T/r	Davlat	Reaktorlar soni (taxminan)	Izoh
1	AQSH	94	Dunyodagi eng yirik atom energetikasi tarmog'i
2	Xitoy	56 (+29)	Eng tez rivojlanayotgan davlat, yana 29 ta reaktor qurilmoqda
3	Fransiya	56	Elektr energiyasining qariyb 70 % atom energetikasidan olinadi
4	Rossiya	36	Zamonaviy yadro texnologiyalari yetakchilaridan biri
5	Yaponiya	33	Reaktorlarning bir qismi texnik ko'rikda yoki vaqtincha to'xtatilgan
6	Janubiy Koreya	26	Elektr energiyasining 30 % ga yaqini atom energetikasidan olinadi
7	Hindiston	23	Yangi atom elektr stansiyalari faol qurilmoqda
8	Kanada	19	Asosan Ontario provinsiyasida joylashgan
9	Ukraina	15	Zaporozhye AES Yevropadagi eng yirik atom elektr stansiyalaridan biri
10	Buyuk Britaniya	9	Yangi reaktorlar qurilishi rejalashtirilgan
11	Ispaniya	7	Atom elektr stansiyalarini bosqichma-bosqich yopish rejalashtirilgan
12	Shvetsiya	6	Yangi reaktorlar qurishga ruxsat berilgan
13	Pokiston	6	Xitoy bilan hamkorlikda rivojlanmoqda
14	Chexiya	6	Janubiy Koreya bilan yangi loyiha amalga oshirilmoqda
15	Belgiya	5	AESlarni yopish rejasini keyinga surilgan
16	Finlyandiya	5	Olkiluoto-3 dunyodagi eng qudratli reaktorlardan biri
17	Vengriya	4	"Paksh" AES kengaytirilmoqda
18	Slovakiya	5	Elektr energiyasining 50 % dan ortig'i atom energetikasidan olinadi
19	Shveysariya	4	Referendumdan so'ng yangi reaktorlar qurilishiga ruxsat berildi
20	BAA	4	"Baraka" AES to'liq ishga tushirilgan
21	Braziliya	2	"Angra-1" va "Angra-2" atom elektr stansiyalari
22	Bolgariya	2	"Kozloduy" AES faoliyat yuritilmoqda
23	Argentina	3	"Atucha" va "Embalse" atom elektr stansiyalari
24	JAR	2	Afrikadagi yagona atom elektr stansiyasiga ega davlat
25	Meksika	2	"Laguna Verde" AES
26	Polsha	0 (1)*	Birinci atom elektr stansiyasi qurilishi boshlangan
27	Turkiya	0 (1)*	"Akkuyu" AES sinov bosqichida
28	Ruminiya	2	"Cernavoda" AES
29	Eron	1	"Bushehr" AES
30	Sloveniya	1	"Krško" AES (Xorvatiya bilan hamkorlikda)
31	Niderlandiya	1	"Borssele" AES
32	Armaniston	1	"Metsamor" AES
33	Belarus	2	Ostrovets atom elektr stansiyasi
34	O'zbekiston	0 (2)*	Jizzax atom elektr stansiyasi loyihasi amalga oshirilmoqda

Muhokama. Tabiatdan qazib olingan uranni to'g'ridan-to'g'ri reaktorga solib yoqib bo'lmaydi. Buning sababi — uranning ichki tabiatidagi notekislikdir. Qazib olingan uran tarkibida ikki xil izotop (egizaklar) bo'ladi. Birinchisi — **Uran-238**

bo'lib, u umumiy hajmning 99,3 foizini tashkil etadi, lekin u juda "dangasa" va zanjirli reaksiyaga kirishmaydi. Ikkinchisi — **Uran-235** bo'lib, u atigi 0,7 foiz atrofida uchraydi. Lekin aynan mana shu kamyob izotop yadro yoqilg'isining asl yuragi hisoblanadi.

Reaktor ishlashi uchun uran tarkibidagi Uran-235 ulushini kamida 3-5 foizgacha ko'tarish kerak. Bu jarayon ilm-fanda "uranni boyitish" deb ataladi. Bu ikki izotopning kimyoviy xususiyatlari bir xil, ular faqat vazni bilan bir-biridan juda juz'iy farq qiladi. Shu sababli ularni ajratib olish dunyodagi eng murakkab, eng qimmat va eng maxfiy texnologiya hisoblanadi. Bugungi kunda buning uchun maxsus gaz sentrifugalari ishlatiladi. Uran gaz holatiga keltirilib, daqiqasiga yuz minglab marta aylanadigan barabanlar ichiga yuboriladi. Og'irroq izotoplar devor tomon urilib, yengil va kerakli bo'lgan **Uran-235** markazda yig'ib olinadi.

Bugungi kunda dunyo global iqlim o'zgarishi va havoning isib ketishi muammosi bilan kurashayotgan bir paytda, atom energetikasi insoniyat uchun haqiqiy qutqaruvchiga aylandi. Zamonaviy AESlar — bu uranning vayronkor kuchini jilovlab, undan faqat ezgulik yo'lida, ya'ni elektr energiyasi olishda foydalanadigan ulkan va murakkab muhandislik inshootlaridir.

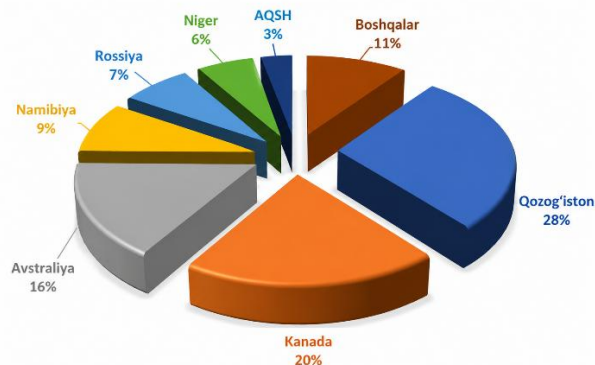
Uraning quvvatini oddiy misolda tasavvur qilish mumkin: bor-yo'g'i 1 gramm uran-235 izotopi parchalanganda ajraladigan issiqlik, deyarli 3 tonna eng sifatli ko'mir yoki 2 tonna neft yoqilganda chiqadigan energiyaga teng.

Hozirda Yer yuzida 400 dan ortiq yadroviy reaktorlar uzluksiz ishlab turibdi. Chernobil yoki Fukusima fojialaridan to'g'ri xulosa chiqargan ilm-fan bugungi kunda mutlaqo xavfsiz bo'lgan "3+" va 4-avlod reaktorlarini yaratdi. Bu reaktorlar inson omilisiz, hatto qandaydir avariya sodir bo'lgan taqdirda ham, o'z-o'zini avtomatik ravishda o'chirish va radiatsiyani ichkarida qamab qo'yish tizimlariga ega. Eng muhimi, AESlar atmosferaga is gazi (CO₂) chiqarmaydi, shu sababli ular dunyo miqyosida "yashil energetika" maqomini oldi. So'nggi o'n yilliklarda yangi qurilgan reaktorlarning katta qismi Xitoy, Hindiston va BAA hissasiga to'g'ri keldi. Xitoy dunyoda eng tez kengayib borayotgan yadroviy davlatga aylandi va og'irlik markazi Osiyoga "ko'chdi".

Uran — oddiy bozorda sotiladigan tovar

emas. U strategik xomashyo bo'lgani uchun dunyo xaritasidagi kuchlar muvozanatini belgilaydi. Uni qazib olish va qayta ishlash imkoniyatiga ega davlatlar sanoqlidir. Qozog'iston, Kanada va Namibiya dunyo uran bozorining asosiy o'yinchilari hisoblanadi. Ammo so'nggi yillarda dunyoda yadro yoqilg'isiga bo'lgan talabning keskin ortishi va yangi AESlar qurilishi natijasida uranning narxi rekord darajada qimmatlashdi va xalqaro birjalarda bir funt uran uchun 100 dollarlik dovondan oshib o'tdi. Bu sohani dunyodagi eng daromadli va strategik tarmoqqa aylantirdi.

Ko'pchilik bilmasligi mumkin, ammo O'zbekiston dunyo uran sanoatining haqiqiy "nahanglaridan" biridir. Mamlakatimiz zamini bu qimmatbaho metallning zaxiralari bo'yicha ham, uni qazib olish hajmi bo'yicha ham jahonda eng oldingi qatorlarda turadi.



5-rasm. Qiyosiy tahlillar: dunyo miqyosida 2025-yilda asosiy ishlab chiqaruvchi mamlakatlar tomonidan uran qazib olinishi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining **2022-yil 14-iyuldagi PQ-319-sonli qarori** soha rivojida yangi davrni boshlab berdi. Ushbu hujjatga ko'ra, "**Navoiyuran**" DKda uran qazib olish hajmini **2030-yilga qadar 15 000 tonnaga** yetkazish strategik vazifa qilib belgilandi. Bugungi kunda yurtimizda tasdiqlangan uran zaxiralari **139 000 tonnani** tashkil etadi va qidiruv ishlari davom etmoqda.

Agar **2021-yilda 3,5 ming tonna** uran qazib olingan bo'lsa, **2025-yil** yakuniga kelib bu ko'rsatkichni **7 ming tonnaga** yetkazish rejalashtirilgan. Bu ishlab chiqarish hajmining qisqa vaqt ichida ikki baravarga oshishini anglatadi.

Yangi konlarni o'zlashtirish va qidiruv ishlarini jadallashtirish maqsadida bir qator "mega-

loyihalar” amalga oshirilmoqda:

1. “Arnasoy” loyihasi (Jizzax): Qiymati 150 mln AQSh dollari bo‘lgan ushbu loyiha 2026-yilda ishga tushiriladi va sohaga yangi texnologik nafas olib kiradi.

2. Fransiya bilan hamkorlik: “Orano” kompaniyasi bilan Navoiy viloyatidagi “Janubiy Jongeldi” konini o‘zlashtirish bo‘yicha yirik sanoat ishlari olib borilmoqda.

3. Geografiya kengaymoqda: Navoiydagi “G‘arbiy Qizilqoq” va Samarqanddagi “Sharqiy Agron” konlarini o‘zlashtirish bosqichi boshlandi. Shuningdek, 2026-yildan Mo‘g‘uliston bilan xalqaro qidiruv ishlari yo‘lga qo‘yiladi.

Davlatimiz rahbarining **2024-yil 24-may**dagi PF-79-sonli Farmoni bilan radiatsiya va yadro xavfsizligi davlatning qat’iy nazoratiga olindi. MAGATE (IAEA) bilan imzolangan maxsus reja asosida uran chiqindilarini tozalash va atrof-muhit muhofazasi “Navoiyuran” DKning doimiy diqqat markazida turadi. Bu urandan “qo‘rqmaslikka”, aksincha, undan ekologik sof energiya manbai sifatida foydalanishga zamin yaratadi.

Bu korxonada dunyo bozorida o‘zining eng toza va tannarxi eng past mahsuloti (uran oksidi konsentrati yoki "sariq kek") bilan mashhur. 2025-yilgi moliyaviy hisobotlarga ko‘ra, korxonaning yillik daromadi 1,112 milliard AQSh dollarini tashkil etdi. Bu raqam mamlakatimiz bdyujeti va eksport salohiyati uchun qanchalik ulkan ahamiyatga ega ekanligini tushunish qiyin emas.

2026-yil 24-mart kuni Jizzax viloyatining Forish tumanida O‘zbekiston tarixida ilk bor Atom elektr stansiyasi (AES) qurilishiga rasman ruxsat berildi. Stansiya 3+ avlodiga mansub ikkita yirik **VVER-1000** va ikkita kichik **RITM-200N** reaktorlari bilan jihozlanadi. AES to‘liq ishga tushgach, yiliga 15,4 mlrd kVt•soat elektr energiyasi ishlab chiqaradi. Bu mamlakatimiz elektr iste‘molining 15 foizdan ortig‘ini tashkil etadi.

O‘zbekiston uranni yerdan kavlab olishda dunyodagi eng ilg‘or va ekologik toza usul — Yer ostida kimyoviy tanlab eritish texnologiyasini qo‘llaydi. Bunda yer usti tuprog‘i kovlanmaydi, ekskavatorlar ishlamaydi va atrof-muhitga zarar yetkazib chang ko‘tarilmaydi. Shunchaki yer ostiga burg‘ilangan kichik quduqlar orqali maxsus suyuqlik yuborilib, uran yer ostining o‘zida eritiladi va tepaga faqat suyuq aralashma sifatida tortib

olinadi. Sahro tabiati o‘z holicha qolaveradi.

Sanoatdagi eng katta yangiliklardan biri — Navoiy viloyatidagi yillik quvvati **1200 tonna** bo‘lgan yirik “**Qizilqoq**” konida sanoat miqyosida uran qazib olishning muvaffaqiyatli boshlangani bo‘ldi. Bundan tashqari, Jizzaxdagi “**Arnasoy**”, shuningdek “**G‘arbiy Qizilqoq**”, “**Janubiy Jongeldi**” va “**Sharqiy Agron**” kabi yangi istiqbolli maydonlarda qidiruv va o‘zlashtirish ishlari jadal ketmoqda. Fransiyaning “**Orano**” va Yaponiyaning “**Itochu**” kabi dunyo konglomeratlari bilan tuzilgan qo‘shma korxonalar (masalan, “**Nurlikum Mining**”) O‘zbekiston uran sanoatiga eng zamonaviy raqamli texnologiyalar va xorij kapitalini olib kirmoqda.



6-rasm. O‘zbekiston va Rossiya o‘rtasida Jizzax atom elektr stansiyasi loyihasi bo‘yicha hamkorlikni yo‘lga qo‘yish marosimi.

O‘zbekiston o‘zining boy uran zaxiralaridan nafaqat xomashyo sifatida foydalanish, balki uni yuqori texnologiyalar asosida tayyor energiyaga aylantirish maqsadida yangi yadro energetikasi davriga qadam qo‘ydi. Bu yo‘ldagi bosh strategik qadam Jizzax zaminida tashlandi. O‘zbekistonda atom energetikasini rivojlantirish bo‘yicha dastlabki muhim qadamlar 2024-yilning may oyida, Rossiya Federatsiyasi bilan kichik quvvatli AES qurilishi bo‘yicha atom energetikasi tarixidagi ilk eksport shartnomasi imzolanishi bilan boshlangan edi. Keyinchalik, mamlakatning strategik ehtiyojlaridan kelib chiqib, loyiha ko‘lami sezilarli darajada kengaytirildi.

2026-yilning 24-mart kuni Toshkent va loyiha maydonchasida muhim qo‘shimcha kelishuvlar va hamkorlik bo‘yicha “yo‘l xaritasi” imzolandi. Loyihaning faol amaliy bosqichi esa **2026-yil 4-iyun** kuni boshlandi. Sankt-Peterburg

shahrida bo‘lib turgan O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyev va Rossiya Prezidenti Vladimir Putin maxsus teleko‘prik orqali integratsiyalashgan AESning birinchi energiya bloki qurilishiga rasman start berdilar. Ushbu tantanali marosimda Xalqaro atom energiyasi agentligi (MAGATE) Bosh direktori **Rafael Grossi** ham ishtirok etib, loyihaning xalqaro xavfsizlik standartlariga mosligini qo‘llab-quvvatladi. Shu kuni poydevorga ilk rasmiy beton quyilib, O‘zbekiston yadroviy energetika xaritasiga kirdi.

Jizzax AES shunchaki elektr stansiyasi emas, balki dunyo yadro sanoatida birinchi marta qo‘llanilayotgan integratsiyalashgan (gibrid) yadro majmuasidir. Loyihaning noobopligi shundaki, bir maydonning o‘zida ham manevrli kichik modulli reaktorlar, ham ulkan bazaviy quvvatga ega katta reaktorlar birlashtiriladi.



7-rasm. Jizzax viloyatidagi birinchi atom elektr stansiyasi maketi.

Stansiya tarkibida Rossyaning eng zamonaviy, suv-suvli yadroviy qurilmasi bo‘lgan, har biri **55 MVt** quvvatga ega **RITM-200N reaktorlaridan** 2 ta o‘rnatiladi. Ilgari faqat atom muzyorar kemalarida muvaffaqiyatli sinovdan o‘tgan ushbu texnologiyaning yer ustidagi ilk tijoriy tatbiqi aynan O‘zbekistonda amalga oshirilmog‘da. Birinchi kichik blok 2029-yilning yakunida ishga tushirilishi rejalashtirilgan.

Mamlakatning o‘sib borayotgan iqtisodiyotini barqaror energiya bilan ta‘minlash maqsadida loyihaga 3+ avlodiga mansub, har biri **1000 MVt (1 GVt)** quvvat beruvchi ikkita yirik **VVER-1000 reaktorlari** ham kiritildi. Ushbu bloklar 2033 va 2035-yillarda elektr tarmog‘iga ulanadi.

To‘liq loyiha quvvati **2110 MVt (2,1 GVt)** ga teng bo‘lib, kontraktning bazaviy qiymati **9,5 milliard dollarni** tashkil etadi. Shartnomaga ko‘ra,

qurilish ishlarida **mahalliyashtirish darajasi 30 foizgacha** yetkazilishi nazarda tutilgan.



8-rasm. “Rosatom” davlat korporatsiyasi bosh direktori **Aleksey Lixachyov** va “O‘zatom” agentligi direktori **Azim Ahmedxo‘jayev**.

Jizzax AES nafaqat energetik obyekt, balki mintaqa infratuzilmasini butunlay o‘zgartiruvchi yirik loyihadir. Stansiya qurilishi va unga xizmat ko‘rsatish doirasida Forish tumanida yangi zamonaviy atomchilar shaharchasi — “**Atomgrad**” bunyod etiladi.

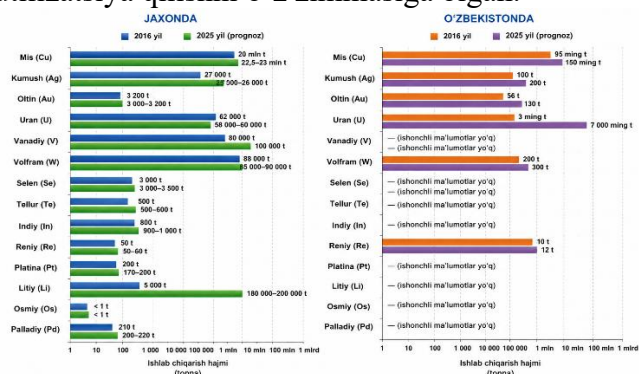
Ushbu zamonaviy maskanda sohada faoliyat yurituvchi olimlar, muhandislar va ularning oilalaridan iborat bo‘lgan **20 ming** nafargacha aholi yashashi uchun barcha sharoitlar yaratiladi.

Shaharchada zamonaviy tibbiyot majmualari, xalqaro andozalardagi ta‘lim muassasalari, bog‘chalar va madaniy-ijtimoiy obyektlar qad rostlaydi. Bu esa Jizzax viloyati uchun minglab yangi yuqori daromadli ish o‘rinlari va iqtisodiy jonlanish demakdir.

Loyiha to‘liq quvvat bilan ishlay boshlagach, yiliga o‘rtacha **17,2 milliard kVt-soat** elektr energiyasi ishlab chiqaradi. Bu O‘zbekiston umumiy energiya ehtiyojining qariyb 12-15 foizini barqaror qoplash imkonini beradi. “O‘zatom” agentligi va xalqaro “Katta to‘rtlik” (Big Four) konsalting kompaniyalarining tahlillariga ko‘ra, AESning soliq tushumlari va turdosh tarmoqlarni rivojlantirish hisobiga mamlakat iqtisodiyotiga keltiradigan umumiy bdyujetiy samarasi uzoq muddatda 165 milliard dollardan oshishi kutilmoqda.

Ekologik jihatdan ushbu loyiha atmosferaga is gazi va issiqxona gazlari chiqarilishini keskin kamaytiradi, tonnalab tabiiy gaz zaxiralarini tejab, Orolbo‘yi mintaqasi iqlimiga ijobiy ta‘sir ko‘rsatadi. Eng muhimi, Rossiya yadro yonilg‘isini

yetkazib berish, stansiyaga texnik xizmat ko'rsatish va ishlatilgan yadroviy metallarni xavfsiz utilitatsiya qilishni o'z zimmasiga olgan.



Legenda: t — tonna; ming t — ming tonna; mln t — million tonna; mlrd — milliard.
 — (ishonchli ma'lumotlar mavjud emas) — ishonchli ma'lumotlar mavjud emasligini bildiradi.

9-rasm. Jahon va O'zbekistonda asosiy rangli hamda noyob metallar ishlab chiqarish hajmining taqqoslanishi (2016 va 2025-yillar).

Jizzax AES O'zbekistonning raqamli iqtisodiyotini, yirik ma'lumotlar markazlarini (Data Center) rivojlantirish va XXI asrda yuqori texnologik mustaqillikka erishish yo'lidagi chinakam mash'alasiga aylanadi.

Ta'kidlab o'tish kerakki, O'zbekiston zaminini faqatgina uran zaxiralari bilan cheklanib qolmaydi. So'nggi yillarda mamlakatimizda To'rtinchi sanoat inqilobining bosh harakatlantiruvchi kuchi hisoblangan nodir, noyob (redkozemelnye metalli) va qimmatbaho metallarni qazib olish hamda qayta ishlash bo'yicha ulkan islohotlar davri boshlandi. Dunyo elektronikasi, yashil energetika tizimlari va harbiy sanoat ushbu strategik xomashyolarsiz bir qadam ham ilgari olmaydi.

O'zbekiston zaminida bugungi kunda volfram, molibden, litiy, magniy, titan va selen kabi 30 dan ortiq turdagi eng kamyob metallarning yirik zaxiralari aniqlangan. Davlat iqtisodiy strategiyasi doirasida ushbu sohani rivojlantirish uchun umumiy qiymati 2,6 milliard dollarlik 76 ta yirik loyihadan iborat uch yillik dastur hayotga tatbiq etilmoqda.

O'zbekiston endilikda xorijga quruq ma'dan

yoki yarim tayyor mahsulot eksport qiluvchi davlat bo'lishdan voz kechmoqda. Toshkent va Samarqand viloyatlarida tashkil etilayotgan maxsus "Nodir metallar texnoparklari" xomashyoni qazib olishdan boshlab, to tayyor yuqori texnologiyali mahsulot ishlab chiqarishgacha bo'lgan zanjirni bir joyda birlashtiradi. Germaniya (masalan, Frankfurt dagi xalqaro forumlar doirasida) va boshqa Yevropa Ittifoqi davlatlari bilan tuzilayotgan strategik kelishuvlar O'zbekistonni global texnologik ta'minot zanjirining eng ishonchli ishtirokchisiga aylantirmoqda.

Uranning quvvati va nodir metallarning noyoblighi bir nuqtada — O'zbekiston zaminida uchrashgani, yurtimizni kelajak dunyosi energetikasi va texnologiyasining eng asosiy boshqaruv markazlaridan biriga aylantirmoqda.

Koinotning tub-tubidagi yulduzlar portlashidan boshlangan, oddiy laboratoriya g'aladonlarida davom etgan uranning buyuk sayohati bugungi kunda insoniyat taraqqiyotining poydevoriga aylandi. O'zbekiston esa mana shu global va strategik zanjirning shunchaki tomoshabini emas, balki butun dunyoga toza va quadratli energiya manbaini yetkazib berayotgan eng asosiy yuraklardan biridir. Sohadagi rekordlar va yangi innovatsiyalar mamlakatimizning yadroviy kelajakdagi o'rni hali uzoq yillar davomida mustahkam bo'lishidan dalolat beradi.

Xulosa. Xulosa o'rnida aytmoq kerakki, uran bu insoniyatga berilgan eng quadratli va ikki tig'li pichoqqa o'xshaydigan elementdir. Agar u noto'g'ri va johil qo'llarga tushib qolsa, butun boshli sivilizatsiyani bir lahzada kul tepasiga aylantirishga qodir vayronkorga aylanadi. Ammo undan oqilona, ilmiy va tinchlik yo'lida foydalanilsa — u millionlab xonadonlarni chiroq va issiqlik bilan ta'minlaydigan, sanoatlarni harakatga keltiradigan va sayyoramizni ekologik halokatdan qutqaradigan yagona kuch bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] Xasanov, A. S., Xakimov, K. J., Shodiyev, A. N., & Eshonkulov, U. X. (2018). Uran va oltin: Ajratib olish jarayonlarini birlashtirishning texnologik jihatlari. Muhofaza: Ijtimoiy-siyosiy, ilmiy-amaliy va badiiy jurnal, (1), 13–19.
- [2] Xasanov, A. S., & Tolibov, B. I. (2021). O'zbekiston nodir, qimmatbaho va radioaktiv metallar metallurgiyasida innovatsion texnologiyalar. Fan.

- [3] Xasanov, A. S., & Vohidov, B. R. (2019). Markaziy Qizilqum uran-nodir metall xomashyosini qayta ishlash gidrometallurgiya jarayonlarining nazariyasi va amaliyoti. Navoiy davlat konchilik va sanoat instituti.
- [4] Navoiyuran davlat korxonasi. (2025). Yillik moliyaviy va strategik hisobot: O'zbekiston Respublikasida tabiiy uran qazib olish dinamikasi va 2025–2030-yillarga mo'ljallangan maqsadli ko'rsatkichlar. Muallif.
- [5] World Nuclear Association. (2024). Uranium supplies: Supply and demand (Red Book joint report by NEA & IAEA). Nuclear Intelligence.
- [6] International Atomic Energy Agency. (2018). Uranium extraction technology (Technical Reports Series No. 359, Rev. 1). International Atomic Energy Agency.
- [7] International Atomic Energy Agency & Nuclear Energy Agency. (2024). Uranium 2024: Resources, production and demand (The Red Book). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/uranium-2024-en>
- [8] Lottering, M. J., Lorenzen, L., Phala, N. S., Smit, J. T., & Schalkwyk, G. A. C. (2008). Mineralogy and uranium leaching response of low-grade uranium ores. *Minerals Engineering*, 21(1), 16–22.
- [9] Habashi, F. (1999). Textbook of hydrometallurgy. Métallurgie Extractive Québec.
- [10] Gupta, C. K., & Singh, H. (2003). Uranium resource processing: Secondary resources and by-products. Elsevier.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Xasanov, A. S., & Eshankulova, G. R. (2026). Uran elementining tarixi va O'zbekistonning global yadro sanoatidagi o'rni. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.25>

UO‘K: 614.841.332

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.7

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

KON LAHIMLARINI ANKERLI MAHKAMLASHDA QO‘LLANILADIGAN KIMYOVIY AMPULALARNING O‘RNI



Nurxonov Xusan Almirza
o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti,
Geologiya va konchilik ishi
kafedrası dotsenti, texnika fanlari
bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
Qarshi, O‘zbekiston
ORCID: 0000-0003-4526-7211
Science ID: FQD-0225-0030



Bo‘riyev Feruz Mansur
o‘g‘li

“NKMK” AJ Janubiy kon
boshqarmasi Qo‘qvulz koni ishlab
chiqarish ta‘limi katta ustasi,
Navoiy, O‘zbekiston
Science ID: MJZ-0426-0031



Ravshanov Avaz Ali
o‘g‘li

“NKMK” AJ Janubiy kon
boshqarmasi Qo‘qvulz koni ishlab
chiqarish ta‘limi ustasi, Navoiy,
O‘zbekiston
Science ID: FSN-0426-0048



Bakirov G‘ayrat
Xoliqberdiyevich

Olmaliq davlat texnika instituti,
“Konchilik ishi” kafedrası dotsenti,
texnika fanlari bo‘yicha falsafa
doktori (PhD), Olmaliq,
O‘zbekiston
ORCID: 0009-0005-5471-6340
Science ID: FSD-0326-0056

Annotatsiya. Mazkur maqolada kon lahimlarini ankerli mustahkamlash tizimlarining zamonaviy rivojlanish yo‘nalishlari, xususan kimyoviy ampulalarning o‘rni va ahamiyati tahlil qilingan. Ankerli mustahkamlash texnologiyalarining konstruktiv yechimlari, ularning qo‘llanilish samaradorligi hamda turli kon-geologik sharoitlarga moslashuvchanligi ilmiy asosda yoritilgan. Tadqiqotda sintetik smolalar, fosfor-gips va shlakotsement asosidagi bog‘lovchi materiallar yordamida mustahkamlash usullarining afzalliklari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, kimyoviy ampulalarning ikki komponentli tizimi, ularning ishlash mexanizmi va polimerizatsiya jarayoni tahlil qilingan. Ishda kimyoviy tarkibni optimallashtirish orqali ishchilarning sog‘lig‘iga va atrof-muhitga salbiy ta‘sirni kamaytirish masalalari alohida e‘tiborga olingan. Olingan natijalar ankerli mustahkamlash tizimlarini takomillashtirish hamda ularning ekologik xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: ankerli mustahkamlash, kon lahimlari, kimyoviy ampulalar, sintetik smola, polimerizatsiya, fosfor-gips, shlakotsement, tog‘ jinslari, ekologik xavfsizlik, kon-geologik sharoit, anker konstruksiyasi, mustahkamlash tizimlari.

Received: 02.05.2026

Accepted: 16.05.2026

Published: 29.06.2026

РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ АМПУЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ АНКЕРНОМ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Нурхонов Хусан
Алмирза угли

Каршинский государственный
технический университет,
доцент кафедры геологии и
горного дела, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
Карши, Узбекистан

Буриев Феруз Мансур
угли

Южное горное управление АО
«НГМК», старший мастер
производственного обучения
рудника Коквул, Навои,
Узбекистан

Равшанов Аваз Али
угли

Южное горное управление АО
«НГМК», мастер
производственного обучения
рудника Коквул, Навои,
Узбекистан

Бакиров Гайрат
Холикбердиевич

Алмалыкский государственный
технический институт, доцент
кафедры «Горное дело», доктор
философии (PhD) по
техническим наукам, Алмалык,
Узбекистан

Аннотация. В данной статье проанализированы современные направления развития систем анкерного крепления горных выработок, в частности роль и значение химических ампул. Освещены конструктивные решения технологий анкерного крепления, их эффективность применения, а также адаптивность к различным горно-геологическим условиям. В исследовании рассмотрены преимущества методов крепления с использованием синтетических смол, фосфогипса и шлакоцементных вяжущих материалов. Кроме того, проанализированы двухкомпонентная система химических ампул, механизм их действия и процесс полимеризации. Особое внимание уделено вопросам снижения негативного воздействия на здоровье работников и окружающую среду за счёт оптимизации химического состава. Полученные результаты направлены на совершенствование систем анкерного крепления и повышение их экологической безопасности.

Ключевые слова: анкерное крепление, горные выработки, химические ампулы, синтетическая смола, полимеризация, фосфогипс, шлакоцемент, горные породы, экологическая безопасность, горно-геологические условия, конструкция анкера, системы крепления.

THE ROLE OF CHEMICAL CAPSULES USED IN ROCK BOLT SUPPORT OF MINE WORKINGS

**Nurkhonov Khusan
Almirza ugli**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Geology and Mining,
PhD in Technical Sciences, Karshi,
Uzbekistan

**Boriyev Feruz Mansur
ugli**

Southern Mining Administration of
JSC "NMMC", Senior Master of
Industrial Training at the Qo'qvul
Mine, Navoi, Uzbekistan

Ravshanov Avaz Ali ugli

Southern Mining Administration of
JSC "NMMC", Industrial Training
Master at the Qo'qvul Mine, Navoi,
Uzbekistan

**Bakirov Ghayrat
Kholiqberdiyevich**

Almalyk State Technical Institute,
Associate Professor of the Mining
Department, PhD in Technical
Sciences, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. This article analyzes modern development trends in rock bolt support systems for mine workings, with particular emphasis on the role and significance of chemical capsules. The study highlights structural solutions of rock bolting technologies, their application efficiency, and adaptability to various mining and geological conditions. The advantages of support methods using synthetic resins, phosphogypsum, and slag-cement binders are examined. In addition, the two-component system of chemical capsules, their operating mechanism, and the polymerization process are analyzed. Special attention is given to reducing negative impacts on workers' health and the environment through optimization of chemical composition. The obtained results contribute to the improvement of rock bolt support systems and enhancement of their environmental safety.

Keywords: rock bolt support, mine workings, chemical capsules, synthetic resin, polymerization, phosphogypsum, slag cement, rock mass, environmental safety, mining and geological conditions, anchor design, support systems.

Kirish. Zamonaviy ilmiy izlanishlarda ankerli mustahkamlash tizimlarini yanada takomillashtirish, ularning ekologik xavfsizligini oshirish, hamda turli kon-geologik sharoitlarga moslashuvchanligini ta'minlash asosiy yo'nalishlardan biri sifatida qaralmoqda. Ayniqsa, kimyoviy ampulalarning tarkibini optimallashtirish orqali ishchilarning sog'lig'iga va atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Kon lahimlarini ankerli mustahkamlash

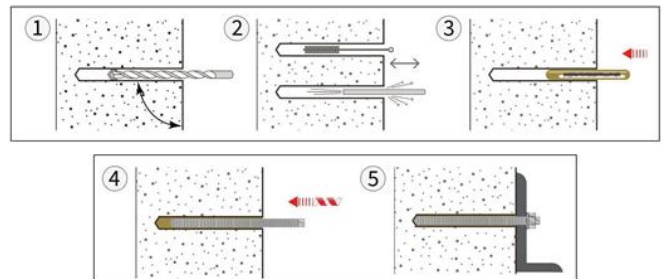
texnologiyalarini rivojlantirish va takomillashtirish borasida ko'plab mahalliy hamda xorijiy olimlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan. Xususan, A.A. Skochinskiy nomidagi konchilik ilmiy maktabi vakillari, shuningdek Rudalarni boyitish va konchilik ishlari bo'yicha ilmiy-tadqiqot instituti hamda konchilik ishi instituti olimlari tomonidan ankerli mustahkamlash tizimlarining turli konstruktiv yechimlari ishlab chiqilgan va amaliyotga joriy etilgan. Ilmiy tadqiqotlarda ankerli mustahkamlashning bir necha samarali turlari asoslab berilgan. Jumladan, tog' jinslarida tez

qotuvchi kimyoviy tarkiblar (sintetik smolalar) yordamida mahkamlanuvchi ankerlar yuqori mustahkamlik va tezkor oʻrnatish imkoniyati bilan ajralib turadi. Bundan tashqari, fosfor-gips asosidagi tez qotuvchi bogʻlovchi materiallar bilan ishlovchi ankerlar ham oʻzining iqtisodiyligi va texnologik qulayligi bilan eʼtiborga loyiqdir. Ayrim tadqiqotlarda portlash energiyasidan foydalanib oʻrnatiladigan quvurli (metall) ankerlar konstruksiyalari ishlab chiqilgan boʻlib, ular ayniqsa murakkab geologik sharoitlarda qoʻllanishi bilan samarali hisoblanadi. Shu bilan birga, shlakotsement aralashmalari asosida ishlovchi mahkamlash tizimlari ham kon lahimlarida mustahkamlikni oshirishda muhim oʻrin tutadi. Bu yoʻnalishdagi ishlanmalar yuqorida keltirilgan ilmiy muassasalar tomonidan kompleks ravishda oʻrganilgan. Olib borilgan tadqiqotlar natijalariga koʻra, ankerli mustahkamlash tizimlari, odatda, shpur uzunligi boʻylab yoki uning katta qismida mahkamlanuvchi konstruksiyalardan tashkil topadi. Bunday tizimlarning asosiy elementlari sifatida metall, polimer yoki yogʻoch sterjenlar qoʻllaniladi. Sterjenlarni togʻ jinslariga ishonchli mahkamlash uchun maxsus kimyoviy ampulalar (sintetik smola, fosfor-gips yoki shlakotsement asosidagi bogʻlovchi moddalar) keng qoʻllanadi. Konstruksiyaning boshqa tarkibiy qismlariga tayanch plita, tortuvchi gayka va muhrlovchi halqa kiradi. Muhrlovchi halqa odatda shpur diametriga mos ravishda qoʻllanadi va diametr kichraygan holatlarda undan foydalanish zarurati kamayadi. Ampulalar esa odatda shisha trubkalar yoki polietilen qobiq (plyonka) asosida tayyorlanib, ichiga smola va qotiruvchi komponentlar joylashtiriladi. Bu esa ankerning tez va samarali qotishini taʼminlaydi. Zamonaviy ilmiy izlanishlarda ankerli mustahkamlash tizimlarini yanada takomillashtirish, ularning ekologik xavfsizligini oshirish, hamda turli kon-geologik sharoitlarga moslashuvchanligini taʼminlash asosiy yoʻnalishlardan biri sifatida qaralmoqda. Ayniqsa, kimyoviy ampulalarning tarkibini optimallashtirish orqali ishchilarning sogʻligʻiga va atrof-muhitga salbiy taʼsirini kamaytirish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Ankerli mahkamlashda ishlatiladigan kimyoviy ampulalar ikki komponentli tizimdan iborat boʻlib, germetik qobiq ichiga joylashtirilgan boʻladi. Ampula tarkibiga

quyidagilar kiradi:

- sintetik smola (koʻpincha poliefir smola);
- qotiruvchi modda.

Bu komponentlar ampula oʻrnatilguncha bir-biridan ajratilgan holda saqlanadi. Anker shpurga kiritilganda ampula qobigʻi yoriladi va komponentlar aralashib, kimyoviy reaksiya-polimerizatsiya jarayoni boshlanadi (1-rasm).



1-rasm. Kimyoviy ampulali anker oʻrnatish jarayoni.

1-shpur burgʻilash; 2-ampula joylashtirish; 3-ankerni kiritish va aralashtirish; 4-ankerni mustahkamlash; 5-konstruksiyaning mustahkamlash.

Bogʻlovchi sifatida turli xil smolalar qoʻllanilishi mumkin: poliefir, epoksid, polistirol va boshqalar. Qotiruvchi moddalar tarkibi ham xilmaxil boʻlib, peroksidlar, amin birikmalari va boshqa faol komponentlarni oʻz ichiga oladi. Aralashmaning xossalarini yaxshilash uchun mineral toʻldiruvchilar (sement, kvarts changi va boshqa inert moddalar) qoʻshiladi. Ankerli kimyoviy ampula (AKM) turidagi kimyoviy ampulalar togʻ jinslari massivida metall ankerlarni mustahkamlash uchun moʻljallangan boʻlib, asosan shtapel (ankerli) mahkamlash tizimlarida qoʻllaniladi. Ushbu ampulalar kon ishlanmalarining barqarorligini taʼminlashda muhim ahamiyatga ega (1-jadval).

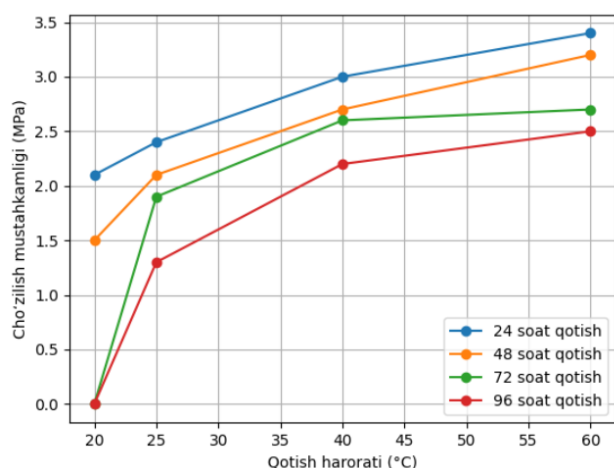
1-jadval

AKM-M va AKM-U ampularining texnik koʻrsatkichlari

Texnik koʻrsatkichlar	AKM-M	AKM-U
Diametri	24-28 mm	
Uzunligi	300-2000 mm	
Aralashtirish vaqti (25°C da), daqiqa	15-25	8-15
Qotish vaqti (25°C da), daqiqa	25-35	15-20
Qotgandan keyingi siqilish mustahkamligi	kamida 80 MPa	
Saqlash muddati (20°C da)	6 oy	
Qadoqlanishi	Karton qutilarda, odatda 30 dona ampula	

Natijalar. Ish jarayonida ampulalar shpurlarga qoʻlda yoki maxsus yuklovchi sterjen

yordamida, shuningdek pnevmatik usul (ya'ni "otib joylashtirish") orqali kiritiladi. Shundan so'ng anker shpurga burab kiritiladi, natijada ampula qobig'i yorilib, ichidagi ikki komponent aralashadi va kimyoviy reaksiya boshlanadi. Kimyoviy ampulani qatish haroratini kimyoviy smolaning cho'zilish mustahkamligiga bog'liqligini 2-rasmda ko'rishimiz mumkin.



2-rasm. Qotish haroratining kimyoviy smolaning cho'zilish mustahkamligiga ta'siri.

Grafikda natijalar turli vaqt oralig'ida (24, 48, 72 va 96 soat) bo'lib, harorat oshishi bilan mustahkamlik ortib boradi, eng yuqori natija 24 soat

qotishda kuzatilishi aniqlangan bo'lib, 72 va 96 soatlarda mustahkamlik biroz pastroq ammo 40-60°C oralig'i optimal qotish zonasi hisoblanadi.

Muhokama. AMK-M turidagi ampulalar nisbatan sekin qotuvchi tarkibga ega bo'lib, quyidagi tartibda qo'llaniladi:

- Ampula qobig'ini shikastlamagan holda uni shpurning oxirigacha joylashtirish lozim.

- Anker shpurga asta-sekin aylantirib kiritiladi (taxminan 10-15 soniya davomida).

- Keyin burg'ilash uskunasi yordamida ampula tarkibi 40-35 soniya davomida aralashtiriladi (15-17°C haroratda).

- So'ng burg'ilash to'xtatilib, anker tarkib to'liq qotguncha (60-70 soniya) ushlab turiladi.

- Agar tog' jinslari nam yoki yopishqoq bo'lsa, ushlab turish vaqti 100 soniyagacha uzaytirilishi mumkin.

Xulosa. Poliefir asosidagi ankerli kimyoviy ampulalar ankerli mahkamlash tizimlarida yuqori samaradorlikka ega bo'lib, tog' jinslari massivining barqarorligini ta'minlaydi. Ularning ikki komponentli tuzilishi tez va ishonchli qotishni kafolatlaydi. AMK-M va AMK-U turlarining mavjudligi esa turli geologik va texnologik sharoitlarga moslashish imkonini beradi.


FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Melikulov, A., Khasanov, O., Bakirov, G., Alimov, Sh., & Nurkhanov, H. (2025). Analysis of numerical calculation of rock pressure in underground mining works. AIP Conference Proceedings, 3304, 030060. <https://doi.org/10.1063/5.0269350>
- [2] Karimov, Y., Nurkhanov, Kh., Latipov, Z., Olimov, F., Xoliyorova, H., & Bobomurodov, A. (2025). Numerical modelling of gas-dynamic processes and calculation results of gas-dynamic parameters in the charging chamber of a borehole. AIP Conference Proceedings, 3331, 060011. <https://doi.org/10.1063/5.0307312>
- [3] Bakirov, G., & Abdishukurovich, H. X. (2023). Assessment of the working conditions of a metal frame reinforced bender and control of its mode. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 1(1), 64-70. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8374187>
- [4] Nurxonov, X. A., & Bakirov, G. X. (2024). Kon lahimi mustahkamlagichini konstruktiv hisoblash sxemasini asoslash. In "Respublika janubida geologiya, kon-metallurgiya va neft-gaz sohalarining istiqbollari" mavzusidagi xalqaro ilmiy va ilmiy-texnik anjumani materiallari (pp. 48-51). Termiz.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Nurxonov, X. A., Bo'riyev, F. M., Ravshanov, A. A., & Bakirov, G. X. (2026). KON LAHIMLARINI ANKERLI MAHKAMLASHDA QO'LLANILADIGAN KIMYOVIY AMPULALARNING O'RNI. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.7>

УДК: 544.7:669.2

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.8

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ УПОРНЫХ СЕРЕБРО-СОДЕРЖАЩИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ



**Хужакулов Нурмурод
Ботирович**

Доцент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан
E-mail: xuja_nur@mail.ru
ORCID ID: 0009-0006-4489-1812



**Насирова Нигора
Рамазановна**

Ст. преподаватель, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан
E-mail:
nigora.nasirova0502@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-5553-9706



**Иботов Бобур Одил
угли**

Докторант, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан
E-mail:
boburibotov876@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-9092-2356



**Сафаров Аминжон
Неъмат угли**

Студент, Навоийский
государственный горный и
технологический университет,
Навои, Узбекистан
E-mail:
safarovaminjon439@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-2598-8137

Аннотация. В статье исследовано влияние предварительной реагентной обработки на эффективность сорбционного цианирования огарков гидрометаллургического завода № 3, полученных после процесса окислительного обжига. В качестве реагентов предварительной обработки использованы азотная и соляная кислоты, а также гидроксид натрия. Установлено, что наибольший положительный эффект достигается при применении азотной кислоты. Результаты сорбционного цианирования показали, что предварительная азотнокислая обработка огарка при концентрации азотной кислоты 20 г/л и температуре 85 °С обеспечивает повышение степени извлечения серебра с 53,7 % до 85,1 %. В результате степень извлечения серебра в процессе сорбционного цианирования возрастает на 31,4 %, что подтверждает эффективность применения азотной кислоты для интенсификации переработки упорных серебросодержащих огарков.

Ключевые слова: упорная руда, серебро, кислая обработка, щелочная обработка, сорбционное цианирование.

Received: 06.05.2026

Accepted: 19.05.2026

Published: 29.06.2026

MURAKKAB KUMUSH TARKIBLI RUDALARNI TURLI REAGENTLAR YORDAMIDA QAYTA ISHLASH ORQALI SORBSION SIANLASH JARAYONI SAMARADORLIGINI OSHIRISH

**Xujakulov Nurmurod
Botirovich**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti dotsenti,
Navoiy, O'zbekiston

**Nasirova Nigora
Ramazanovna**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti katta
o'qituvchisi, Navoiy, O'zbekiston

Ibotov Bobur Odil o'g'li

Doktorant, Navoiy davlat konchilik
va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O'zbekiston

**Safarov Aminjon Ne'mat
o'g'li**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti talabasi,
Navoiy, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada 3-sonli gidrometallurgiya zavodi kuyindisini sorbsion sianlash jarayoni mahsulotiga dastlabki ishlov berishning ta'siri ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning obyekti sifatida 3-sonli gidrometallurgiya zavodining oksidlovchi kuydirish jarayoni kuyindisi olindi. Dastlabki ishlov berish nitrat kislota, xlorid kislota hamda natriy gidroksid kabi reagentlar yordamida amalga oshirildi. Kuyindini dastlabki qayta ishlash jarayonida nitrat kislota qo'llanilganda ijobiy natijalar olindi. Kuyindilarga nitrat kislotali ishlov berishdan so'ng sorbsion sianlash natijalari shuni ko'rsatdiki, nitrat kislotadan foydalangan holda kuyindiga dastlabki ishlov berish 85 °C haroratda nitrat kislotaning 20 g/l konsentratsiyasida kumushni ajratib olish darajasini 53,7% dan 85,1% gacha oshirdi. Natijada sorbsion sianlash jarayonida metalni ajratib olish darajasi 31,4% ga oshadi.

Kalit so'zlar: murakkab tarkibli ruda, kumush, kislota yordamida qayta ishlash, ishqor yordamida qayta ishlash, sorbsion sianlash.

INCREASING THE EFFICIENCY OF SORPTION CYANIDATION OF REFRACTORY SILVER-CONTAINING ORES USING VARIOUS REAGENTS FOR PRE-TREATMENT

Xujakulov Nurmurod

Associate Professor, Navoi State
Mining and Technology University,
Navoi, Uzbekistan

Nasirova Nigora

Senior Lecturer at Navoi State
University of Mining and
Technology, Navoi, Uzbekistan

Ibotov Bobur

Doctoral student, Navoi State
Mining and Technology University,
Navoi, Uzbekistan

Safarov Aminjon

Student of Navoi State Mining and
Technology University, Navoi,
Uzbekistan

Abstract. The present study investigates the effect of preliminary reagent treatment on the efficiency of sorption cyanidation of calcines obtained from Hydrometallurgical Plant No. 3 after the oxidative roasting process. Nitric acid, hydrochloric acid, and sodium hydroxide were used as reagents for the preliminary treatment. The results demonstrate that nitric acid provides the most pronounced positive effect. Sorption cyanidation tests revealed that preliminary nitric acid treatment at a concentration of 20 g/l and a temperature of 85 °C increases the silver recovery from 53.7% to 85.1%. As a result, the overall silver recovery during the sorption cyanidation process increases by 31.4%, confirming the high efficiency of nitric acid pretreatment for enhancing the processing of refractory silver-bearing calcines.

Keywords: composite ore, silver, acid treatment, alkaline treatment, sorption cyanidation.

Введение. Переработка упорных серебро-содержащих огарков, образующихся после окислительного обжига, представляет собой актуальную задачу современной гидрометаллургии. Сложный вещественный состав огарков и наличие труднорастворимых соединений серебра существенно снижают эффективность традиционного цианирования.

Перспективным методом повышения извлечения серебра является сорбционное цианирование, однако его эффективность при переработке упорных материалов во многом ограничивается пассивирующими фазами и сорбционными потерями металла. В этой связи важное значение приобретает предварительная реагентная обработка, направленная на изменение химического состояния огарка и повышение доступности серебра для выщелачивания.

Целью настоящей работы является повышение эффективности сорбционного цианирования огарков гидрометаллургического завода № 3 путем применения азотной и соляной кислот, а также гидроксида натрия на стадии предварительной обработки.

Литературный анализ и методы. Анализ современных исследований показывает, что переработка упорных серебро-содержащих материалов традиционными методами цианирования характеризуется низкими показателями извлечения из-за сложного минералогического состава и наличия труднорастворимых фаз [1]. В ряде работ отмечается, что предварительная реагентная обработка увеличивает доступность серебра и улучшает результаты последующего цианирования [2]. Например, применение восстановительной или кислотной подготовки значительно повышало извлечение

серебра из рефрактерных руд по сравнению с прямым цианированием без предварительной обработки [2,3]. Другие исследования показывают, что кислые предпроцессы, включая обработку азотной кислотой, улучшают кинетику выщелачивания и освобождение ценных металлов из минералов-носителей [3]. При этом щелочные методы также рассматриваются как подход к модификации минеральной матрицы и повышению эффективности выщелачивания [4]. Однако сравнительный анализ влияния соляной и азотной кислот, а также гидроксида натрия на сорбционное цианирование серебрясодержащих огарков описан в литературе недостаточно подробно, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

Объектом исследования являлся огарок, полученный после процесса окислительного обжига на гидрометаллургическом заводе № 3. Предварительная обработка огарка проводилась с использованием азотной кислоты, соляной кислоты и гидроксида натрия при определённых концентрациях и температурных режимах. После реагентной обработки материал подвергался сорбционному цианированию в лабораторных условиях. Эффективность предварительной обработки оценивалась по степени извлечения серебра, рассчитанной на основе химического анализа растворов после цианирования.

Результаты. Для определения эффективности процесса сорбционного цианирования было применено перед цианированной обработкой огарка с помощью соляной кислоты, азотной кислоты а также гидроксида натрия. Все реагенты были применены в разных концентрациях реагентов при следующих условиях: температура процесса обработки составила 85 °С, время обработки 1 час. После обработки провели сорбционную цианирование и определили изменения степень извлечения металла. Полученные результаты каждой обработки в виде диаграмме сопоставили. В рисунках 1,2,3 в виде диаграмме показано результаты обработки огарков перед цианирования с помощью различных реагентов.

Предварительная обработка огарка гидроксидом натрия проводилась при кон-

центрации щёлочи от 2 до 20 г/л, продолжительности обработки 60 минут и температуре 85 °С. После завершения испытаний продукт направлялся на процесс сорбционного цианирования. По результатам опытов была определена степень извлечения серебра. Из рисунка 1 видно, что степень извлечения металла при концентрации 2 г/л составляет 54,4 %, а при повышении концентрации щёлочи до 20 г/л увеличивается до 68,4 %.

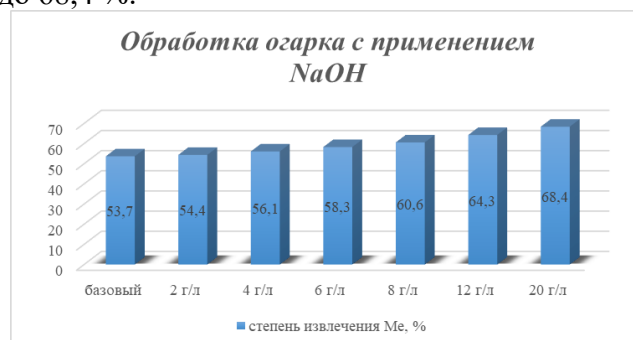


Рис.1. Диаграмма обработки огарка с применением NaOH.

Для определения наиболее эффективного реагента для обработки огарков были проведены исследования с применением соляной кислоты. Для этого была использована та же проба материала и выполнена предварительная обработка перед цианированием раствором HCl в концентрациях от 10 до 40 г/л при тех же условиях процесса. Полученные результаты представлены на рисунке 2.



Рис.2. Диаграмма обработки огарка с применением HCl.

Из полученных данных видно, что степень извлечения серебра повышается с увеличением концентрации кислоты: от 55,4 % при минимальной концентрации до 66,8 % при концентрации 40 г/л. Наилучший показатель

достигается при обработке раствором соляной кислоты концентрацией 40 г/л, при этом прирост степени извлечения металла составляет 13,1 %. Однако данные значения не являются достаточно рентабельными для промышленной обработки огарков.

Проведённые исследования с применением обоих реагентов не показали высокой эффективности. В связи с этим были выполнены дополнительные исследования с использованием азотной кислоты. Концентрация кислоты варьировалась в пределах от 10 до 40 г/л. Условия процесса обработки оставались аналогичными предыдущим опытам.

Из диаграммы на рисунке 3 видно, что при использовании азотной кислоты степень извлечения серебра заметно повысилась по сравнению с другими реагентами. При концентрации 40 г/л получены наивысшие показатели, а степень извлечения металла по сравнению с базовыми значениями увеличилась на 31,4%. Данное значение является экономически рентабельным для обработки огарков.



Рис.3. Диаграмма обработки огарка с применением HNO₃.

Заключения. В результате проведённых исследований установлено, что предваритель-

ная химическая обработка огарков оказывает существенное влияние на эффективность процесса сорбционного цианирования и степень извлечения серебра. Были изучены три вида реагентов: гидроксид натрия, соляная кислота и азотная кислота, применяемые в различных концентрациях при одинаковых технологических условиях.

Результаты экспериментов показали, что обработка гидроксидом натрия способствует повышению степени извлечения серебра до 68,4%, однако достигнутые показатели уступают результатам кислотной обработки. Применение соляной кислоты также позволило увеличить извлечение металла до 66,8 %, но эффективность данного реагента оказалась недостаточной с экономической точки зрения.

Наиболее высокие результаты были получены при использовании азотной кислоты. При концентрации 40 г/л степень извлечения серебра увеличилась на 31,4 % по сравнению с исходными показателями, что свидетельствует о высокой эффективности данного реагента. Кроме того, достигнутые значения можно считать экономически рентабельными для дальнейшей переработки огарков.

Таким образом, по итогам исследований установлено, что наиболее перспективным реагентом для предварительной обработки огарков перед сорбционным цианированием является азотная кислота. Её применение позволяет повысить извлечение серебра и улучшить технико-экономические показатели процесса.


СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Acidic pretreatment of a copper silver ore and its beneficial effect on cyanide leaching. (2020). Minerals Engineering, 149, 106233. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106233>
- [2] Awe, S. A., et al. (2011). Implementation of sodium hydroxide pretreatment for refractory antimonial gold and silver ores. Hydrometallurgy, 108(1–2), 109–114.
- [3] Nitric acid pretreatment applied to a refractory gold tellurides ore. (2023). Mining, Metallurgy & Exploration, 40, 2051–2058.
- [4] Pressure leaching of a lead zinc silver concentrate with nitric acid at moderate temperatures. (2010). Hydrometallurgy, 104(1), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.04.001>
- [5] Advances in the cyanidation of silver. (2011). Mining, Metallurgy & Exploration, 28, 37–42.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Хужакулов, Н. Б., Насирова, Н. Р., Иботов, Б. О., & Сафаров, А. Н. (2026). ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ УПОРНЫХ СЕРЕБРО-СОДЕРЖАЩИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.8>

UO‘K: 622.235.2

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.11

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

YOSHLIK-I KONIDA QOYALI TOG‘ JINSLARINING MAYDALANISH DARAJASINI OSHIRISH UCHUN PORTLOVCHI SKVAJINALARNING MAQBUL PARAMETRLARINI ASOSLASH



Alimov Shoxriddin Muxammatovich

Olmaliq davlat texnika instituti “Konchilik ishi” kafedrası
dotsenti, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: alimov_shm@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-0528-8791
Scienc ID: PWG-1456-2026



Normurodov Jasurbek Jalol o‘g‘li

Olmaliq davlat texnika instituti “Konchilik ishi” kafedrası
magistranti, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: jasurbeknormurodov24@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada Yoshlik-I koni sharoitida qoyali tog‘ jinslarining maydalanish sifatini oshirishga qaratilgan portlatish ishlari parametrlarini asoslash masalalari ko‘rib chiqilgan. Maqolada pog‘ona balandligi, skvajina qatorlarining oralig‘i, skvajinalar oralig‘i, zaboyka balandligi, ortiqcha burg‘ilash va qisqa sekinlashtirish vaqtining o‘zaro bog‘liqligini hisoblash orqali portlatishning samaradorligini oshirishdan iborat. Tahlilda pog‘ona balandligi 15 m bo‘lgan sharoit uchun qatorlar oralig‘i $B=k \cdot h$, skvajinalar orasidagi masofa $S=1,2B$ va perebur $J=0,25B$ munosabatlari asos qilib olindi. Hisoblashlar natijasida qatorlar oralig‘ining maqbul qiymati 4,5 m, skvajinalar oralig‘i 5,4 m, ortiqcha burg‘ilash 1,1 m, zaboyka balandligi 3,0–3,5 m va amaliy jihatdan samarali kechiktirish 20 ms ekani aniqlandi. Shuningdek, suvli skvajinalar uchun emulsion portlovchi modda qo‘llash hamda zaryad zichligini 5–10 % ga oshirish zarurligi asoslandi. Taklifetilgan parametrlar qo‘llanganda yirik bo‘laklar ulushi 35 % dan 15–18 % gacha kamayishi, portlovchi modda sarfini 0,90 kg/m³ dan 0,75–0,80 kg/m³ gacha pasaytirish va yuklash-tashish jarayonlarini barqarorlashtirish mumkinligi ko‘rsatildi. Olingan natijalar chuqur karyerlarda portlatish parametrlarini differensial tanlashga ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: karyer, portlatish, skvajina, qator oralig‘i, skvajinalar orasidagi masofa, zaboyka, perebur, kechiktirish vaqti, maydalanish, Yoshlik-I.

Received: 25.04.2026

Accepted: 03.06.2026

Published: 29.06.2026

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ЁШЛИК-І»

Алимов Шохриддин Мухамматович

Алмалыкский государственный технический институт,
доцент кафедры «Горное дело», Алмалык, Узбекистан

Нормуродов Жасурбек Жалол угли

Алмалыкский государственный технический институт,
магистрант кафедры «Горное дело», Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрен выбор параметров буровзрывных работ, обеспечивающих повышение качества дробления скальных пород в условиях месторождения Ёшлик-І. Цель иссле-

дования заключалась в определении рациональных значений высоты уступа, расстояния между рядами и скважинами, длины забойки, величины перебура и времени замедления с учетом их совместного влияния на технологическую и экономическую эффективность взрыва. Для уступа высотой 15 м использованы зависимости $B=k \cdot h$, $S=1,2B$ и $J=0,25B$. Расчеты показали, что оптимальные значения составляют: *burden* - 4,5 м, *spacing* - 5,4 м, перебур - 1,1 м, забойка - 3,0-3,5 м, практически эффективное замедление - 20 мс. Для обводненных скважин обосновано применение эмульсионных взрывчатых веществ и увеличение плотности заряда на 5-10%. При использовании предложенных параметров доля негабарита снижается с 35% до 15-18%, а удельный расход взрывчатого вещества уменьшается с 0,90 до 0,75-0,80 кг/м³. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании дифференцированных параметров взрывания на глубоких карьерах.

Ключевые слова: карьер, взрывные работы, скважина, *burden*, *spacing*, забойка, перебур, время замедления, дробление, Ёшлик-I.

SUBSTANTIATION OF OPTIMAL BLAST HOLE PARAMETERS TO ENHANCE THE FRAGMENTATION EFFICIENCY OF HARD ROCK MASSES AT THE YOSHLIK-I DEPOSIT

Alimov Shokhriiddin Mukhammatovich

Almalyk State Technical Institute, Associate Professor of the Department of Mining Engineering, Almalyk, Uzbekistan

Normurodov Jasurbek Jalol ugli

Almalyk State Technical Institute, Master's Student of the Department of Mining Engineering, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. *The paper addresses the selection of drilling-and-blasting parameters aimed at improving rock fragmentation in the Yoshlik-I open pit. The objective was to determine rational values of bench height, burden, spacing, stemming, subdrilling, and delay timing by considering their combined influence on blasting efficiency and downstream mining operations. For a 15 m bench, the relationships $B=k \cdot H$, $S=1.2B$ and $J=0.25B$ were used as the analytical basis. The calculations showed that the recommended parameters are burden 4.5 m, spacing 5.4 m, subdrilling 1.1 m, stemming 3.0-3.5 m, and an operationally effective delay of 20 ms. For water-filled blastholes, emulsion explosives and a 5-10% increase in charge density were found to be reasonable. The proposed parameter set reduces the share of oversized fragments from 35% to 15-18% and lowers specific explosive consumption from 0.90 to 0.75-0.80 kg/m³, thereby improving loading, hauling and overall production stability. The results can be used as a practical basis for differential blast design in deep open pits.*

Keywords: *open pit, blasting, blasthole, burden, spacing, stemming, subdrilling, delay time, fragmentation, Yoshlik-I.*

Kirish. Ochiq usulda qazib olinadigan konlarda portlatish sifati butun qazib olish zanjirining samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Qoyali jinslar yetarli darajada maydalanganda ekskavator cho'michining to'lishi va yuklash vaqti qisqaradi, transport vositalarining aylanish ritmi barqarorlashadi, qo'shimcha maydalashga mehnat hamda vaqt sarflanmaydi. Aksincha, portlatish parametrlarining noto'g'ri tanlanishi natijasida yirik bo'laklar ulushi ortadi, pog'ona tagida qattiq qatlam qoladi va qo'shimcha ikkilamchi maydalash ishlari paydo bo'ladi [1, 2]. Shu sababli portlovchi skvajinalarning geometrik va

texnologik ko'rsatkichlarini aniq asoslash amaliy jihatdan ham, ilmiy jihatdan ham muhim masala hisoblanadi.

Yoshlik-I konining geologik va texnologik sharoiti ushbu masalani alohida dolzarb qiladi. Massiv tarkibida zich, o'rta va yuqori mustahkamlikdagi jinslar uchraydi, ayrim uchastkalarda tabiiy yoriqlanish yaxshi rivojlangan bo'lsa, boshqa zonalarda jinslar monolit tuzilishga ega. Bundan tashqari, chuqur gorizontlarda suvli skvajinalar ulushining ortishi portlovchi moddaning haqiqiy energiya qaytimi va gaz bosimining massiv bo'y lab tarqalishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [3, 4].

Demak, butun karyer bo'ylab yagona parametrlarni qo'llash emas, balki sharoitga mos differensial yondashuv zarur.

Ushbu maqolada — Yoshlik-I koni sharoitida pog'ona balandligi 15 m bo'lgan holat uchun qatorlar oralig'i, skvajinalar orasidagi masofa, zaboyka balandligi, perebur va kechiktirish vaqtining o'zaro mos qiymatlarini aniqlash hamda ularning maydalanish sifati va portlovchi modda sarfiga ta'sirini ilmiy asoslashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Tahlil uchun pog'ona balandligi $h=15$ m bo'lgan burg'ilab-portlatish sxemasi qabul qilindi. Jinslarning hajmiy zichligi $2,5-2,7$ t/m³ oralig'ida, massivning mustahkamligi esa o'rta va yuqori darajalarda deb olindi. Hisoblashlarda amaliy portlatish nazariyasida qo'llanadigan qatorlar oralig'i va skvajinalar orasidagi masofa o'rtasidagi klassik bog'lanishlardan foydalanildi. Qatorlar oralig'i qiymatini aniqlash uchun $B=k \cdot h$ ifoda qabul qilinib, Yoshlik-I sharoiti uchun tajribaviy koeffitsiyent $k=0,30$ deb olindi. Shunga ko'ra burden $B=4,5$ m ga teng bo'ldi.

Skvajinalar oralig'i qatorlar oralig'i bilan proporsional bog'liq bo'lib, hisoblashda $S=1,2 \cdot B$ munosabati qabul qilindi. Natijada skvajinalar orasidagi masofa $S=5,4$ m deb topildi. Mazkur nisbat portlash energiyasining qator bo'ylab yetarli taqsimlanishini ta'minlaydi va ortiqcha energiya yo'qotilishini kamaytiradi. S/B nisbati $1,1-1,4$ oraliqda bo'lishi ko'plab tadqiqotlarda samarali deb qayd etilgan bo'lib, ushbu maqoladagi hisob ham shu oraliqqa to'liq mos keladi.

$$B = k \cdot h$$

$$S = 1,2B$$

$$J = 0,25B$$

$$t = \beta \cdot B$$

bu yerda H – pog'ona balandligi, B – qatorlar oralig'i, S – skvajinalar oralig'i, J – perebur, β – kechiktirish koeffitsiyenti.

Pog'onaning ostki maydonidagi mustahkam tog' jinslari qolib ketmasligi uchun ortiqcha burg'ilash pereburning qiymati ham aniqlandi [5]. Perebur $J=0,25B$ deb qabul qilinganda $J=1,1$ m natija olindi. Bu qiymat pog'onaning ostki qismida maydalanmagan jinslar hamda ostki maydon notekisligini kamaytirish, Pog'onaning ostki maydonida qolib ketuvchi maydalanmagan tog' jinlarini chiqishini kamaytirish va ikkilamchi

maydalanishga ehtiyojni pasaytirish imkonini beradi. Zaryad uzunligi skvajina chuqurligining 70–80 % qismiga joylashtirildi, qolgan 20–30% qismi zaboyka qilish ko'zda tutildi.

Kechiktirish vaqtini tanlashda ikki yondashuv solishtirildi. Birinchisi qatorlar oralig'i bo'yicha masshtablangan hisobiy yondashuv bo'lib, u $t=\beta \cdot B$ ifoda bilan ifodalanadi, bunda $\beta=6-20$ ms/m. Ikkinchisi esa maydalanish va jinslarning o'zaro to'qnashuvi samarasi bo'yicha amaliy yondashuvdir. Hisobiy diapazon keng bo'lsada, aynan qisqa kechiktirishlar jinslararo zarba va qayta parchalanishni kuchaytirishi sababli 17–25 ms oralig'i samarali deb qabul qilindi. Mazkur karyer uchun 20 ms qiymat tavsiya etildi.

1-jadval

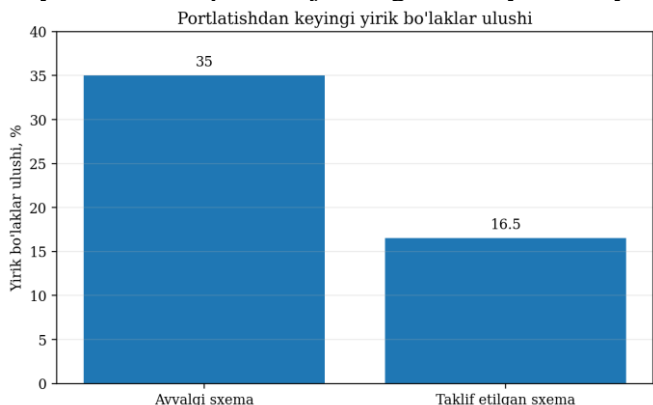
Hisoblashlar asosida tavsiya etilgan asosiy parametrlar

Ko'rsatkich	Tavsiya etilgan qiymat	Izoh
Pog'ona balandligi, h	15 m	Hisoblash bazaviy parametri
Qatorlar oralig'i, B	4,5 m	$B = 0,30 \times 15$
Skvajinalar orasidagi masofa, S	5,4 m	$S = 1,2B$
Perebur, J	1,1 m	$J = 0,25B$
Skvajina diametri	200–250 mm	Amaliy diapazon
Zaboyka balandligi	3,0–3,5 m	Energiya chiqishini cheklaydi
Kechiktirish vaqti	20 ms	Amaliy maqbul qiymat
Solishtirma sarf	0,75–0,80 kg/m ³	Taklif etilgan sxema uchun

Natijalar va muhokama. Hisobiy tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, qator oralig'i 4,5 m va skvajinalar orasidagi masofa 5,4 m qabul qilinganda portlash energiyasi pog'ona bo'ylab nisbatan bir tekis taqsimlanadi. Bunday sxemada portlovchi moddaning mahalliy ortiqcha konsentratsiyasi kamayadi, shu bilan birga erkin yuza tomonga jinsning siljishi uchun zarur sharoit saqlanadi. Agar qator oralig'i bundan kichik olinsa, maydalanish yaxshilangandek ko'rinsada, portlovchi modda sarfi ortib ketadi; aksincha qator oralig'i oshirilganda jinslarning bir qismi to'liq parchalanmay qoladi. Demak, taklif etilgan qiymat geometrik va iqtisodiy omillarni muvozanatlashtiradi.

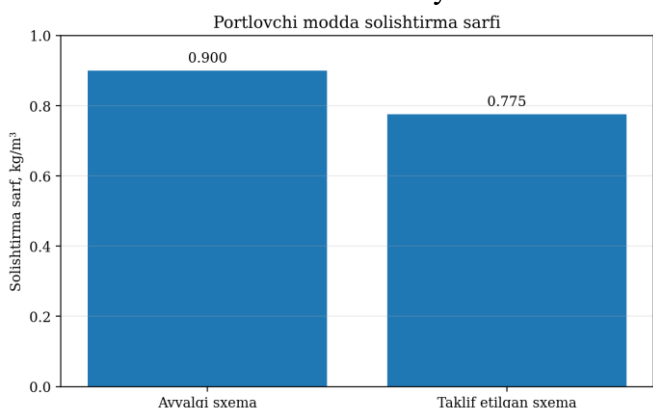
Taklif etilgan parametrlar bo'yicha bajarilgan tahliliy baholash yirik bo'laklar ulushining sezilarli kamayishini ko'rsatdi. Qo'llanilayotgan portlatish sxemalarida 35 % gacha bo'lgan yirik bo'laklar kuzatilgan bo'lsa, maqbul qator oralig'i, skvajinalar orasidagi masofa va zaboyka qiymatlari qo'llanilganda bu ko'rsatkich 15–18 % gacha

tushishi mumkin. Bu natija ekskavatorning qazib olish unumdorligini oshiradi, cho‘michga sig‘maydigan bloklar sonini kamaytiradi va maydalash-transport zanjirining ritmini yaxshilaydi.



1-rasm. Taklif etilgan parametrlar qo‘llanganda yirik bo‘laklar ulushining kamayishi.

Portlovchi modda sarfi bo‘yicha ham ijobiy natija kuzatildi. Dastlabki sxemada 1 m³ jins uchun 0,90 kg portlovchi modda sarflangan bo‘lsa [6], parametrlarni qayta tanlash va zaryadning ishchi uzunligini maqbullashtirish hisobiga bu ko‘rsatkich 0,75–0,80 kg/m³ gacha pasaydi. Bu yerda muhim jihat shundaki, sarf kamayishi maydalash sifati yomonlashuvi evaziga emas, balki energiyaning massiv ichida samaraliroq ishlatilishi evaziga erishiladi. Shunday qilib, iqtisodiy samaradorlik va texnologik natija o‘zaro zid emas, balki bir-birini to‘ldiruvchi omillar sifatida namoyon bo‘ladi.

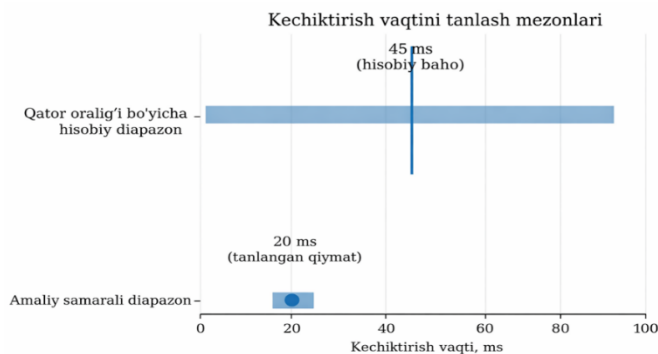


2-rasm. Portlovchi moddaning solishtirma sarfi bo‘yicha qiyosiy natija.

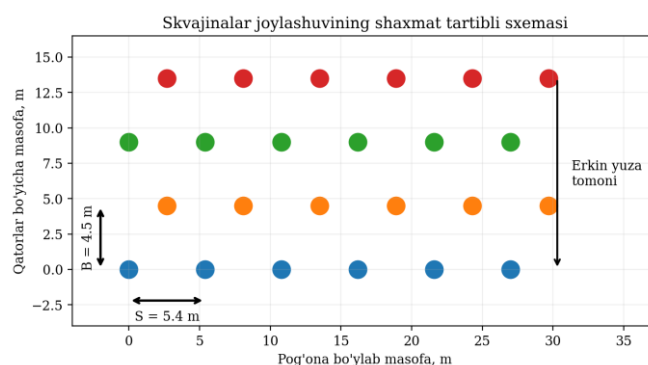
Suvli skvajinalar masalasi Yoshlik-I uchun alohida e‘tibor talab qiladi. Ayrim uchastkalarda suvli skvajinalar ulushining juda yuqori bo‘lishi oddiy portlovchi moddalar qo‘llanganda energiya

yo‘qotishiga olib keladi. Shu sababli emulsion portlovchi moddalardan foydalanish hamda zaryad zichligini 5–10 % ga oshirish maqsadga muvofiq deb topildi. Bu tavsiya portlash vaqtida gaz bosimining massiv bo‘ylab tarqalishini barqarorlashtiradi va suvning salbiy ta‘sirini qisman kompensatsiya qiladi.

Kechiktirish vaqtining ta‘siri natijalar talqinida eng muhim omillardan biri bo‘ldi. Nazariy hisob bo‘yicha 45 ms atrofidagi qiymat oraliq ko‘rsatkich sifatida olinishi mumkin, biroq amaliy nuqtai nazardan bunday kechiktirish ba‘zi hollarda jinslarning ortiqcha sochilishiga olib keladi. Qisqa, ammo boshqariladigan 20 ms kechiktirish esa qatorlar va skvajinalar o‘rtasida zarb to‘lqinlarining konstruktiv o‘zaro ta‘sirini kuchaytirib, maydalanish sifatini yaxshilaydi. Zamonaviy tadqiqotlar ham qisqa kechiktirishlarning to‘g‘ri tanlangan sharoitda yirik bo‘laklar ulushini kamaytirishini ko‘rsatadi.



3-rasm. Kechiktirish vaqtini tanlashning hisobiy va amaliy mezonlari.



4-rasm. Skvajinalar joylashuvining tavsiya etilgan shaxmat tartibli sxemasi.

Taklif etilgan sxema shaxmat tartibida joylashtirilgan skvajinalar asosida tashkil etildi. Bunday joylashuv portlash frontini erkin yuzaga

nisbatan barqaror ravishda rivojlantiradi, qatorlararo maydalanish jarayonini yaxshilaydi va alohida zonalarda energiyani bir nuqtaga to'planib qolishini kamaytiradi. Ayniqsa, turli darajada yoriqlangan massivlarda ushbu sxema portlatish natijasini bir xillashtirishga yordam beradi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, portlatish parametrlarini tanlashda faqat bitta ko'rsatkichni emas, balki qatorlar oralig'i, skvajinalar orasidagi masofa, zaboyka, perebur, qisqa sekinlashtirish va suvlanish omillarini yagona tizim sifatida ko'rib chiqish kerak. Aynan shunday tizimli yondashuv maydalanish sifatini oshirish, portlovchi modda sarfini kamaytirish va karyerning keyingi texnologik bo'g'inlarida qo'shimcha yuklamalarni pasaytirish imkonini beradi.

Xulosa. Yoshlik-I koni sharoitida pog'ona balandligi 15 m bo'lgan burg'ilab-portlatish ishlari

uchun qatorlar oralig'i 4,5 m, skvajinalar orasidagi masofa 5,4 m, perebur 1,1 m, zaboyka skvajinaning 20–30% ni va kechiktirish vaqti 20 ms bo'lgan parametrlar majmuasi texnologik va iqtisodiy jihatdan maqbul deb baholandi.

Taklif etilgan parametrlar qo'llanganda yirik bo'laklar ulushi 35% dan 15–18% gacha kamayishi, portlovchi moddaning solishtirma sarfi 0,90 kg/m³ dan 0,75–0,80 kg/m³ gacha tushishi hamda yuklash-tashish jarayonlari barqarorlashishi mumkinligi ko'rsatildi.

Massivning yoriqlanish darajasi va suvlanish sharoiti yuqori bo'lgan uchastkalarda differensial parametr tanlash zarur. Shu sababli mazkur maqolada taklif etilgan yondashuvni faqat bitta sxema sifatida emas, balki Yoshlik-I kabi murakkab geologik sharoitli karyerlarda portlatish parametrlarini moslashtirishning ilmiy-amaliy modeli sifatida qarash maqsadga muvofiq.


FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Кутузов, Б. Н. (1994). Разрушение горных пород взрывом. Взрывные технологии в промышленности. Издательство Московского государственного горного университета.
- [2] Шамаев, М. К., & Алимов, Ш. М. (2021). Обеспечение устойчивости бортов при ведении буровзрывных работ. *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(4), 83–88.
- [3] Алимов, Ш. М., & Ташкулов, А. А. (2022). Обоснование оптимальных параметров эффективного регулирования степени дробления. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences*, 2(5/2), 475–487.
- [4] Alimov, Sh. M., Melnikova, T. Y., & Kayirbayev, I. B. (2024). Yoshlik-I konida portlatish ishlari ko'rsatkichlarini yaxshilash maqsadida qiya skvajinalardan foydalanishning afzalliklari. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences*, 4(11), 187–192.
- [5] Шамаев, М. К., & Алимов, Ш. М. (2021). Увеличение мощности разработки месторождения «Ёшлик-1» и доработки действующего месторождения «Кальмакыр». *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(5), 85–89.
- [6] Shamayev, M. Q., & Alimov, Sh. M. (2022). Elektrsiz portlatishni initsiyalash vositalarining yangi ochilayotgan Yoshlik-I konida samarali qo'llanilishi. *Journal of Advanced Research and Stability*, 2(5), 295–298.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Alimov, Sh. M., & Normurodov, J. J. (2026). Yoshlik-I konida qoyali tog' jinslarining maydalanish darajasini oshirish uchun portlovchi skvajinalarning maqbul parametrlarini asoslash. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.11>

UO‘K: 621:018

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.12

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

BESH O‘QLI RDB TIZIMIDAGI ISSIQLIK YUKLAMALARI VA DEFORMATSIYALARNI HISOBGA OLGAN HOLDA AYLANUVCHI O‘Q KORPUSINING TERMOMEXANIK TAHLILI



**Ataullayev Azizjon
Odilovich**

PhD, dotsent, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: aziz-217@mail.ru
ORCID ID: 0009-0001-2761-8850
Science ID: FNV-1225-0023



**Jo‘rayev Nodirbek
Normurodovich**

PhD, dotsent, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: Nodirjura@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-5149-5901
Science ID: FSN-1225-0073



**Egamberdiyev Ilhom
Pulatovich**

DSc, professor, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: ilhom1977@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7549-2156



**Yaxshiyev Sherali
Namozovich**

DSc, professor, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail:
sheraliyaxshiyev1978@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-3259-9735
Science ID: DBX-0326-0026

Annotatsiya. Ushbu maqolada besh koordinatali RDB dastgohining burilish uzeli termomexanik holatining sonli tadqiqoti keltirilgan. Chekli elementlar usulidan foydalangan holda issiqlik maydonlari va korpusning yuzaga keladigan deformatsiyalarining bog‘liq tahlili amalga oshirildi. Maksimal qizish zonalari va ularning fazoviy siljishlar kattaligiga ta’siri aniqlandi. Olingan natijalar aylanish o‘qi pozitsion xatoligining shakllanishida issiqlik omillarining hissasini baholash imkonini beradi..

Kalit so‘zlar: RDB, burilish o‘qi, termik deformatsiya, ChEU, termik tahlil, strukturaviy tahlil.

Received: 10.05.2026

Accepted: 05.06.2026

Published: 29.06.2026

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ОСИ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК И СТРУКТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПЯТИОСЕВОЙ СИСТЕМЕ ЧПУ

**Атауллаев Азизжон
Одилович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
доцент, Навои, Узбекистан

**Жураев Нодирбек
Нормуродович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
доцент, Навои, Узбекистан

**Эгамбердиев Илхом
Пулатович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор технических
наук (DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

**Яхшиев Шерали
Намозович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор технических
наук (DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

Аннотация. В статье представлено численное исследование термомеханического состояния поворотного узла пятикоординатного станка с ЧПУ. С использованием метода конечных элементов выполнен связанный анализ тепловых полей и возникающих деформаций корпуса. Установлены зоны максимального нагрева и их влияние на величину пространственных смещений. Полученные результаты позволяют оценить вклад тепловых факторов в формирование позиционной погрешности вращательной оси.

Ключевые слова: ЧПУ, поворотная ось, термическая деформация, МКЭ, переходный термический анализ, структурный анализ.

THERMOMECHANICAL ANALYSIS OF A ROTATING AXIS HOUSING TAKING INTO ACCOUNT THERMAL LOADS AND STRUCTURAL DEFORMATIONS IN A FIVE-AXIS CNC SYSTEM

**Ataullaev Azizjon
Odilovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, PhD in
Technical Sciences, Associate
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Juraev Nodirbek
Normurodovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, PhD in
Technical Sciences, Associate
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Egamberdiev Ilkhom
Pulatovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Yakhshiev Sherali
Namozovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

Abstract. This article presents a numerical study of the thermomechanical state of the rotary unit of a five-axis CNC machine. Using the finite element method, a coupled analysis of thermal fields and the resulting housing deformations was performed. Zones of maximum heating and their influence on the magnitude of spatial displacements were identified. The obtained results allow us to estimate the contribution of thermal factors to the positional error of the rotary axis.

Keywords: CNC, rotary axis, thermal deformation, FEM, transient thermal analysis, structural analysis.

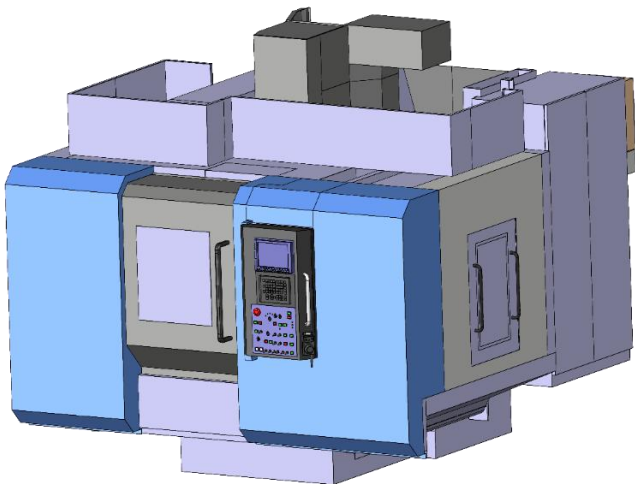
Kirish. Besh o'qli RDB dastgohlarda aylanish o'qlarini (A, B, C turidagi) pozitsiyalash aniqligi asosan yuk ko'taruvchi tizimning issiqlik deformatsiyalari bilan cheklanadi. ISO 230-7:2015 standartiga ko'ra, pretsizion ishlov berish uchun ruxsat etilgan xatolik 10-15 burchak sekundini tashkil etadi, biroq issiqlik effektlari umumiy xatolikka 40-70% hissa qo'shadi [1, 2]. Aylanma tugunlardagi asosiy issiqlik manbalari dumalash podshipniklari (issiqlik oqimlari 2000–5000 Vt/m²) va to'g'ri uzatmali momentli dvigatellar (hajmiy issiqlik ajralishi) hisoblanadi. Gibson va Stein [3] shuni ko'rsatdiki, podshipniklarning dastlabki tarangligini termoinduktivlangan tarzda o'zgartirish issiqlik ajralishini 30-50% ga oshirishi mumkin. Mayr va boshqalar [4] fundamental sharhda dastgohlarning issiqlik xatoliklarini tizimlashtirib, gradiyent maydonlarining muhim rolini ta'kidladilar. Ibaraki va Knapp [5] R-test yordamida geometrik va issiqlik xatoliklarini ajratish usulini taklif etishdi. Gebhardt va boshqalar [6] xatolikni 40-50% ga kamaytiradigan "kulrang" kompensatsiya modelini ishlab chiqdilar. ETH Zürich'dagi Zimmermann, Mayr va Wegener [7] ikkita stanokda hajmiy issiqlik xatolarini 76-84 mkm dan 20-33 mkm gacha (61-74% ga), impellerlarga ishlov berishda esa profil xatosini 32 dan 9 mkm gacha kamaytiradigan o'z-o'zini o'rganuvchi termokompensatsiya tizimini (CIRP,

2023) taqdim etdilar. Li va boshqalar [8] shpin-delning integrallashgan termomekanik modelini ishlab chiqdilar. Bryan [9] va Ramesh et al. [10] klassik sharhlarda korpus detallaridagi odatiy harorat o'zgarishlari 20-50 °C ni, aylanish o'qlarining issiqlik deformatsiyalari esa 20-50 mkm ni tashkil etishini ko'rsatgan. Mavjud tadqiqotlar aylanma tugunlarning issiqlik deformatsiyalarining o'q simmetriyasini ta'kidlaydi, ammo haqiqiy korpuslar asimmetrikdir (texnologik oynalar, dvigatelning siljishi). Adabiyotlarda deformatsiyalar anizotropiyasini miqdoriy baholash mavjud emas. Ushbu ishning maqsadi issiqlik jarayonlarini modellashtirish, harorat taqsimotini aniqlash, yuzaga keladigan deformatsiyalarni tahlil qilish, harorat maydonlarining tugun aniqligiga ta'sirini baholashdan iborat.

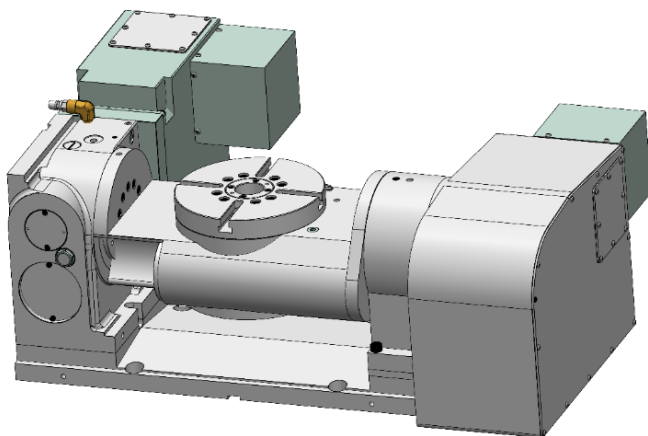
Adabiyotlar tahlili va metodlar.

Tadqiqotning obyektini sifatida besh koordinatali RDB frezalash dastgohining burish uzeli tanlangan. Konstruktiv jihatdan uzal kulrang cho'yandan quyma korpus, o'tqazish yuzasining diametri 300 mm bo'lgan buriluvchi stol, dumalash podshipnikli tayanchlari, shuningdek, o'rnatilgan to'g'ri uzatmali sinxron elektr dvigatel. Termomekanik masalaning yechimi nostatsionar harorat maydoni va undan keyingi elastik deformatsiyalarning bog'liq tahliliga asoslanadi. Bog'lanish Dyamel-Neyman modeli bo'yicha deformatsiyalar vek-

torining haroratga bog'liqligi orqali amalga oshiriladi.



1-rasm. HURCO besh koordinatali dastgohining CAD modeli.



2-rasm. HURCO dastgohining burish-qiya stolining CAD modeli.

Korpusda issiqlikning tarqalish jarayoni differensial shakldagi nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_v \quad (1)$$

bu yerda (ρ)- materialning zichligi, kg/m³; (c_p)- o'zgarimas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi, J/ (kg·°C); (T) - harorat, °C; (t) - vaqt, s; (k_x, k_y, k_z) - izotrop yaqinlashishda issiqlik o'tkazuvchanlik tenzorining komponentlari ($k_x = k_y = k_z = k$), Vt/ (m·°C); (Q_v) - ichki issiqlik manbalarining hajmiy zichligi, Vt/m³.

Birinchi tur chegaraviy shartlar (Dirixle)

texnologik muhit bilan aloqa yuzalarida berilgan:

$$T = T_{amb} = 22 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{при } t = 0 \quad (2)$$

Uchinchi turdagi (Nyuton-Rixman) chegaraviy shartlar korpusning atrofdagi havo bilan aloqada bo'lgan tashqi yuzalarida berilgan:

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_s - T_{amb}) \quad (3)$$

bu yerda (h) - konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/ (m²·°C); (T_s) - korpus sirtining harorati, °C; (n) - sirtga nisbatan tashqi normal.

Issiqlik manbalari podshipnik tugunlarining yuzalarida va dvigatel statorining tutashish zonasida issiqlik oqimlari ko'rinishida modellashtirildi:

$$Q_{bearing} = q_0 \cdot A_{bearing} \quad (4)$$

bu yerda (q_0) - 2000-5000 Vt/m² oralig'ida qabul qilinadigan solishtirma issiqlik oqimi (ish rejimiga qarab), ($A_{bearing}$) - issiqlik ajratuvchi sirt yuzasi.

Korpusning deformatsiyalangan holati harorat deformatsiyasini hisobga olgan holda chiziqli elastiklik nazariyasi tenglamalari tizimi bilan tavsiflanadi. To'liq deformatsiya elastik va harorat tarkibiy qismlarining yig'indisi ko'rinishida ifodalanadi:

$$\varepsilon_{ij}^{total} = \varepsilon_{ij}^{el} + \varepsilon_{ij}^{th} \quad (5)$$

Izotrop material uchun harorat deformatsiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon_{ij}^{th} = \alpha \Delta T \delta_{ij} \quad (6)$$

bu yerda (α) - chiziqli harorat kengayish koeffitsiyenti (CHKK), °C⁻¹; ($\Delta T = T - T_{ref}$) - haroratning referens qiymatga nisbatan o'sishi ($T_{ref} = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$); (δ_{ij}) - Kroneker belgisi.

Kuchlanishlar va elastik deformatsiyalar o'rtasidagi bog'liqlik Dyamel-Neyman shaklidagi umumlashtirilgan Guk qonuni bilan ifodalanadi:

$$\sigma_{ij} = \frac{E}{1+\nu} \left(\varepsilon_{ij}^{el} + \frac{\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{kk}^{el} \delta_{ij} \right) \quad (7)$$

yoki to'liq deformatsiyalar orqali to'g'ridan-to'g'ri shaklda:

$$\sigma_{ij} = 2G \varepsilon_{ij}^{total} + \lambda \varepsilon_{kk}^{total} \delta_{ij} - (3\lambda + 2G) \alpha \Delta T \delta_{ij} \quad (8)$$

bu yerda (E) - Yung moduli (birinchi tur elastiklik moduli), Pa; (ν) - Puasson koeffitsiyenti; ($G = \frac{E}{2(1+\nu)}$) - siljish moduli, Pa; ($\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$) - Lamé parametri, Pa.

Chegaraviy masala quyidagi chegaraviy shartlarda yechildi: korpusning tayanch yuzalarida nolga teng siljishlar berilgan (to'liq siqilish); qolgan

yuzalarda erkin chegaraviy shartlar. Hisob-kitoblarda korpus materialining (yuqori mustahkam cho‘yan / konstruksion po‘lat) quyidagi issiqlik-fizik va mexanik xususiyatlaridan foydalanilgan:

1-jadval

Korpus materialining issiqlik-fizik va mexanik xususiyatlari

Parametr	Belgilash	Ahamiyat	O‘lchov birligi
Zichlik	ρ	7800	kg/m ³
Solishtirma issiqlik sig‘imi	c_p	470	J/(kg·°C)
Issiqlik o‘tkazuvchanlik	k	45	W/(m·°C)
Yung moduli	E	2,0·10 ¹¹	Pa
Puasson koeffitsiyenti	ν	0,3	o‘lchamsiz.
KLTR	α	12·10 ⁻⁶	°C ⁻¹
Konveksiya koeffitsiyenti	h	20	W/(m ² ·°C)

Tanlangan qiymatlarning asoslanishi metall kesish dastgohlari staninalari va korpuslarining namunaviy materiallariga mos keladi (GOST 1412-85, ASTM A48/A48M).

Shakllantirilgan chegaraviy masalani sonli yechish uchun ANSYS Workbench muhitida (Thermal va Static Structural modullari) chekli elementlar usuli (CHEU) qo‘llanildi. Hisoblash to‘ri ikkinchi tartibli 10 tugunli tetraedrik elementlar (mexanik tahlil uchun SOLID187 va issiqlik tahlili uchun SOLID279) asosida qurilgan. Ikkinchi tartibli elementlarni tanlash harorat gradiyentlari va kuchlanish konsentratsiyalarini to‘g‘ri aks ettirish zarurati bilan bog‘liq. Chekli elementli modelning xarakteristikalari tugunlar soni 347.218, elementlar soni 198.456, elementning o‘rtacha o‘lchami 3,5 mm, issiqlik ajralish zonalarida lokal quyuqlashish 1,0 mm. To‘r bo‘yicha yechimning yaqinlashishi ketma-ket maydalangan uchta to‘rda hisoblash orqali tasdiqlandi. 198 ming va 320 ming elementli to‘rlar orasidagi maksimal harorat va maksimal deformatsiyaning og‘ishi 1,2% dan oshmadi, bu qoniqarli deb topildi.

Yechim ikki ketma-ket bosqichda amalga oshirildi:

1. Nostatsionar issiqlik analizi (Transient Thermal). 10 soniyalik qadam bilan ($t \in [0; 200]$) vaqt oralig‘ida harorat maydonini hisoblash. Vaqtli diskretlashning oshkormas usulidan foydalanilgan (Galyorkin sxemasi).

2. Statik strukturaviy tahlil (Static Structural). Har bir vaqt qadamida harorat maydoni mexanik modelga yuklama sifatida import qilindi. Muvozanatlar tizimi yechildi:

$$[K]\{u\} = F_{th} \quad (9)$$

bu yerda $[K]$ — global bikrlilik matritsasi; $\{u\}$ — tugun ko‘chishlari vektori; $F_{th} = \int_V [B]^T [D] \{\varepsilon_{th}\} dV$ — harorat deformatsiyasidan hosil bo‘lgan ekvivalent tugun kuchlari vektori. Haqiqiy foydalanish sharoitlarini modellashtirish uchun quyidagi issiqlik yuklamalari berilgan:

2-jadval.

Hisoblash modelida berilgan chegaraviy shartlar va issiqlik yuklamalari

Issiqlik manbai	Yuk turi	Ahamiyat	Ilova hududi
Podshipnik uzeli 1	Yuza issiqlik oqimi	3000 Wt/m ²	Podshipnikning tashqi halqasi
Podshipnik uzeli 2	Yuza issiqlik oqimi	3500 Wt/m ²	Podshipnikning ichki halqasi
Momentli dvigatel statori	Hajmiy issiqlik ajralishi	1,2·10 ⁵ Wt/m ³	Dvigatelning aktiv zonasi
Konveksiya	III tur chegaraviy shart	h=20	Barcha tashqi yuzalar

Tahlil jarayonida quyidagi chiqish kattaliklari qayd etildi: harorat maydoni - harorat taqsimoti ($T(x, y, z, t)$), mahalliy maksimumlar va gradiyentlar; umumiy deformatsiya ($u_{total} = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$); global koordinatalar tizimidagi tarkibiy deformatsiyalar (u_x), (u_y), (u_z); shuningdek, stolning ishchi yuzasi deformatsiyasi (u_{table}) (markazda va chetda ko‘chish vektori).

Issiqlik deformatsiyalarining aylanish o‘qi joylashuvining aniqligiga ta‘sirini miqdoriy baholash uchun stolning issiqlik siljishi bilan bog‘liq bo‘lgan aylanma xatolik mezonidan foydalanildi. Ushbu xatolik quyidagi formula yordamida baholandi:

$$(\Delta\theta = \arctan\left(\frac{u_{tan}}{R}\right) \approx \frac{u_{tan}}{R}) \text{ (rad)}, \quad (10)$$

bu yerda (u_{tan}) - stol deformatsiyasining tangensial komponenti, (R) - stol radiusi. Kichik burchakli siljishlarda (pretsizion tugunlarning issiqlik deformatsiyalari uchun xos bo‘lgan) chiziqli yaqinlashishga yo‘l qo‘yiladi, uning xatoligi rad da 0,1% dan oshmaydi ($u_{tan}/R < 0,05$).

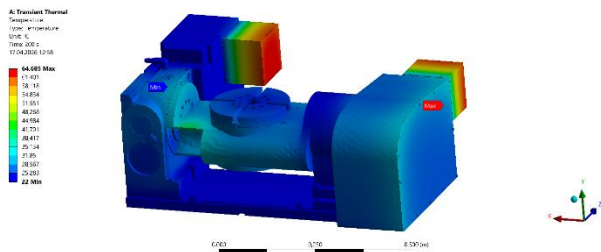
Natijalar. Issiqlik o‘tkazuvchanlikning nostatsionar masalasini yechish natijasida aylanish o‘qi korpusida haroratning fazoviy-vaqt taqsimoti olingan. 3-rasmda oxirgi s vaqtdagi ($t = 200$) harorat maydoni ko‘rsatilgan.

Aniqlanishicha, maksimal harorat momentli dvigatelning podshipnik uzeli va statori tutashgan sohada erishiladi: $T_{max} = 64,7^\circ\text{C}$, minimal harorat korpusning issiqlik manbalaridan uzoqlashgan qismlarida qayd etiladi va atrof-muhit haroratiga

mos keladi $T_{min} = 22,0 \text{ }^\circ\text{C}$, hamda konstruksiyadagi to'liq harorat farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta T_{total} = T_{max} - T_{min} = 42,7 \text{ }^\circ\text{C} \quad (11)$$

Tahlillar natijasida harorat maydoni shakllanishining quyidagi qonuniyatlari aniqlandi. Birinchidan, qizishning yaqqol ifodalangan lokalizatsiyasi kuzatiladi: $55 \text{ }^\circ\text{C}$ dan yuqori haroratli zona korpus hajmining ko'pi bilan 12-15% ini egallaydi va faqat podshipnik qismlari hamda dvigatel atrofida to'plangan bo'ladi. Ikkinchidan, gradiyent zonalarini aniqlandi - haroratning eng katta fazoviy gradiyentlari ($8 \text{ }^\circ\text{C/mm}$ gacha) korpusning qizigan sohasi va sovuq qismlari o'rtasidagi chegarada qayd etiladi, bunda aynan shu zonalar maksimal termik kuchlanishlarni hosil qiladi. Uchinchidan, harorat maydonining sezilarli asimmetriyasi aniqlandi: momentli dvigatelning nosimmetrik joylashuvi (korpusning markaziy o'qiga nisbatan siljishi) tufayli maydon o'q simmetriyasiga ega emas, yuqori haroratlar zonasi esa musbat Y o'qi yo'nalishida kengaygan. To'rtinchidan, isitish vaqt dinamikasining eksponensial xususiyati aniqlandi - dastlabki 60 soniyada harorat barqaror qiymatning 80 foiziga yetadi, shundan so'ng isitish tezligi sezilarli darajada sekinlashadi.



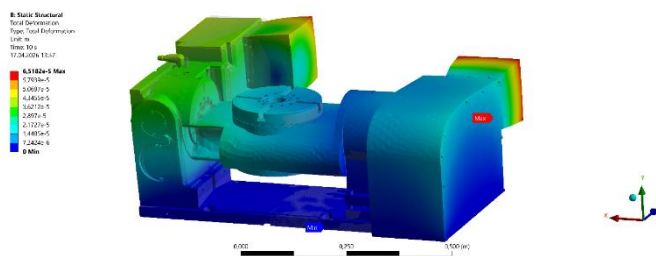
3-rasm. Harorat maydonlarining nostatsionar tahlili.

Xarakterli o'lchami 150-200 mm bo'lgan yuqori harorat gradiyenti ($42,7 \text{ }^\circ\text{C}$) korpusning egilish deformatsiyalari paydo bo'lishiga zamin yaratadi. Miqdoriy jihatdan gradiyent quyidagi parametr bilan tavsiflanishi mumkin:

$$\nabla T \approx \frac{\Delta T}{L} \approx \frac{42,7}{0,18} \approx 237 \text{ }^\circ\text{C/m} \quad (12)$$

bu yerda (L) - issiqlik ajralish markazi va korpusning eng uzoq nuqtasi orasidagi masofa.

4-rasmida korpus va stolda yig'indi deformatsiyaning taqsimlanishi keltirilgan ($u_{total} = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$).



4-rasm. Statik strukturaviy tahlil.

Statik strukturaviy tahlildan ko'rinib turibdiki, butun tugun bo'ylab maksimal deformatsiya

$$u_{max}^{total} = 6,52 \times 10^{-5} \text{ m} = 65,2 \text{ } \mu\text{m} \quad (13)$$

Maksimumning lokalizatsiyasi stolning periferik zonalarida va korpusning tayanch yuzalaridan uzoqlashgan qismlarida joylashgan. Deformatsiyalanishning xususiyati shundaki, korpus vertikal tekislikda egilishning ustunligi bilan murakkab egilish-buralish deformatsiyasini boshdan kechiradi.

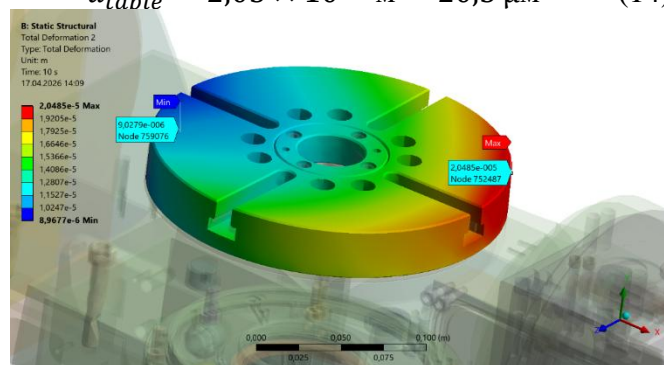
3-jadval.

Uchta zona aniqlandi

Zona	Deformatsiya turi	Qiymat, mkm	Maksimal ulush
Stol periferiyasi	Egilish va buralish	65,2	100%
Korpusning o'rtasi	Egilish	35-50	54-77%
Tayanch asoslar	Siqish	5-10	8-15%

Buriluvchi stol funksional jihatdan eng muhim element hisoblanadi, chunki ishlov beriladigan detal aynan unga asoslanadi. Stolning deformatsiyasi bevosita ishlov berish xatoligiga o'tadi. Stolning maksimal deformatsiyasi:

$$u_{table}^{max} = 2,05 \times 10^{-5} \text{ m} = 20,5 \text{ } \mu\text{m} \quad (14)$$



5-rasm. Statik tarkibiy tahlil.

Stol deformatsiyasining tarkibiy qismlarini tahlil qilish deformatsiyaning ustun yo'nalishini ko'rsatadi - vertikal (Z o'qi) va tangensial (Y o'qi); stol chetining markazga nisbatan "ko'tarilish"

effekti kuzatiladi (differensial issiqlik kengayishi); stol perimetri bo'ylab deformatsiyaning notekisligi 30% ga yetadi. Stol periferiyasining tangensial siljishi aylanish o'qining joylashishidagi burchak xatoligiga olib keladi. Baholash stol radiusi ($R = 150 \text{ mm}$) uchun amalga oshirildi (ushbu sinfdagi dastgoh uchun namunaviy qiymat):

$$\Delta\theta = \frac{u_{table}^{tan}}{R} = \frac{20,5 \times 10^{-6}}{0,15} = 1,37 \times 10^{-4} \text{ rad} \quad (15)$$

$$\Delta\theta = 1,37 \times 10^{-4} \times \frac{180}{\pi} \times 3600 \approx$$

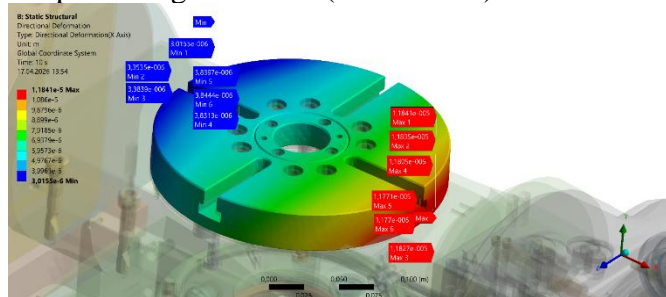
$$28,2 \text{ uglovix sekund} \quad (16)$$

4-jadval.

Ruxsat etilgan qiymatlar bilan taqqoslash

Aniqlik toifasi	Joylashtirishning ruxsat etilgan xatoligi, burchak soniya	Nisbat
Aniq ishlov berish (ISO 10791)	10–15	1,9–2,8 baravar oshib ketgan
O'rtacha aniqlikdagi ishlov berish	30–40	Ruxsat etilgan chegaralarda
Xomaki ishlov berish	60–90	Ruxsat etilgan darajadan past

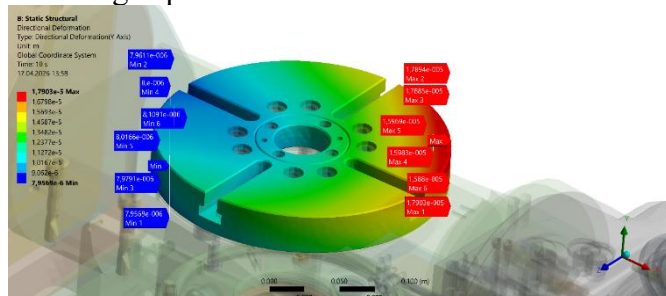
Deformatsiyalarning dominant yo'nalishlarini aniqlash uchun global koordinatalar tizimida (u_x), (u_y), (u_z) komponentlarni alohida ko'rib chiqish amalga oshirildi (5-7-rasmlar).



6-rasm X o'qi bo'ylab statik strukturaviy tahlil.

$$u_x^{max} = 1,18 \times 10^{-5} \text{ m} = 11,8 \mu\text{m} \quad (17)$$

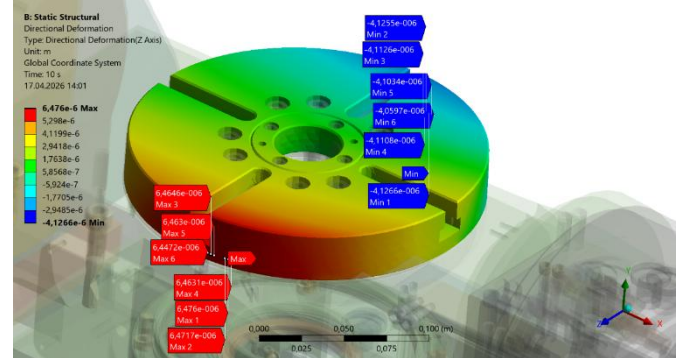
Deformatsiyaning taqsimlanish xarakteri markaziy tekislikka nisbatan simmetrik bo'lib, maksimumlar korpusning yon zonalarida kuzatiladi, bu esa qizigan zonaning ko'ndalang kengayishi bilan bog'liq.



7-rasm. Y o'qi bo'yicha statik strukturaviy tahlil.

$$u_y^{max} = 1,79 \times 10^{-5} \text{ m} = 17,9 \mu\text{m} \quad (18)$$

Deformatsiyaning taqsimlanish xususiyati asimmetrik bo'lib, bu dvigatelning nosimmetrik joylashuvi bilan bog'liq; bunda maksimum yuritma joylashgan tomonga siljigan bo'lib, ushbu komponent stolning tangensial siljishiga asosiy hissa qo'shadi.



8-rasm Z o'qi bo'ylab statik strukturaviy tahlil.

$$u_z^{max} = 6,47 \times 10^{-6} \text{ m} = 6,5 \mu\text{m} \quad (19)$$

5-jadval

Termomexanik tahlilning umumlashtirilgan natijalari

Parametr	Belgilash	Ahamiyat	O'lchov birligi
Maksimal harorat	T_{max}	64,7	°C
Harorat farqi	ΔT	42,7	°C
Maksimal yig'indi deformatsiya	$u_{totalmax}$	65,2	mkm
Stolning deformatsiyasi	$u_{tablemax}$	20,5	mkm
X bo'yicha deformatsiya	u_{xmax}	11,8	mkm
Y bo'yicha deformatsiya	u_{ymax}	17,9	mkm
Z bo'yicha deformatsiya	u_{zmax}	6,5	mkm
Y/X anizotropiya koeffitsiyenti	K_{yx}	1,52	—
Y/Z anizotropiya koeffitsiyenti	K_{yz}	2,75	—
Pozitsiyalashning burchak xatoligi	$\Delta\theta$	28,2	burchak soniya

Deformatsiyaning ushbu tarkibiy qismining tarqalish xarakteri ko'rib chiqilayotgan barcha yo'nalishlar orasida minimal qiymatlar bilan tavsiflanadi, bu korpusning tayanch yuzalari tomonidan vertikal siljishlarning cheklanishi bilan bog'liq; bunda mahalliy ko'tarilish va cho'kish zonalarida kuzatiladi.

$$u_y^{max} > u_x^{max} > u_z^{max} \quad (20)$$

Anizotropiya koeffitsiyentlari:

$$K_{yx} = \frac{u_y^{max}}{u_x^{max}} = \frac{17,9}{11,8} \approx 1,52 \quad (21)$$

$$K_{yz} = \frac{u_y^{max}}{u_z^{max}} = \frac{17,9}{6,5} \approx 2,75 \quad (22)$$

$$K_{xz} = \frac{u_x^{max}}{u_z^{max}} = \frac{11,8}{6,5} \approx 1,82 \quad (23)$$

Deformatsiyalar anizotropiyasi uchta asosiy omilga bog'liq. Birinchidan, korpusning geometrik asimmetriyasi: texnologik oynalar va bikrlilik qirralari mavjudligi sababli Y yo'nalishdagi bikrlilik X ga qaraganda pastroq. Ikkinchidan, issiqlik manbalarining asimmetriyasi: momentli dvigatel va asosiy podshipnik uzeli markaziy o'qqa nisbatan siljigan, bu esa nosimmetrik issiqlik impulsini hosil qiladi. Uchinchidan, mahkamlashning chegaraviy shartlari: tayanch yuzalar asosan Z o'qi bo'ylab siljishni cheklaydi, X va Y o'qlari bo'ylab esa korpus ko'proq erkinlikka ega.

Muhokama. O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, korpusning issiqlik maydoni yuqori darajadagi qizdirish lokalizatsiyasi va sezilarli gradiyentlar bilan tavsiflanadi ($\nabla T \approx 237 \text{ }^\circ\text{C}/\text{M}$). Tugunning maksimal deformatsiyasi 65,2 mkm ga yetadi, bunda stolning deformatsiyasi eng kritik hisoblanadi — 20,5 mkm. Birinchi marta ushbu konstruktsiya uchun Y ($u_y > u_x > u_z$) yo'nalishining ustunligi bilan deformatsiyalarning anizotropiyasi miqdoriy jihatdan tasdiqlandi; anizotropiya koeffitsiyentlari 1,52 va 2,75 ni tashkil etadi. Aylanma o'qni joylashtirishning issiqlik xatosi 28,2 burchak soniyasiga teng deb baholandi, bu esa aniq ishlov berish ruxsat etilganidan (10-15 burchak soniyasi) 1,9–2,8 baravar yuqori. Olingan natijalar besh koordinatali stanokning aniqligini boshqarish tizimini loyihalashda issiqlik deformatsiyalarini hisobga olish zarurligini yaqqol

tasdiqlaydi.

Xulosa. Olingan harorat maydoni ($T_{max} = 64,7 \text{ }^\circ\text{C}$), ($\Delta T = 42,7 \text{ }^\circ\text{C}$) issiqlik bilan yuklangan tugunlar uchun xosdir: mahalliy issiqlik manbalari yuqori gradiyentli zonalarini hosil qiladi. Bio mezonining past qiymati ($(Bi \approx 0,022 \ll 0,1)$) shuni ko'rsatadiki, sovutish intensivligi emas, balki materialning cheklangan issiqlik o'tkazuvchanligi haroratni $k = 45 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ tenglashtirishni cheklaydi. Korpusning deformatsiyalanishi bir jinsli bo'lmagan kengayish oqibatidir. Erkin element uchun ko'chish 102 mkm ni tashkil etadi, biroq haqiqiy deformatsiya (65,2 mkm) konstruktsiya bikrligi tufayli 36% ga pastroq bo'ladi. Aniqlangan anizotropiya dvigatelning asimmetrik joylashuvi ($(u_y > u_x > u_z)$, ($K_{yx} = 1,52$), ($K_{yz} = 2,75$)) X o'qiga nisbatan eguvchi moment hosil qiluvchi issiqlik dipoli va vertikal siljishlarning tayanchlar bilan cheklanishi bilan tushuntiriladi.

Adabiyotlar bilan solishtirish [Bryan, 1990; Mayr va boshqalar, 2012; Ramesh et al., 2000] olingan qiymatlar ma'lum diapazonlar bilan mos kelishini ko'rsatadi. Ushbu konstruktsiya uchun birinchi marta anizotropiya miqdoriy jihatdan isbotlandi, bu esa kompensatsiyaning o'qqa nisbatan simmetrik modellarining qo'llanilishini shubha ostiga qo'yadi. Pozitsiyalash xatoligi (28,2 burchak soniya) pretsizion joizlikdan (10-15 burchak soniya) 1,9–2,8 marta oshib ketadi, bu esa kompensatsiyani talab etadi. Modellashtirish xatoligi bahosi: ($\delta_{total} \approx 13\%$), ($u_{table} = 20,5$) mkm uchun ishonch oralig'i: ($\pm 2,7$) mkm.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] International Organization for Standardization. (2015). ISO 230-7:2015. Test code for machine tools—Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation. ISO.
- [2] Mayr, J., Jedrzejewski, J., Uhlmann, E., Donmez, A., Knapp, W., Härtig, F., Wendt, K., Moriwaki, T., Shore, P., Schmitt, R., Brecher, C., Würz, T., & Wegener, K. (2012). Thermal issues in machine tools. *CIRP Annals*, 61(2), 771–791. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.008>
- [3] Gibson, A., & Stein, J. L. (2020). Reduced-order finite element thermal model of a machine tool spindle. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(4), 041008. <https://doi.org/10.1115/1.4045798>
- [4] Mayr, J., & Wegener, K. (2012). Thermal errors in machine tools: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 62, 1–15.
- [5] Ibaraki, S., & Knapp, W. (2012). Indirect measurement of volumetric accuracy in five-axis machine tools. *CIRP Annals*, 61(2), 729–748. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.050>
- [6] Gebhardt, M., Knapp, W., & Wegener, K. (2014). Thermal error compensation in machine tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 7(4), 241–251.

- [7] Zimmermann, N., Mayr, J., & Wegener, K. (2023). Self-learning thermal error compensation for five-axis machine tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 46, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.01.001>
- [8] Li, Y., Zhao, W., & Lu, B. (2019). Thermal-mechanical coupling analysis of high-speed optical grinding spindle. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 20(8), 1325–1335. <https://doi.org/10.1007/s12541-019-00147-4>
- [9] Bryan, J. B. (1990). International status of thermal error research. *CIRP Annals*, 39(2), 645–656. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63001-7](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63001-7)
- [10] Ramesh, R., Mannan, M. A., & Poo, A. N. (2000). Error compensation in machine tools—A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40(9), 1235–1256. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(00\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(00)00009-2)

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Ataullayev, A. O., Jo'rayev, N. N., Egamberdiyev, I. P., & Yaxshiyev, Sh. N. (2026). Besh o'qli RDB tizimidagi issiqlik yuklamalari va deformatsiyalarni hisobga olgan holda aylanuvchi o'q korpusining termomehanik tahlili. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.12>

UO‘K: 621:531.3.164

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.14

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

MASHINALI KO‘RISH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA SILINDRIK G‘ILDIRAKLARNING EVOLVENT TISHLARI PROFILINI NAZORAT QILISH USULINI ISHLAB CHIQISH



**Jo'rayev Nodirbek
Normurodovich**

PhD, dotsent, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: Nodirjura@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-5149-5901
Science ID: FSN-1225-0073



**Ataullayev Azizjon
Odilovich**

PhD, dotsent, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: aziz-217@mail.ru
ORCID ID: 0009-0001-2761-8850
Science ID: FNV-1225-0023



**Egamberdiyev Ilhom
Pulatovich**

DSc, professor, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: ilhom1977@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7549-2156



**Yaxshiyev Sherali
Namozovich**

DSc, professor, Navoiy davlat
konchilik va texnologiyalar
universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail:
sheraliyaxshiyev1978@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-3259-9735
Science ID: DBX-0326-0026

Annotatsiya. Ishda mashina ko‘rishi texnologiyalari va uch o‘lchamli geometrik ma‘lumotlarni qayta ishlashga asoslangan silindrik tishli g‘ildiraklarning evolventali profilini nazorat qilishning yangi usuli taqdim etilgan. Tadqiqotning dolzarbligi mavjud yondashuvlarda (koordinata-o‘lchov mashinalari, optik va qiyosiy usullar) o‘lchashlarning yuqori aniqligi, tezligi va narxi o‘rtasidagi ziddiyatni bartaraf etish zarurati bilan izohlanadi. Tadqiqotning maqsadi ixtisoslashtirilgan tish o‘lchash uskunalari va etalon CAD modellarini talab qilmaydigan, qulay, yetarlicha aniq va avtomatlashtirilgan nazorat usulini ishlab chiqishdan iborat.

Kalit so‘zlar: evolvent profil, silindrik tishli g‘ildiraklar, mashinaviy ko‘rish, nuqtalar buluti, STEP-format, geometriyani nazorat qilish, profil og‘ishi, ICP-algoritm, ISO 1328.

Received: 10.05.2026

Accepted: 08.06.2026

Published: 29.06.2026

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПРОФИЛЯ ЭВОЛВЕНТНЫХ ЗУБОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

**Жураев Нодирбек
Нормуродович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
доцент, Навои, Узбекистан

**Атауллаев Азизжон
Одилевич**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор философии
(PhD) по техническим наукам,
доцент, Навои, Узбекистан

**Эгамбердиев Илхом
Пулатович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор технических
наук (DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

**Яхшиев Шерали
Намозович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, доктор технических
наук (DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

Аннотация. В работе представлен новый метод контроля эвольвентного профиля цилиндрических зубчатых колес, основанный на технологиях машинного зрения и трехмерной обработке геометрических данных. Актуальность исследования объясняется необходимостью устранения противоречий между высокой точностью, скоростью и стоимостью измерений в

существующих подходах (координатно-измерительные машины, оптические и сравнительные методы). Целью исследования является разработка удобного, достаточно точного и автоматизированного метода контроля, не требующего специализированного зубоизмерительного оборудования и эталонных CAD-моделей.

Ключевые слова: эвольвентный профиль, цилиндрические зубчатые колеса, машинное зрение, облако точек, STEP-формат, контроль геометрии, отклонение профиля, ICP-алгоритм, ISO 1328.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CONTROLLING THE EVOLVENT TEETH PROFILE OF CYLINDRICAL WHEELS BASED ON MACHINE VIEW TECHNOLOGIES

**Juraev Nodirbek
Normurodovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, PhD in
Technical Sciences, Associate
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Ataullaev Azizjon
Odilovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, PhD in
Technical Sciences, Associate
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Egamberdiev Ilkhom
Pulatovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Yakhshiev Sherali
Namozovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

Abstract. The work presents a new method for controlling the evolving profile of cylindrical gears based on machine vision technologies and three-dimensional geometric data processing. The relevance of the research is explained by the need to eliminate the conflict between high measurement accuracy, speed, and cost in existing approaches (coordinate-measuring machines, optical and comparative methods). The aim of the study is to develop a convenient, sufficiently accurate, and automated control method that does not require specialized dental measuring equipment and reference CAD models.

Keywords: evolving profile, cylindrical gears, machine vision, point cloud, STEP format, geometry control, profile deviation, ICP algorithm, ISO 1328.

Kirish. Tishli g'ildiraklar geometriyasini nazorat qilish mexanik andozalar va shtangensirkullardan tortib zamonaviy koordinata-o'lchov mashinalari (KO'M) va optik tizimlargacha bo'lgan uzoq rivojlanish yo'lini bosib o'tdi. Tishli uzatmalarni nazorat qilishga tizimli yondashuvning boshlanishi XX asrning o'rtalarida milliy aniqlik standartlarining (DIN, AGMA, GOST 1643-81) joriy etilishi bilan boshlangan. Lipson [1] va Kalininning [2] klassik ishlari nazorat qilinadigan parametrlar nomenklaturasi uchun nazariy asos yaratdi. 1970-80-yillarda tish profilini nazorat qiluvchi maxsus asboblardir-evolventomerlar faol rivojlandi. Muammoning hozirgi holatini tahlil qilish evolventali profilni nazorat qilishning uchta asosiy yondashuvini ajratib ko'rsatish imkonini beradi: koordinata-o'lchov, optik va qiyosiy. Koordinata-o'lchov usuli eng aniq (xatolik 0.5-1 mkm gacha) va determinatsiyalangan hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Tabachnikov [3] va Fedotov [4] ishlarida ushbu qurilmalarning kinematik sxemalari va xatoliklarni

baholash usullari batafsil bayon etilgan. Biroq, bunday asboblardir yagona o'lchashlarga mo'ljallangan bo'lib, operatorning yuqori malakasini talab qilardi. 1990-yillarda raqamli texnologiyalarga o'tish birinchi kompyuter tish o'lchash tizimlarining paydo bo'lishiga olib keldi. Shveysariyaning Klingelnberg [1] va Germaniyaning Ho'fler [2] kompaniyalari tish o'lchash markazlarining sanoat namunalarini ishlab chiqdilar, ular hali ham sohadagi etalon hisoblanadi. Muammoning hozirgi holatini tahlil qilish evolventali profilni nazorat qilishning uchta asosiy yondashuvini ajratib ko'rsatish imkonini beradi: koordinata-o'lchov, optik va qiyosiy. Koordinata-o'lchov usuli eng aniq (xatolik 0.5-1 mkm gacha) va determinatsiyalangan hisoblanadi. Goxning tadqiqotlari [7] shuni ko'rsatadiki, zamonaviy KO'Mlar tish profilidagi 200 tagacha nuqtani o'lchash va keyinchalik ISO 1328 bo'yicha og'ishlarni hisoblash imkonini beradi. Biroq, Smitning ta'kidlashicha [8], bunday tizimlarning narxi (150-500 ming dollar) va o'lchash vaqti (bir g'ildirak uchun 15-30 daqiqa)

ularni seriyali ishlab chiqarishda qo'llashni cheklaydi. Optik usullarga lazerli triangulyatsiya, strukturali yoritish va fotogrammetriya kiradi. Petrov [9] va Vang [10] ishlarida optik usullarning aniqligi skanerlash vaqti 1-3 daqiqa bo'lganda 5-20 mkm ga yetishi ko'rsatilgan. Kozlovning [11] sharhida qayd etilgan asosiy muammo aynan evolventali profilni ajratib olish uchun nuqta bulutlarini avtomatik qayta ishlashning murakkabligidir. Taqqoslash usullari etalon profillar va optik komparatorlardan foydalanadi. Soddaligi va arzonligi ularni sex nazorati uchun jozibador qiladi, biroq Radzevich [12] ta'kidlaganidek, bu usullar og'ishlarni miqdoriy baholashni ta'minlamaydi va operatorning malakasiga bog'liq.

Tishli g'ildiraklarni nazorat qilish uchun mashina ko'rishini qo'llash bo'yicha birinchi ishlar 2000-yillarning boshlarida paydo bo'ldi. Shuls va boshqalar [13] g'ildirakning binar tasviri bo'yicha modul va tishlar sonini aniqlash usulini taklif etdilar. Usulning aniqligi moduli 2 mm dan katta bo'lgan g'ildiraklar uchun 95% ni tashkil etdi. Chuqur neyron tarmoqlarining paydo bo'lishi bilan sezilarli yutuqlarga erishildi. Chen va Li [14] tasvir bo'yicha tishli g'ildirak turini tasniflash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlardan (CNN) foydalanib, 98,7% aniqlikka erishdilar. Biroq, mualliflarning ta'kidlashicha, tarmoq cheklangan tanlanmada (g'ildiraklarning 5 ta sinfi) o'qitilgan va miqdoriy og'ishlarni baholash imkonini bermagan. Ushbu tadqiqot mavzusiga eng yaqin bo'lgan ish Garsiya va Martinesning [15] ishi bo'lib, unda 3D skanerlashdan foydalanish va nuqtalar bulutini CAD modeli bilan taqqoslash taklif etilgan. Mualliflar profil og'ishlarini aniqlash aniqligi 0.025 mm ekanligini ma'lum qilishadi, biroq bu usul etalon CAD modelini talab qiladi, bu esa ta'mirlash ishlab chiqarishi sharoitida har doim ham mumkin emas.

Tishli g'ildiraklarni nazorat qilish uchun dasturiy ta'minot bozori ham tijorat, ham ochiq yechimlar bilan taqdim etilgan. Tijorat tizimlari - GearPro (Klingelnberg), GAMA (Gleason), GearCal (Hexagon) - to'liq funktsionallikka ega, ammo yuqori narxga ega (dan). va ma'lum bir o'lchov uskunasiga bog'langan [16]. Ochiq yechimlar (OpenGear, PyGear) ishlab chiqishning dastlabki bosqichida. GitHub repozitoriyalari tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud loyihalar nazariy

evolventa bilan profilni to'liq taqqoslashni amalga oshirmaydi va STEP formatini qo'llab-quvvatlamaydi [17].

Har qanday evolventali tishli uzatma geometriyasining asosida aylana evolventasi tushunchasi yotadi, u asosiy deb ataladigan qo'zg'almas aylanada sirpanmasdan dumalab yuruvchi to'g'ri chiziqqa tegishli nuqta bilan chiziladigan tekis egri chiziqdan iborat. Aynan shu xususiyat uzatish nisbatining doimiyligini va o'qlararo masofaning kichik o'zgarishlariga sezgir emasligini ta'minlaydi, bu esa zamonaviy mashinasozlikda evolventali ilashmaning keng tarqalishini tushuntiradi. Evolventali profilli silindrik tishli g'ildirakning to'liq geometrik tavsifi uchun bir nechta asosiy parametrlarni berish kerak. Avvalo, bu modul bo'lib, u tishlarning o'lchamini belgilovchi asosiy hisobiy parametr hisoblanadi. Tishlar soni modul bilan birgalikda bo'luvchi diametрни belgilaydi, u tishlashish qadami standart qiymatga teng bo'lgan aylana diametринi ifodalaydi. Standartlashtirilgan qiymati bo'lgan boshlang'ich kontur profilining burchagi evolventa shaklini va asosiy aylananing holatini belgilaydi.

$$r = m \cdot z / 2 \quad (1)$$

$$r_b = r \cdot \cos \alpha \approx 0.9397$$

$$h_f = 1.25m = 0.25m$$

Asosiy aylana radiusi evolventani qurishda asosiy geometrik parametr hisoblanadi. U bo'luvchi radius bilan munosabat orqali bog'langan. Profilning standart burchagi bo'lgani uchun, bu esa asosiy aylana bo'luvchi aylanadan taxminan 6% kichikligini anglatadi. Tish boshchasining balandligi m modulga, oyoqchanning balandligi esa ga teng deb qabul qilinadi, bu esa bir g'ildirak tishining uchi va ikkinchisining chuqurchasi orasidagi radial tirqishni ta'minlaydi.

Evolventaning matematik tavsifi uchun eng qulayi to'g'ri burchakli koordinatalar tizimidagi parametrik shakl bo'lib, u yoyilma burchagiga qarab egri chiziqning istalgan nuqtasi koordinatalarini bevosita hisoblash imkonini beradi. Parametrik tenglamalarni keltirib chiqarish yasovchi to'g'ri chiziqning asosiy aylana bo'ylab dumalashida yuzaga keladigan geometrik munosabatlarni ko'rib chiqishga asoslangan. Radiusning asosiy aylanasi koordinatalar boshida joylashgan bo'lsin. Yasovchi to'g'ri chiziqni (radianlarda o'lchanadigan) burchakka burganda, dastlab to'g'ri chiziqning

aylanaga urinish nuqtasida turgan nuqta yangi vaziyatga ko'chadi. Urinish nuqtasining asosiy aylana bo'yab o'tgan yoyining uzunligi ga teng, bu sirpanishsiz dumalash shartiga ko'ra urinish nuqtasidan qaralayotgan nuqtagacha to'g'ri chiziq hosil qilgan kesmaning uzunligiga teng. Urinish nuqtasida aylanaga o'tkazilgan urinmaning yo'nalishini hisobga olgan holda quyidagi parametrik tenglamalar hosil bo'ladi:

$$\begin{cases} x(\theta)=r_b \cdot (\cos \theta + \theta \cdot \sin \theta) \\ y(\theta)=r_b \cdot (\sin \theta - \theta \cdot \cos \theta) \end{cases} \text{ bu yerda } \theta \in [0, \theta_{\max}] \quad (2)$$

$$\theta = 0$$

$$x=r_b$$

$$y=0$$

$$\theta_{\max} r_a = r_b + m$$

Parametr evolventa burchagi yoki yoyilma burchagi deb ataladi va radianlarda o'lchanadi. Nuqta asosiy aylanada vaziyatda yotadi. O'sish bilan nuqta asosiy aylanadan uzoqlashadi, shu bilan birga bu uzoqlashish tezligi ortadi, chunki evolventa egrilik radiusi monoton o'suvchi egri chiziqdir. Parametr o'zgarishining yuqori chegarasi tishlar uchlari aylanasining radiusi bilan aniqlanadi. Geometrik mulohazalardan quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$\theta_{\max} = \sqrt{\left(\frac{r_a}{r_b}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

$$m = 2.5 \text{ mm}$$

$$z = 24$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\theta_{\max} = 64^\circ$$

Moduli, tishlar soni va profil burchagi bo'lgan standart tishli g'ildiraklar uchun qiymat taxminan 1.12 radianni tashkil etadi, bu taxminan evolventa yoyilmasiga mos keladi.

To'g'ri burchakli koordinatalardan tashqari, ba'zi masalalarni yechish uchun, xususan, profil nuqtasining o'lchangan koordinatalari bo'yicha g'ildirakning burilish burchagini aniqlash uchun evolventa tenglamasining qutbiy shakli foydalidir. Markazi koordinatalar boshida bo'lgan qutb koordinatalarida evolventa tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\rho(\theta) = \frac{r_b}{\cos \alpha_\theta}, \quad (4)$$

$$\alpha_\theta = \arctan \theta$$

bu yerda - berilgan nuqtadagi profil burchagi bo'lib, u nuqtaning radius-vektori va shu nuqtadagi evolventa urinmasi orasidagi burchakni ifodalaydi.

Qutb burchagi (radius-vektor va X o'qining musbat yo'nalishi orasidagi burchak) va evolvent parametr o'rtasidagi bog'liqlik quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$\varphi = \theta - \arctan \theta$$

Bu bog'liqlik noxiziqli bo'lib, teskari masalani yechishda, ya'ni nuqtaning ma'lum koordinatalari bo'yicha parametrni aniqlashda ma'lum hisoblash qiyinchiliklarini keltirib chiqaradi.

ISO 1328-1:2013 xalqaro standartiga muvofiq, tish profilining og'ishi deganda, o'lchash natijasida olingan haqiqiy profil va parametrlarning nominal qiymatlarida ushbu g'ildirak uchun qurilgan nazariy evolvent profil o'rtasidagi farq tushuniladi. Standart bir nechta o'zaro bog'liq ko'rsatkichlarni kiritadi, ularning har biri tish shaklining og'ishining ma'lum bir jihatini tavsiflaydi.

$$\{Q_i\}_{i=1}^n Q_i = (x_i, y_i) \theta \quad (5)$$

Faraz qilaylik, nazariy evolventa parametrik tenglamalar bilan berilgan, real profil esa skanerlash yoki boshqa o'lchashlar natijasida olingan nuqtalar to'plami ko'rinishida berilgan bo'lsin. U holda har bir nuqta uchun nazariy evolventagacha bo'lgan masofani aniqlash mumkin. Biroq, masofani bevosita hisoblash murakkablashadi, chunki evolventa odatdagi ma'noda funktsiya grafigi emas va parametr va nuqtalar koordinatalari o'rtasidagi moslik teskari tomonga bir qiymatli emas. Ixtiyoriy nuqtadan evolventagacha bo'lgan eng qisqa masofani topish masalasi bir o'lchovli optimallashtirish masalasiga keltiriladi:

$$\delta(Q) = \min_{\theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]} \sqrt{(x(\theta) - x_Q)^2 + (y(\theta) - y_Q)^2} \quad (6)$$

Masofa funksiyasi qaralayotgan oraliqda silliq va unimodal bo'lib, bu qidiruvning samarali sonli usullaridan, xususan, oltin kesim usuli yoki dixotomik bo'lish usulidan foydalanish imkonini beradi. Oxirgisi chiziqli yaqinlashishga ega bo'lib, amalga oshirishning soddaligini va amaliy maqsadlar uchun yetarli aniqlikni ta'minlaydi.

F_α profilning har bir nuqtasi uchun nazariy evolventagacha bo'lgan minimal masofa topilgandan so'ng, og'ishlarning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi. Ulardan birinchisi profilning umumiy og'ishi bo'lib, u maksimal va minimal og'ishlar o'rtasidagi farq sifatida aniqlanadi:

$$F_{\alpha} = \max_i \delta_i - \min_i \delta_i \quad (7)$$

$$m = 2.5 \text{ mm} \quad F_{\alpha} = 30 \text{ mkm}$$

Bu ko'rsatkich og'ishlarning umumiy tarqoqligini tavsiflaydi va profil sifatining eng umumiy mezoni hisoblanadi. Modulda 8-darajali aniqlikdagi g'ildiraklar uchun profilning umumiy og'ishiga ruxsat etilgan qiymat ni tashkil etadi.

Og'ishlar xarakteri haqida batafsilroq ma'lumotni profil qiylaligining og'ishi beradi, u og'ishlar massividan chiziqli trendni ayirgandan so'ng hisoblanadi. Agar og'ishning nuqta raqamiga (yoki faol profil uzunligiga) bog'liqligini chiziqli funksiya bilan yaqinlashtirsak, u holda qiylalik og'ishi ushbu chiziqli funksiyaning faol profilning yuqori va pastki nuqtalaridagi qiymatlarining profil uzunligiga nisbatidagi farqi sifatida aniqlanadi:

$$f_{\text{ha}} = \frac{\delta_{\text{верх}} - \delta_{\text{низ}}}{L_{\alpha}} \quad (8)$$

bu yerda - tishning faol profili uzunligi. Musbat qiymat haqiqiy profilning tish cho'qqisi tomonga "yiqilganini", manfiy qiymat esa oyoqcha tomonga "yiqilganini" ko'rsatadi.

Profil shaklining og'ishi qiylalik chiqarib tashlangandan keyin qoladigan umumiy og'ishning tashkil etuvchisidir. Rasmiy ravishda u haqiqiy profil va chiziqli trendni ayirgandan so'ng o'tkazilgan o'rta chiziq o'rtasidagi maksimal masofa sifatida aniqlanadi:

$$f_{\text{fa}} = \max_i (\delta_i - (ki+b)) - \min_i (\delta_i - (ki+b)) \quad (9)$$

Bu ko'rsatkich tishlarga ishlov berishdagi to'liqinsimonlik, g'adir-budurlik yoki tebranish izlari kabi profilning mahalliy buzilishlariga sezgir bo'ladi.

Nihoyat, o'rtacha profilning og'ishi og'ishlarning tizimli tarkibiy qismini tavsiflaydi va trendni chiqarib tashlagandan so'ng og'ishlarning o'rtacha arifmetik qiymati sifatida hisoblanadi:

$$C_{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_i - (ki+b)) \quad (10)$$

Natijalar. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida silindrik g'ildiraklarning evolventali tishlari profilini nazorat qilish usuli ishlab chiqilgan bo'lib, u mashina ko'rishi va uch o'lchamli geometrik

ma'lumotlarni qayta ishlash texnologiyalarini qo'llashga asoslangan bo'lib qo'yidagi natijalarga erishildi:

1) Ish davomida mavjud nazorat usullarining kompleks tahlili o'tkazildi, bu esa o'lchashlarning aniqligi, tezligi va narxi o'rtasida jiddiy qarama-qarshilik mavjudligini ko'rsatdi. Aniqlanishicha, an'anaviy koordinata-o'lchov usullari yuqori aniqlikni ta'minlaydi, biroq katta vaqt sarfi va uskunalarning yuqori narxi bilan tavsiflanadi, optik va qiyosiy usullar esa aniqlik va avtomatlashtirish darajasi bo'yicha pastroq.

2) Egri chiziqning parametrik tavsifi, og'ishlarni aniqlash usullari va ISO 1328 standartiga muvofiq aniqlik xususiyatlarini hisoblash algoritmlarini o'z ichiga olgan evolventali profilning matematik modeli ishlab chiqildi. O'lchangan nuqtalardan nazariy evolventagacha bo'lgan minimal masofani topishning maqbul hisoblash xarajatlarida yetarli aniqlikni ta'minlaydigan samarali algoritmi taklif etilgan.

Muhokama. STEP-fayllardan geometrik ma'lumotlarni ajratib olish, nuqtalar bulutini filtrlash, alohida tish profilini ajratib olish va nazariy profilga nisbatan haqiqiy profilni tekislash bosqichlarini o'z ichiga olgan ma'lumotlarni qayta ishlash usuli shakllantirildi. Iteratsion birlashtirish algoritmini qo'llash profillarni qayd etishning yuqori aniqligiga erishish imkonini berishi ko'rsatilgan.

Xulosa. Statistik usullar va spektral yoyilmadan foydalangan holda tish profilining og'ishlarini tahlil qilish amalga oshirildi, bu esa nuqsonlarni, shu jumladan og'ish xatolarini, shakllarni va mahalliy shikastlanishlarni tasniflashga yondashuvni ishlab chiqish imkonini berdi. Usulning xatoligini baholash shuni ko'rsatdiki, o'lchashning umumiy xatosi 0,036 mm dan oshmaydi, bu 8-darajali aniqlikdagi tishli g'ildiraklarni nazorat qilish talablariga javob beradi. Bu esa ishlab chiqilgan usulning sanoat ishlab chiqarishi sharoitida amaliy qo'llanilishini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] Lipson, A. Z. (1978). Tishli uzatmalar: Ma'lumotnoma. Mashinasozlik.
- [2] Kalinin, V. N. (1986). Kontrol zubnykh kolesov. Standartizdat.
- [3] Tabachnikov, V. M. (1974). Tishli g'ildiraklar evolventometriyasi. Mashinasozlik.

- [4] Fedotov, A. I. (1984). Izmereniye parametrov zubnykh kolesov. Mashinasozlik.
- [5] Klingelberg GmbH. (2019). Gear metrology (Technical brochure).
- [6] Hoefler GmbH. (2020). Zahnradmesstechnik (Product catalog).
- [7] Goch, G. (2003). Gear metrology. CIRP Annals, 52(2), 659–695. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60206-8](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60206-8)
- [8] Smith, G. T. (2016). Machine tool metrology: An industrial handbook. Industrial Press.
- [9] Petrov, S. A. (2018). Opticheskiye metody kontrolya zubnykh kolesov. Izvestiya Vuzov. Priborostroyeniye, (6), 45–51.
- [10] Wang, J., & Zhang, Y. (2017). Optical measurement of gear tooth profile. Measurement Science and Technology, 28(8), 85–92.
- [11] Kozlov, A. V. (2020). Tishli ishlab chiqarishda raqamli texnologiyalar. Mekhatronika, Avtomatlashtirish, Boshqarish, 21(5), 278–285.
- [12] Radzevich, S. P. (2016). Dudley's handbook of practical gear design and manufacture. CRC Press.
- [13] Schultz, M., & Müller, R. (2004). Vision-based gear parameter identification. In Proceedings of SPIE (Vol. 5605, pp. 120–127).
- [14] Chen, X., & Li, W. (2019). Gear type classification using deep convolutional neural networks. IEEE Access, 7, 123456–123465.
- [15] Garcia, J., & Martinez, R. (2021). 3D scanning for gear wheel inspection. Precision Engineering, 67, 234–245.
- [16] Hexagon Manufacturing Intelligence. (2022). Gear metrology solutions (Technical review).
- [17] OpenGear Project. (2023). OpenGear repository. GitHub. GitHub Repository

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Jo'rayev, N. N., Ataulayev, A. O., Egamberdiyev, I. P., & Yaxshiyev, Sh. N. (2026). Mashinali ko'rish texnologiyalari asosida silindrik g'ildiraklarning evolvent tishlari profilini nazorat qilish usulini ishlab chiqish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.14>

UO‘K: 56.012.3

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.6

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

“YOSHLIK I” KONIDA QO‘LLANILAYOTGAN SBSH-250 MNA-32 BURG‘ILASH DASTGOHLARINING TEXNOLOGIK SAMARADORLIGI VA TOG‘ JINSI MASSIVNING FIZIK-MEXANIK TA‘SIRINI TADQIQ ETISH



**Xasanov Adham
Amankulovich**

Olmalik davlat texnika instituti,
Konchilik fakulteti, “Konchilik
ishi” kafedrası dotsenti, Olmalik,
O‘zbekiston
Science ID: FTV-1225-0014



**Eshankulova Kumushoy
Abdumanap qizi**

Olmalik davlat texnika instituti,
Konchilik fakulteti, “Konchilik
ishi” kafedrası magistranti,
Olmalik, O‘zbekiston



**Ergashev Ro‘zibek
Alisher o‘g‘li**

Olmalik davlat texnika instituti,
Konchilik fakulteti, “Konchilik
ishi” kafedrası magistranti,
Olmalik, O‘zbekiston



**Norbekov Islomjon
G‘ofurjon o‘g‘li**

Olmalik davlat texnika instituti,
Konchilik fakulteti, “Konchilik
ishi” kafedrası magistranti,
Olmalik, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada “Yoshlik I” konida qo‘llanilayotgan SBSH-250 MNA-32 burg‘ilash dastgohlarining texnik va texnologik imkoniyatlari hamda tog‘ jinsi massivining fizik-mexanik xossalari burchak jarayoniga ta‘siri o‘rganilgan. Tadqiqot davomida tog‘ jinslarining qattqlik koeffitsienti, siqilishga va siljishga bo‘lgan qarshilik ko‘rsatkichlari hamda burg‘ilash tezligi o‘rtasidagi bog‘liqlik tahlil qilindi. Protodyakonov shkalasi asosida tog‘ jinslarining burg‘ilanish qiyinchilik darajasi aniqlanib, SBSH-250 MNA-32 dastgohining optimal ish rejimlari asoslab berildi. Tadqiqot natijalari burg‘ilash uskunalari samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: “Yoshlik I” koni, SBSH-250 MNA-32, burg‘ilash dastgohi, tog‘ jinsi massivi, fizik-mexanik xossalari, burg‘ilash tezligi, qattqlik koeffitsienti, Protodyakonov shkalasi, siqilishga chidamlilik, siljishga qarshilik.

Received: 06.05.2026

Accepted: 15.05.2026

Published: 29.06.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЫХ УСТАНОВОК СБШ-250 МНА-32, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ЁШЛИК I», И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО МАССИВА

**Хасанов Адхам
Аманкулович**

Алмалыкский государственный
технический институт, Горный
факультет, доцент кафедры
«Горное дело», Алмалык,
Узбекистан

**Эшанкулова Кумушой
Абдуманап кизи**

Алмалыкский государственный
технический институт, Горный
факультет, магистрант
кафедры «Горное дело»,
Алмалык, Узбекистан

**Эргашев Рузибек
Алишер угли**

Алмалыкский государственный
технический институт, Горный
факультет, магистрант
кафедры «Горное дело»,
Алмалык, Узбекистан

**Норбеков Исламжон
Гофуржон угли**

Алмалыкский государственный
технический институт, Горный
факультет, магистрант
кафедры «Горное дело»,
Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В данной статье исследованы технические и технологические возможности буровых установок СБШ-250 МНА-32, применяемых на месторождении «Ёшлик I», а также влияние физико-механических свойств горного массива на процесс бурения. В ходе исследования проанализирована взаимосвязь между коэффициентом крепости горных пород, сопротивлением сжатию и сдвигу, а также скоростью бурения. На основе шкалы Протодеяконова определена категория трудности бурения пород и обоснованы оптимальные режимы работы буровой установки СБШ-250 МНА-32. Результаты исследования направлены на повышение эффективности буровых работ и снижение энергозатрат.

Ключевые слова: месторождение «Ёшлик I», СБШ-250 МНА-32, буровая установка, горный массив, физико-механические свойства, скорость бурения, коэффициент крепости, шкала Протодеяконова, сопротивление сжатию, сопротивление сдвигу.

INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF SBSH-250 MNA-32 DRILLING RIGS USED AT THE “YOSHLIK I” DEPOSIT AND THE PHYSICO-MECHANICAL IMPACT OF THE ROCK MASS

**Khasanov Adham
Amankulovich**

Almalyk State Technical Institute,
Faculty of Mining, Associate
Professor of the Mining
Department, Almalyk, Uzbekistan

**Eshankulova Kumushoy
Abdumanap kizi**

Almalyk State Technical Institute,
Faculty of Mining, Master's Student
of the Mining Department, Almalyk,
Uzbekistan

**Ergashev Ruzibek
Alisher ugli**

Almalyk State Technical Institute,
Faculty of Mining, Master's Student
of the Mining Department, Almalyk,
Uzbekistan

**Norbekov Islomjon
Gofurjon ugli**

Almalyk State Technical Institute,
Faculty of Mining, Master's Student
of the Mining Department, Almalyk,
Uzbekistan

Abstract. This article investigates the technical and technological capabilities of the SBSH-250 MNA-32 drilling rigs used at the “Yoshlik I” deposit, as well as the influence of the physico-mechanical properties of the rock mass on the drilling process. The study analyzes the relationship between the rock hardness coefficient, compressive and shear strength, and drilling speed. Based on the Protodyakonov scale, the drillability category of the rocks was determined, and the optimal operating modes of the SBSH-250 MNA-32 drilling rig were substantiated. The research results contribute to improving drilling efficiency and reducing energy consumption.

Keywords: “Yoshlik I” deposit, SBSH-250 MNA-32, drilling rig, rock mass, physico-mechanical properties, drilling speed, hardness coefficient, Protodyakonov scale, compressive strength, shear resistance.

Kirish. Ochiq kon ishlarida tog‘ jinlarini samarali parchalash – kon sanoatining eng asosiy texnologik jarayonlaridan biridir. “Yoshlik I” koni o‘zining qoyasimon jinlardan iborat massivi bilan ajralib turadi, bu esa burg‘ilash va portlatish ishlariga yuqori talablar qo‘yadi. Konning unumdorligini oshirish va tan narxini pasaytirishda zamonaviy burg‘ilash texnikalarini to‘g‘ri tanlash va ularning ish rejimlarini jins xususiyatlariga moslashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Ushbu maqolada “Yoshlik I” koni sharoitida “Rudgormash” SBSH – 250 MNA - 32 burg‘ilash dastgohlarining ekspluatatsiya parametrlari va samaradorligi tahlil qilindi.

“Yoshlik I” koni tog‘ jinsi massivi qoyasimon jinlardan tashkil topgan hisoblanadi. Konda ruda

va qoyasimon qatlam jinlarini yumshatish quduq (skvajina) zaryadlari yordamida amalga oshiriladi. Ruda va ustki qatlamlarda portlatish quduqlarini burg‘ilash uchun, bugungi kunda “Yoshlik I” konida “Rudgormash” zavodiga tegishli SBSH-250MN-32 rusumli (boshqa ishlab chiqaruvchilarning analoglari ham bo‘lishi mumkin) sharoshkali burg‘ilash dastgohlaridan foydalanish ko‘zda tutilgan. SBSH sharoshkali burg‘ilash dastgohlarini ekspluatatsiya qilishdagi ko‘p yillik va muvaffaqiyatli tajriba ushbu dastgohlardan “Yoshlik I” karyerida foydalanishni belgilab berdi.

SBSH-250MN-32 rusumli burg‘ulash uskunasi ochiq kon ishlarida professor Protodyakonov shkalasi bo‘yicha mustahkamligi 6-18 birlik bo‘lgan jinlarda texnologik portlatish quduqlarini

burg'lash uchun mo'ljallangan. Uskuna gusenitsali yurish qismi va uning ustiga o'rnatilgan mashinist kabinasi hamda mast (strelka) joylashgan mashina bo'limidan iborat. "Rudgormash SBSH-250MNA-32" (СБШ-250МНА-32) – bu Rudgormash kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan aylanma-zarbali burg'ulash dastgohining ishlashi ilmiy va texnik tamoyillarga asoslangan bo'lib, uning afzallik va kamchiliklari quyidagilardan iborat.

Afzalliklari: Dastgoh 250–270 mm diametrliligi va 29 metrdan 55 metrgacha bo'lgan chuqurlikdagi texnologik portlatish quduqlarini burg'ulashga mo'ljallangan. Bu, konchilikda tog' jinsining parchalanish koeffitsientini optimallashtirish va bitta portlash zaryadidan maksimal effekt olish imkonini beradi. U Professor Protodyakonov shkalasi bo'yicha $f=6$ dan 20 gacha bo'lgan (o'rtacha va juda qattiq) tog' jinslarida samarali ishlaydi. Kuchli aylanma mexanizm (90–120 kVt doimiy yoki o'zgaruvchan tok dvigatellari) va yuqori uzatish tezligi (0–3 m/min) tog' jinsining buzilishida yuqori energiya zichligini ta'minlaydi. Asosiy mexanizmlar (aylantiruvchi, harakatlantiruvchi) uchun yuqori kuchlanishli (masalan, 6000 V) yoki past kuchlanishli (380 V) elektr dvigatellaridan foydalanish esa:

a) an'anaviy dizel tizimlarga nisbatan operatsion xarajatlarni pasaytiradi (elektr energiyasi arzonroq).

b) atrof-muhitga chiqariladigan zararli gazlarni kamaytiradi (ayniqsa, butunlay elektrlashtirilgan konlarda).

c) doimiy tok dvigatellari keng diapazonda tezlikni ratsional boshqarish va katta yuklanishga chidamlilik imkonini beradi. Dastgohning konstruksiyasi -40 dan +50 C gacha bo'lgan harorat sharoitlarida ishlashga moslashtirilgan. Bu uning global miqyosdagi konlarda (shu jumladan O'zbekistonda) qo'llanilishi uchun muhim ilmiy-texnik yechimdir. CAN/ModBUS kabi ilg'or avtomatlashtirish yechimlari tizimni boshqarishni optimallashtiradi. Shovqin va tebranish izolyatsiyasiga ega qulay kabina esa operatorning psixofiziologik charchog'ini kamaytiradi va shu orqali uzoq muddatli ish samaradorligini oshiradi.

Kamchiliklari: Dastgohning og'irligi 80–110 tonna bo'lishi, uning ishlab chiqarish va sotib olish narxini sezilarli darajada oshiradi. Massivlik tufayli

uni bir joydan ikkinchi joyga transportirovka qilish (mobilizatsiya) murakkab va qimmat hisoblanadi. Dastgohning elektr yuritma bilan ishlashi uning barqaror va yuqori kuchlanishli elektr ta'minoti tarmog'iga qattiq bog'liqligini anglatadi. Elektr ta'minotidagi uzilishlar butun burg'ulash jarayonini to'xtatadi. Bu, o'z navbatida, kon ishlarining umumiy uzluksizligi uchun xavf tug'diradi. Aylanma-zarbali burg'ulash texnologiyasi va kuchli kompressor (masalan, 44 m/min) ishlatilishi, garchi suvli changni bostirish tizimi mavjud bo'lsa ham, yuqori akustik shovqin darajasini va ma'lum miqdordagi aerogen chang hosil bo'lishini anglatadi, bu esa atrof-muhit va ishchi salomatligi uchun muammolar tug'diradi. Elektr, gidravlik va mexanik qismlarning kombinatsiyasi texnik xizmat ko'rsatish talabini oshiradi. Ayniqsa, doimiy tok dvigatellari va boshqaruv tizimlari maxsus malaka va ehtiyotkorlikni talab qiladi (bazi modellar AC yuritmalarga o'tgan). Maksimal harakat tezligi 0 dan 1,8km/soat gacha. Katta kon maydonlarida dastgohning skvajinadan skvajinaga o'tish vaqti ish vaqtining samaradorligini qisman pasaytirishi mumkin.

1-jadval

"Rudgormash SBSH-250MNA-32" (СБШ-250МНА-32) burg'ulash dastgohining texnik tavsifi.

Nomlanishi	O'lchov birligi	SBSH-250/270 KP "Rudgormash"
Burg'ulash usuli	-	Aylanma
Quduq diametri	mm	230;250;270;310
Burg'ulash chuqurligi	m	29,0
Burg'ulash chuqurligining aylanish chastotasi	ayl/min	0-120
Uzatish kuchi	t(kN)	40(392)
Kompressor unumdorligi	m ³ /min	50
Siqilgan havo uzatish (bosimi)	kg/sm ² (bar)	7.15
Yuritma (privod) turi	-	Elektr
Dizel dvigateli quvvati	kVt (l.s)	-
Ta'minlovchi kuchlanish	V	6 000 (3 fazali, 50 Gts)
Massasi	t	110,0
Tushirilgan machta bilan uzunligi	m	19,0
Kengligi	m	6.5
Tushirilgan machta bilan balandligi	m	7.1

Burg'ulash stanogining unumdorligini topish uchun bizga kerakli bo'lgan tog' jinsining siqilishga chidamlilik chegarasi σ_{sj} ; tog' jinsining siljishga bo'lgan chidamliligi σ_{sd} ; tog' jinsi zichligi γ ;

burgilash stavining aylanish chastotasi n_v ; o'qqa beriladigan optimal kuch P_0 kabi ko'rsatgichlarni aniqlab olishimiz kerak bo'ladi.

Tog' jinsi massivining Protodyakonov bo'yicha qattqlik koeffitsienti (f) va uning bir o'qli siqilishga bo'lgan mustahkamligi σ_{sj} o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri bog'liqlik mavjud. Konchilik ishlarida, xususan, "Yoshlik I" kabi yirik konlarda burg'lash rejimi va portlatish ishlarini loyihalashda ushbu bog'liqlikdan keng foydalaniladi. Mixail Protodyakonov tomonidan taklif etilgan klassik empirik formulaga ko'ra, tog' jinlarining siqilishga chidamlilik chegarasi (MPa o'lchov birligida) qattqlik koeffitsienti orqali aniqlanadi.

Agar tog' jinsi massivining qattqligi 8-16 oralig'ida bo'lsa, siqilishga bo'lgan chidamlilik ko'rsatgichi quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_{sj} = f * 100 \text{ (kg/sm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{sj} = 8 * 100 = 800 \text{ kg/sm}^2 = 80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sj} = 10 * 100 = 1000 \text{ kg/sm}^2 = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sj} = 12 * 100 = 1200 \text{ kg/sm}^2 = 120 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sj} = 14 * 100 = 1400 \text{ kg/sm}^2 = 140 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sj} = 16 * 100 = 1600 \text{ kg/sm}^2 = 160 \text{ MPa}$$

"Yoshlik I" konidagi tog' jinsi massivi uchun siqilishga bo'lgan chidamlilik chegarasi tog' jinsi massivi qattqligidan kelib chiqib, 80MPa dan 160MPa gacha oralig'ida o'zgarib boradi.

Konchilik mexanikasida tog' jinlarining siljishga bo'lgan qarshiligi odatda ularning siqilishdagi mustahkamligining bir qismini tashkil etadi. "Yoshlik I" koni sharoitidagi jinlar uchun bu nisbat quyidagicha aniqladi:

$$\sigma_{sd} \approx (0.1 \div 0.2) * \sigma_{sj}$$

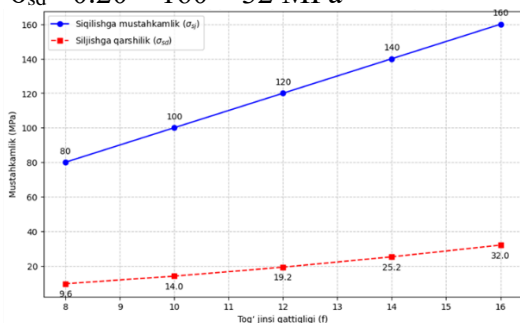
$$\sigma_{sd} \approx 0.12 * 80 \approx 9.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} \approx 0.14 * 100 \approx 14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} \approx 0.16 * 120 \approx 19.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} \approx 0.18 * 140 \approx 25.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} \approx 0.20 * 160 \approx 32 \text{ MPa}$$



I-rasm. "Yoshlik I" konining fizik-mexanik xossalari o'zaro bog'liqligining grafik tasviri.

Chiziqli bog'liqlik: Qattqlik koeffitsienti (f) oshishi bilan siqilishga mustahkamlik to'g'ri chiziqli o'sadi.

Notekis o'sish: Siljishga qarshilik σ_{sd} qiymatlari koeffitsient o'zgarishi (0.12 dan 0.20 gacha) hisobiga eksponentsialroq tus oladi. Bu kon sharoitida qattqiroq jinlarda siljish jarayonlari murakkablashishini anglatadi.

Amaliy ahamiyati: Burg'ulash rejimini tanlashda 80 MPa dan 160 MPa gacha bo'lgan diapazonda qurilmaning yemirilish tezligi va energiya sarfi aynan shu siljishga qarshilik koeffitsientlarining o'zgarishiga bog'liqlik tadqiqot natijasida aniqlandi.

Tadqiqot natijasida aniqlab olingan siqilishga va siljishga bo'lgan chidamlilik chegaralaridan hamda tog' jinsi massivining zichligidan foydalangan holda "Yoshlik I" koni sharoitida tog' jinsining burg'ulanish ko'rsatgichini aniqlab olamiz.

$$P_b = 0.07 * (\sigma_{sj} + \sigma_{sd}) + 0.7 * \gamma$$

O'rganilayotgan konimizda asosiy hajmni tashkil etuvchi jinlar qattqligini $f=12$ deb qabul qilib, σ_{sj} va σ_{sd} larning qiymatlarini 1-rasmdagi grafik natijalaridan qabul qilib olamiz.

$$\sigma_{sj} = 120 \text{ MPa;}$$

$$\sigma_{sd} = 19.2 \text{ MPa;}$$

$$\gamma = 2.6;$$

$$P_b = 0.07 * (120 + 19.2) + 0.7 * 2.6 = 11.6$$

Natija $P_b=11.6$ ga teng bo'lganligi uchun "Yoshlik I" tog' jinsi massivi III sinf qiyin burg'ulanuvchi tog' jinlari sinfiga kirishi aniq bo'ldi.

Tog' jinlarining burg'ulanish qiyinchiligi ko'rsatgichi hamda burg'ulash dastgohi stavining aynalish chastotasi qiymatlaridan foydalanilgan holda burg'ulash dastgohining burg'ulash tezligi topiladi.

Tog' jinsining burg'ulash qiyinchiligi ko'rsatgichiga bog'liq bo'lgan k koeffitsient ko'rsatgichi, burg'ulash qiyinchiligi ko'rsatgichi P_b , dolota diametric d_D (sm) dan foydalanib o'qqa beriladigan eng optimal kuchni topib olamiz:

$$P_0 \geq k * P_b * d_D$$

Bu formulani $f=12$ bo'lgan holatga moslab hisoblab olamiz

$$P_0 \geq k * P_b * d_D = 0.741 * 11.6 * 25 = 214.9 \text{ kN}$$

Burg'ulash tezligini topamiz:

$$V_b = (3.5 * P_0 * n_v) / (P_b * d_D^2)$$

$$V_b = (3.5 * 214.9 * 120) / (11.6 * 25^2) = 12.4 \text{ m/soat} = 0.207 \text{ m/minut}$$

n_v -burg'ilash dastgohi stavining aylanish-chastotasi (m/minut)

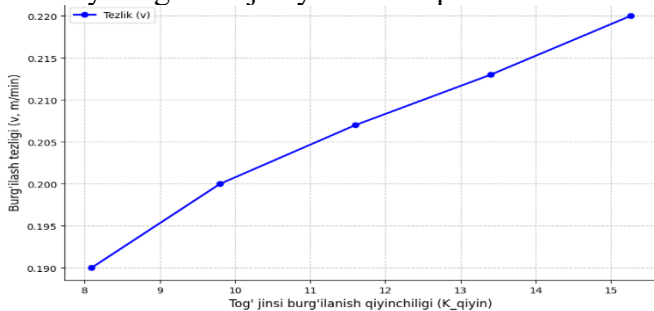
Yuqoridagi hisoblash ko'rinishi orqali $f=8-12$ gacha bo'lgan qiymatlari hisoblanib grafik tasvirga joylab olindi. Burg'ilash dastgohining burg'ilash tezligi tog' jinsining burg'ilanish qiyinchiligi ko'rsatgichiga mos holatda o'zgarib boradi. Natijalarni quyidagi grafik tasvir orqali ko'rishimiz mumkin.

“Yoshlik I” konidagi tog' jinslarining qattqlik koeffitsienti ($f=8-16$) va siqilishga bo'lgan mustahkamligi ($\sigma_{sj} = 80-160 \text{ MPa}$) hisobga olinganda, ushbu jinslar murakkab burg'ilanuvchi toifaga kiradi. SBSH-250MNA-32 dastgohi o'zining elektr yuritmasi va yuqori aylanish momenti (0-120 ayl/min) bilan ushbu qattiq jinslarda samarali ishlash imkonini beradi. Tadqiqot jarayonida olingan natijalar:

Bog'liqlik tahlili: Tog' jinsining qattqligi oshishi bilan burg'ilash tezligining pasayishi chiziqli bo'lmagan xarakterga ega. Xususan, $f=12$ bo'lgan holatda burg'ilash tezligi $v = 0.207 \text{ m/min}$ ekanligi aniqlandi.

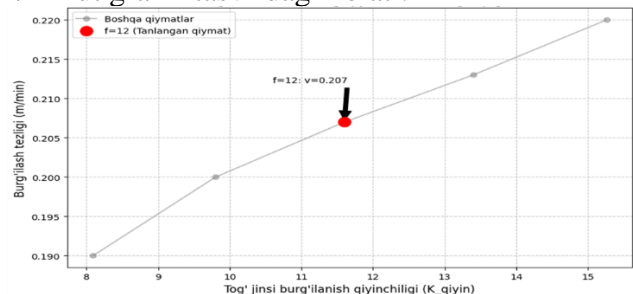
Texnik yechimlar: Dastgohning elektrlashtirilgan tizimi operatsion xarajatlarni kamaytirish bilan birga, atrof-muhitga ta'sirni minimallashtiradi. Biroq, dastgohning yuqori massasi (110 tonna) va elektr tarmog'iga bog'liqligi mobilizatsiya jarayonlarida ma'lum cheklovlarni keltirib chiqaradi.

Optimizatsiya: O'qqa beriladigan optimal kuchni ($P_0 \geq 214.9 \text{ kN}$) to'g'ri belgilash burg'ilash asbobining (dolota) yemirilishini kamaytiradi va umumiy burg'ilash jarayonini barqarorlashtiradi.



2-rasm. “Yoshlik I” konida burg'ilash dastgohining burg'ilash tezligi tog' jinsi massivining burg'ilanish qiyinchiligiga bog'liqligining grafik tasviri.

“Yoshlik I” konining asosiy hajmni tashkil etuvchi tog' jinsi massivini burg'ilashda burg'ilash dastgohi “Rudgormash SBSH-250MNA-32”ning $f=12$ bo'lganda burg'ilash tezligining $v=0.207 \text{ m/minut}$ grafik tasvirdagi holati.



3-rasm. “Yoshlik I” konida tog' jinsi massivining qattqlik ko'rsatgicgi $f=12$ bo'lgan holatda burg'ilash dastgohining burg'ilash tezligi qiymatining grafik tasviri.

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, “Yoshlik I” koni sharoitida SBSH-250MNA-32 burg'ilash dastgohlaridan foydalanish texnik va iqtisodiy jihatdan asoslangan. Protodyakonov shkalasi bo'yicha $f=12$ qattqlikka ega jinslar uchun burg'ilash jarayonini 0.207 m/min tezlikda olib borish optimal hisoblanadi. Tog' jinsi massivining fizik-mexanik xossalari burg'ilash dastgohining unumdorligi va texnik holatiga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi. Tog' jinsining qattqligi (Protodyakonov shkalasi bo'yicha) burg'ilash jarayonining asosiy cheklovchi omilidir. Qattqlik koeffitsienti ortishi bilan jinsning siqilishga va siljishga bo'lgan qarshiligi eksponentsial ravishda o'sib boradi, bu esa burg'ilash tezligining pasayishiga va asbob (dolota)ning tezroq yemirilishiga olib keladi. Jins massivi qancha mustahkam bo'lsa, burg'ilash asbobini jinsga kirib borishini ta'minlash uchun shunchalik yuqori o'qqa beriladigan kuch va aylanish momenti talab etiladi. Noto'g'ri tanlangan kuch (kam bo'lsa – asbob "sirpanadi", ko'p bo'lsa – asbob sinadi) dastgohning mexanik qismlariga (reduktor va uzatmalar qutisi) ortiqcha yuklama beradi. Tog' jinsining zichligi burg'ilash jarayonida hosil bo'lgan maydalangan jins (shlam) ni quduqdan chiqarib tashlash samaradorligiga ta'sir qiladi. Yuqori zichlikdagi jinslarda shlam og'irroq bo'ladi, bu esa kompressordan yuqori bosim va havo oqimi unumdorligini talab qiladi. Tog' jinsining fizik-mexanik xossalari burg'ilash rejimini

tanlashda (aylanish chastotasi va uzatish kuchi) boshqaruvchi omil hisoblanadi. “Yoshlik I” koni kabi qoyasimon jinslar ustunlik qiladigan hududlarda burg‘ilash dastgohlarining ishonchli ishlashi va yuqori unumdorlikka erishish uchun, jinsning fizik-mexanik xossalarini monitoring qilish (laboratoriya tahlillari), olingan ma’lumotlar asosida burg‘ilash rejimini avtomatik moslashtirish,

asboblarni (dolota) tog‘ jinsining turi va qattiqligiga qarab tanlab ishlatish zarur. Tadqiqot natijasida taklif etilgan yondashuv yuqorida keltirilgan omillarni kompleks hisobga olish burg‘ilash dastgohining resursini 15-20% ga uzaytirish, hamda 1 metr burg‘ilangan quduq uchun ketadigan elektr energiyasi va sarf materiallari xarajatlarini optimallashtirish imkonini beradi.


FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] Томаков, П. И., & Наумов, И. К. (1992). Ochiq kon ishlari texnologiyasi, mexanizatsiyasi va kon ishlarini tashkil qilish (M. J. Normatova, Tarj.). Moskva konchilik instituti nashriyoti.
- [2] Shadiyev, M. I., & Satibaldiyev, B. M. (2014). Konchilik va burg‘ilash uskunalari. Faylasuflar nashriyoti.
- [3] Хасанов, А. А., & Хожикулов, Х. Т. (2024). Горнотехнические условия эксплуатации месторождений «Ёшлик I» и «Кальмакыр» и выбор способа отработки. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 2(2), 31–38.
- [4] Хасанов, А. А. (2022). Состояние добычи и переработки вольфрамowych руд и концентратов в мировой практике. Journal of Advances in Engineering Technology, (1), 68–71.
- [5] Khasanov, A., Khasanov, U., Toshtemirov, U., Abdurakhmanov, D., & Melnikova, T. (2024). Studying the condition of tungsten-containing man-made waste in the territory of Uzbekistan. E3S Web of Conferences, 538, 03023.
- [6] Mutalova, M., Khasanov, A., Toshtemirov, U., Melnikova, T., & Yuldashava, N. (2024). Modern technology for enrichment of tailings from an enrichment plant processing tungsten ores. E3S Web of Conferences, 538, 01002.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Xasanov, A. A., Eshankulova, K. A., Ergashev, R. A., & Norbekov, I. G. (2026). “YOSHLIK I” KONIDA QO‘LLANILAYOTGAN SBSH-250 MNA-32 BURG‘ILASH DASTGOHLARINING TEXNOLOGIK SAMARADORLIGI VA TOG‘ JINSI MASSIVINING FIZIK-MEXANIK TA‘SIRINI TADQIQ ETISH. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.6>

UO‘K: 621.43.038.5:622

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.9

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

KON MASHINALARINING ICHKI YONUV DVIKATELLARI UCHUN SO‘RILUVCHI HAVONI TOZALASH SAMARADORLIGINI OSHIRISH



**Kayumov Umidjon
Erkinovich**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti,
“Konchilik elektr mexanikasi”
kafedrası, katta o‘qituvchisi,
Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: kayumov_umidjon@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-2147-8973
Science ID: MNV-0426-0004



**Xatamova Dilshoda
Normurodovna**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti,
“Konchilik ishi” kafedrası t.f.d.
professori, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: dilyon_hat@bk.ru
ORCID ID: 0009-0002-8336-9884
Science ID: DNV-0925-0004



**Pardayeva Shahlo
Saxibjonovna**

Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, “Hayot
faoliyati xavfsizligi” kafedrası v.b.
dotsenti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail:
pardayevashahlo33@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-4847-6901
Science ID: FNV-0426-0003

Annotatsiya. Ochiq kon ishlari sharoitida ichki yonuv dvigatellari yuqori konsentratsiyadagi abraziv chang muhitida ishlaydi, bu esa silindr-porshen guruhining jadal yedirilishiga, dvigatel quvvatining pasayishiga, yoqilg‘i sarfining ortishiga hamda dvigatel resursining qisqarishiga olib keladi. Mazkur maqolada so‘rish havosi tarkibidagi chang zarrachalarining dispers tarkibi va konsentratsiyasining dvigatelning asosiy birikmalari ya‘ni silindr – porshen – halqa holatiga, moy plyonkasi parametrlariga hamda kuch qurilmasining ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta‘sir komplekslari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, o‘lchami 5–20 mkm bo‘lgan zarrachalar eng katta xavf tug‘dirib, tezlashgan abraziv yedirilish hamda yonish kamerasining germetikligi yomonlashishiga sabab bo‘lishi aniqlangan. Nazariy va ekspluatatsion ma‘lumotlar asosida kirish havosini tozalash samaradorligini oshirish zarurati ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Ishda ko‘p bosqichli kombinatsiyalashgan havo filtri konstruksiyasi ishlab chiqilib taklif etilgan bo‘lib, u multitsiklonli dastlabki tozalash, ikki bosqichli elektrostatik filtr hamda standart filtrlovchi element orqali yakuniy tozalash jarayonlarini o‘z ichiga oladi. Taklif etilgan tizim 0,1–20 mkm o‘lchamdagi zarrachalarni past aerodinamik qarshilik sharoitida ushlab qolishni ta‘minlab, umumiy tozalash samaradorligini 95% gacha oshiradi.

Kalit so‘zlar: ichki yonuv dvigateli, havo filtri, havoning ifloslanishi, yedirilish, silindr, porshen, porshen halqalari, chang zarrachasi, yedirilish jadalligi, dvigatel resursi, dvigatel quvvati, filtratsiya, abraziv zarrachalar, ko‘p bosqichli tozalash, multitsiklon, elektrostatik filtrlash.

Received: 15.05.2026

Accepted: 03.06.2026

Published: 29.06.2026

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВПУСКНОГО ВОЗДУХА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

**Каюмов Умиджон
Эркинович**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, старший
преподаватель кафедры «Горная
электромеханика», Навои,
Узбекистан

**Хатамова Дилшода
Нормуродовна**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, кафедра «Горное
дело», доктор технических наук
(DSc), профессор, Навои,
Узбекистан

**Пардаева Шахло
Сахибжоновна**

Навоийский государственный
университет горного дела и
технологий, и.о. доцента
кафедры «Безопасность
жизнедеятельности», Навои,
Узбекистан

Аннотация. В условиях открытых горных работ двигателя внутреннего сгорания эксплуатируются в среде с повышенной концентрацией абразивной пыли, что приводит к интенсивному износу цилиндра-поршневой группы, снижению мощности, увеличению расхода топлива и сокращению ресурса двигателя. В статье выполнен комплексный анализ влияния дисперсного состава и концентрации пылевых частиц во впускном воздухе на трибологическое состояние основных узлов двигателя, параметры масляной плёнки и эксплуатационные показатели силовой установки. Показано, что наибольшую опасность представляют частицы размером 5–20 мкм, вызывающие ускоренный абразивный износ и ухудшение герметичности камеры сгорания. На основе теоретических и эксплуатационных данных обоснована необходимость повышения эффективности очистки впускного воздуха.

Разработана и предложена конструкция многоступенчатого комбинированного воздушного фильтра, включающего мультициклонную предварительную очистку и двухступенчатую электростатическую сепарацию с последующей доочисткой стандартным фильтрующим элементом. Предлагаемая схема обеспечивает улавливание частиц в широком диапазоне размеров (0,1–20 мкм) при низком аэродинамическом сопротивлении и повышает общую эффективность очистки до 95%. Применение разработанной системы позволяет снизить интенсивность износа цилиндра-поршневой группы, увеличить ресурс базового фильтра и двигателя в целом, уменьшить удельный расход топлива и повысить надёжность эксплуатации горных машин в условиях высокой запылённости.

Ключевые слова: Двигатель внутреннего сгорания, воздушный фильтр, загрязнение воздуха, износ, цилиндр, поршень, кольца, частица пыли, интенсивность износа, ресурс ДВС, мощность ДВС, фильтрация, абразивные частицы, многоступенчатая очистка, мультициклон, электростатическая фильтрация, ресурс двигателя.

ENHANCEMENT OF INTAKE AIR FILTRATION EFFICIENCY FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF MINING EQUIPMENT

**Kayumov Umidjon
Erkinovich**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Senior Lecturer
of the Department of Mining
Electromechanics, Navoi,
Uzbekistan

**Khatamova Dilshoda
Normurodovna**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Department of
Mining Engineering, Doctor of
Technical Sciences (DSc),
Professor, Navoi, Uzbekistan

**Pardayeva Shahlo
Saxibjonovna**

Navoi State University of Mining
and Technologies, Acting Associate
Professor of the Department of Life
Safety, Navoi, Uzbekistan

Abstract. Under open-pit mining conditions, internal combustion engines operate in environments with a high concentration of abrasive dust, which leads to intensive wear of the cylinder–piston group, power reduction, increased fuel consumption, and a decrease in engine service life. This paper presents a comprehensive analysis of the influence of the particle size distribution and concentration of dust in the intake air on the tribological condition of key engine components, the parameters of the oil film, and the operational performance of the power unit. It is shown that particles with sizes of 5–20 μm pose the greatest risk, causing accelerated abrasive wear and deterioration of combustion chamber sealing. Based on theoretical considerations and operational data, the necessity of improving the efficiency of intake air purification is substantiated.

A design of a multi-stage combined air filtration system is developed and proposed, including multicyclone pre-cleaning, two-stage electrostatic separation, and final purification using a conventional filter element. The proposed system ensures effective capture of particles within a wide size range (0.1–20 μm) under low aerodynamic resistance and increases the overall filtration efficiency up to 95%. The implementation of the developed system makes it possible to reduce the wear rate of the cylinder–piston group, extend the service life of both the base filter and the engine as a whole, decrease specific fuel consumption, and improve the operational reliability of mining machines under high-dust conditions.

Keywords: *internal combustion engine, air filter, air pollution, wear, cylinder, piston, piston rings, dust particles, wear rate, engine service life, engine power, filtration, abrasive particles, multi-stage filtration, multicyclone, electrostatic filtration, engine durability.*

Kirish. Hozirgi vaqtda qulay geologik sharoitlarda va yuqori gorizontlarda joylashgan ko'plab foydali qazilma konlari zaxiralarning kamayib borishi sababli, yangi zaxiralarni qazib olish jarayonlarini jadallashtirish zarurati yuzaga kelmoqda. Biroq foydali qazilmalar zaxiralarning aksariyati katta chuqurliklarda va murakkab geologik sharoitlarda joylashgan bo'lib, bu ularni qazib olish va tashish jarayonlarini ancha murakkablashtiradi [1].

Foydali qazilma konlarini samarali o'zlashtirish va belgilangan ishlab chiqarish rejalarini bajarishda ichki yonuv dvigatellari bilan jihozlangan mashina va mexanizmlarning roli nihoyatda muhimdir. Shu bilan birga, ularning ekspluatatsion ishonchligini ta'minlash hamda resurslarni tejash dolzarb muammolar qatoriga kiradi.

Ichki yonuv dvigatellarini yuqori changlangan havo muhitida ekspluatatsiya qilish ularning texnik holati va xizmat muddatiga jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Ma'lumki, havoda qattiq zarrachalarning, ayniqsa o'lchami 10 mkm dan kichik bo'lgan mayda dispers fraksiyalarning mavjudligi abraziv va korroziyaviy-mexanik yedirilish jarayonlarini sezilarli darajada tezlashtiradi.

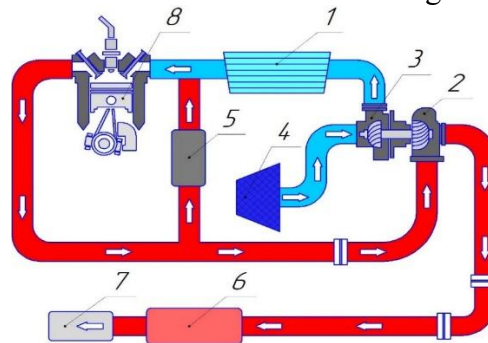
Harakatlanish jarayonida avtotransport vositalari atrof-muhit havosini o'ziga tortadi, bunda havo tarkibida ma'lum miqdorda chang mavjud bo'ladi. Quruq ob-havo sharoitida uning konsentratsiyasi taxminan 60–70 mg/m³ ga yetadi, chang tarkibiga esa kalsiy, temir, kremniy oksidlari va boshqa komponentlar kiradi [2].

Chang zarrachalari tarkibidagi kremniy oksidi (kvarts)ning sirt qattiqligi yuqori sifatli po'latlarning qattiqligidan qariyb 2 baravar yuqori. O'rta quvvatli dvigatel bir soat davomida taxminan 3000 m³ havo so'rib oladi. Havo tozalash tizimi mavjud bo'lmagan sharoitda, bir ish smenasi davomida

dvigatel silindrlariga bir necha kilogrammgacha chang kirib borishi mumkin. Qattiq zarrachalar silindrlar, porshenlar va boshqa ishqalanadigan detallarni intensiv yedirilishiga sabab bo'lib, natijada dvigatelning xizmat muddati sezilarli darajada qisqaradi.

Materiallar va usullar. Burg'ilash-portlatish, ekskavatsiya va transport jarayonlarida hosil bo'ladigan mineral chang yuqori abraziv xususiyatga ega. Chang zarrachalarining o'lchami 1 dan 100 mkm gacha o'zgaradi. Ayniqsa, o'lchami 10 mkm dan kichik bo'lgan mayda dispers fraksiyalar xavfli hisoblanadi, chunki ular havo tizimlarining filtrlovchi elementlaridan o'tib ketishi va silindr-porshen guruhiga yemiruvchi ta'sir ko'rsatishi mumkin.

1-rasmda ichki yonuv dvigateling kirish tizimining funksional tuzilmasi va uning elementlari majmuasi keltirilgan bo'lib, unda dvigatelga havo bilan kirib kelgan chang zarrachalarining asosiy birikmalari bilan o'zaro ta'siri ko'rsatilgan.



1-rasm. Ichki yonuv dvigateling kirish tizimining funksional tuzilmasi.

1 – havo sovitgichi (interkuler), 2 – turbina, 3 – kompressor, 4 – havo filtri, 5 – EGR tizimi, 6 – dizel DPF filtri, 7 – shovqin so'ndirgichi, 8 – ichki yonuv dvigateli.

Yuqori changlangan sharoitlarda ichki yonuv dvigatellari o'rtacha 15–18% gacha quvvat

yo'qotadi, bu esa silindr-porshen guruhi detal-
larining abraziv yedirilishi bilan izohlanadi.
Ifloslantiruvchi zarrachalar silindrga kirib, qattiq
abraziv sifatida ta'sir ko'rsatadi va silindr devorlari,
porshen halqalari, porshen vtulkalari hamda asosiy
podshipniklarning yedirilishini tezlashtiradi.
Natijada gazlarning sizib chiqishi ortadi, siqilish
darajasi pasayadi va mexanik yo'qotishlar ulushi
oshadi [3,4].

Bundan tashqari, motor moyining abraziv
zarrachalar bilan ifloslanishi natijasida uning
xossalari yomonlashadi, ishqalanish kuchlari ortadi,
bu esa dvigatel quvvatining pasayishiga olib keladi.

Changli muhitda havo qabul qilish tizimi tez
ifloslanadi, filtrlar o'zining o'tkazuvchanlik
qobiliyatini yo'qotadi. Bu esa kirish qismida
qarshilikning ortishiga olib keladi.



2-rasm. Karyer avtosamosvalining havo filtrining
ifloslanish darajasi.

A) – ekspluatatsiyadan oldin; B) – 50 moto-soat ishlagandan
keyin.

Yuqorida keltirilgan rasmda ko'rinib
turibdiki, 50 moto-soat ekspluatatsiya davomida
havo filtri to'liq ifloslangan, holbuki uning xizmat
muddati 250 moto-soatni tashkil etadi, ya'ni filtr
resursi 5 baravarga qisqargan.

Chang zarrachalari silindr – porshen guruhiga
kirib borgach, ularning tarkibidagi qattiq
komponentlar tufayli motor moyi bilan
moylanadigan uzal yuzalarida abraziv yedirilish
jarayonlarini keltirib chiqaradi.

Mazkur uzellarning to'g'ri va uzoq muddatli
ishlashi moylash muhitining mavjudligi bilan
ta'minlanadi. Moylash tizimi ajratuvchi plyonka
hosil qilib, ishqalanishdagi mexanik yo'qotishlarni
kamaytiradi hamda ushbu elementlarning yedirilish
intensivligini sezilarli darajada pasaytiradi.

Qattiq mineral zarrachalar so'rilayotgan havo
bilan birga silindrga kirib, gilza, porshen va porshen

halqalari ishchi yuzalari orasidagi tirqishlarga
tushadi, kontakt zonasiga singib kiradi, ishqalanish
sharoitlarini buzadi va bir – biri bilan
ta'sirlashayotgan elementlarning abraziv yedirilishini
sezilarli darajada tezlashtiradi.

O'lchamlari moy plyonkasining minimal
qalinligi h_{min} dan kichik bo'lgan mayda dispers
chang zarrachalari porshenning qaytma-ilgarilanma
harakati jarayonida porshen halqalari bilan silindr
orasidagi tirqishlarga kirib boradi.

“Porshen – porshen halqasi – silindr” birikma
ishchi yuzalari bilan kontaktga kirishganda, bunday
abraziv muhit bir – biri bilan ta'sirlashayotgan
elementlar materiallari tuzilmasining jadal
yedirilishiga olib keladi.

O'zgaruvchan aylanish tezligi va
yuklamalarda ishlovchi ichki yonuv dvigatelida
moy plyonkasining minimal qalinligi h_{min} vaqt
bo'yicha o'zgaruvchi kattalik hisoblanadi. U
moylash materialining qovushqoqligi η bilan
belgilanadi, bu esa ishchi muhit haroratiga bog'liq
bo'ladi, juftlangan yuzalarning nisbiy harakat
tezligi v_w ga bog'liq hamda dvigatel elementlariga
ta'sir etuvchi yuklama N ga teskari proporsionaldir.

$$h_{min} = C \cdot \frac{\eta \cdot v_w}{N} \quad (2)$$

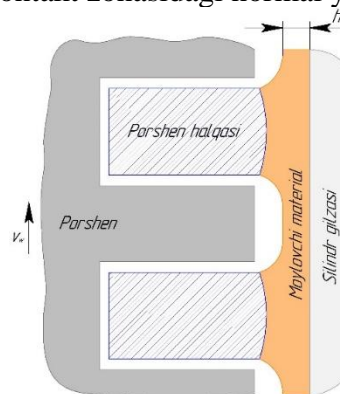
bu yerda:

C – bir – biri bilan ta'sirlashayotgan
elementlarning geometrik o'lchamlari va
parametrlarini hisobga oluvchi koeffitsiyent;

η – moylash materialining dinamik
qovushqoqligi, Pa·s;

v_w – yuzalarning nisbiy sirpanish tezligi, m/s;

N – kontakt zonasidagi normal yuklama, N.



3-rasm. Porshen – porshen halqalari – silindr
juftligida moy plyonkasining hosil bo'lishi.

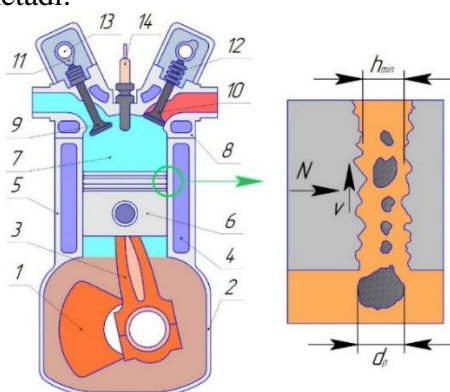
Ushbu nisbat dvigatelning turli ish rejimlarida
moy plyonkasining qalinligi o'zgarish dinamikasini

miqdoriy baholash hamda chegaraviy moylanish sharoitlarining yuzaga kelishini oldindan aytish imkonini beradi.

3-rasmda porshen–porshen halqalari–silindr juftligida moy plyonkasining hosil bo‘lish jarayoni keltirilgan.

Ichki yonuv dvigatellarining standart ishqalanish elementlarida moy plyonkasining qalinligi keng oraliqlarda o‘zgarib turadi. Bu holat dvigatel yuklamasi, aylanish tezligining o‘zgaruvchanligi hamda moy haroratining o‘zgarishi bilan bog‘liq. Odatdagi ish sharoitlarida moy plyonkasining minimal qalinligi h_{min} qiymatlari odatda 0,5 dan 50 mkm gacha bo‘lgan oraliqda kuzatiladi.

Abrziv yedirilish quyidagi holatlarda yuzaga keladi: ta’sir etuvchi yuklama N ortishi natijasida — ya’ni mexanik yuklamaning oshishi, haroratning ko‘tarilishi yoki moyning yopishqoqligi kamayishi tufayli — o‘zaro ta’sirlashuvchi sirtlar orasidagi masofa minimal qiymatgacha yaqinlashadi va $d_p \geq h_{min}$ sharti bajariladi (4-rasm). Chang zarrachalari, odatda, notekis shaklga ega bo‘lib, o‘tkir ko‘p qirrali qirralar bilan tavsiflanadi. Bunday zarrachalar ishqalanayotgan sirtlarda tiralishlar hosil qiladi, yoriqsimon izlar paydo qiladi hamda metallning mikroskopik zarrachalarini ajratib chiqaradi. Ushbu metall zarrachalari keyinchalik dvigatel birikmalarini tashkil etuvchi elementlar materialining tuzilmasiga singib ketadi.



4-rasm. “Porshen – porshen halqalari – silindr” birikmalarining chang mineral zarrachalari bilan o‘zaro ta’sir zonasining sxematik modeli.

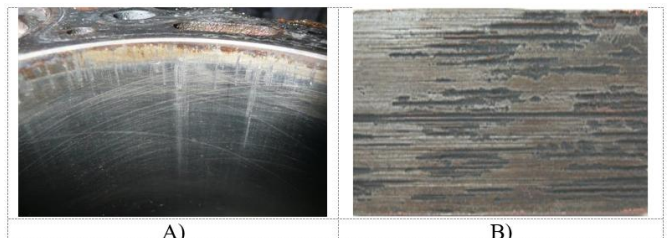
1 – tirsakli val, 2 – karter, 3 – shatun, 4 – sovituvchi suyuqlik, 5 – silindrlar bloki, 6 – porshen, 7 – yonish kamerasi, 8 – silindrlar bloki kallagi, 9 – kirish klapani, 10 – chiqish klapani, 11 – kulachok, 12 – klapan prujinalari, 13 – taqsimlash vali, 14 – forsunka.

Moy plyonkasining qalinligi tebranishlari natijasida, uning ichida joylashgan chang zarrachalari parchalanib, yanada mayda fragmentlarga bo‘linishi mumkin. Hosil bo‘lgan mayda zarrachalar sirtlar orasidagi tirqishlarga, ayniqsa moy plyonkasi qalinligi minimal bo‘lgan zonalariga kirib boradi. Bu esa abraziv yedirilish ehtimolini sezilarli darajada oshiradi.

“Porshen – porshen halqalari – silindr” uzelinig changning mineral zarrachalari bilan o‘zaro ta’sir zonasining sxematik modeli 4-rasmda keltirilgan. Dvigatel birikmalarida moy plyonkasining minimal qalinligi yuzaga kelishi sababli, o‘lchami 1 mkm dan katta bo‘lgan barcha chang zarrachalari elementlarning tezlashgan abraziv yedirilishiga olib keladi.

Natijalar va muhokama. Silindr gilzasi va porshen halqalarining ishchi yuzalarining yedirilishi yonish kamerasining germetikligini buzilishiga olib keladi, bu esa siqilayotgan ishchi muhitning sizib chiqishiga sabab bo‘ladi. Natijada siqish takti oxiridagi bosim pasayadi, yoqilg‘i-havo aralashmasining alanganish sharoitlari yomonlashadi hamda dvigatelning samarali quvvati kamayadi.

Shu bilan birga, ishchi siklning termodinamik samaradorligi pasayishi hisobiga yoqilg‘ining solishtirma sarfi ortishi kuzatiladi.



5-rasm. Ichki yonuv dvigateli silindri ishchi yuzalarining xos yedirilish turlari.

A) – silindr ishchi yuzasining abraziv yedirilishi; B) – chang zarrachalarining uzoq muddat ta’siri natijasida yuzaning mikrorelyefi.

“Porshen – porshen halqalari – silindr” tizimida radial va o‘q bo‘ylab tirqishlarning ortishi ishlatilgan gazlarning dvigatel karteriga o‘tishini kuchaytiradi. Ushbu jarayon moyning harorati oshishiga, uning termo-oksidlanish asosida tezroq eskirishiga hamda moylash xossalari pasayishiga olib keladi.

Bundan tashqari, gaz oqimi moy bug‘lari va tomchilarining olib chiqib ketilishiga sabab bo‘ladi, bu esa moy sarfining ortishiga va chiqarish taktining

ifloslanishiga olib keladi.

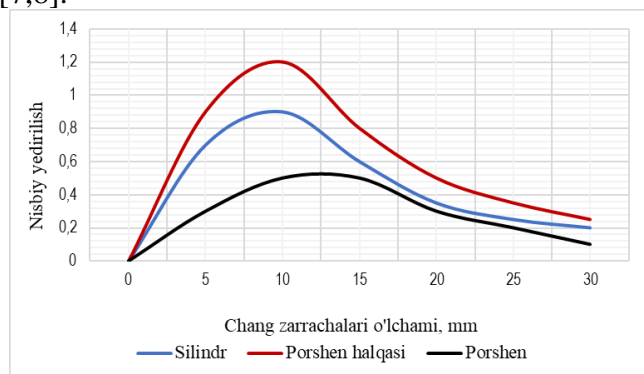
5-rasmda silindr yuzasining xos yeyilish turlari keltirilgan.

Hozirgi kunda ichki yonuv dvigatellarida havo filtrlari qo'llanilishi amaliyoti shuni ko'rsatadiki, filtrlash tizimlari o'lchami 10 mkm gacha bo'lgan zarrachalarni samarali ushlab qoladi, biroq undan mayda zarrachalar filtr orqali o'tib ketadi.

Bundan tashqari, har bir tozalash siklidan so'ng filtrning mayda dispers zarrachalarni ushlab qolish qobiliyati pasayib boradi.

So'rilayotgan havodagi chang zarrachalari o'lchami bilan silindrlar, porshenlar va porshen halqalarining yedirilish darajasi o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri bog'liqlik mavjud.

Quyida 6-rasmda chang zarrachalari o'lchamiga bog'liq holda silindrlar, porshenlar va porshen halqalarining nisbiy yedirilishi ko'rsatilgan [7,8].



6-rasm. Chang zarrachalari o'lchamiga bog'liq holda nisbiy yeyilishning o'zgarishi.

Yuqorida keltirilgan grafikda yirik zarrachalar bilan bog'liq past darajadagi yedirilish ularning abraziv xossalari pastligi bilan emas, balki filtr tomonidan samarali ushlab qolinishi bilan izohlanadi.

Porshen halqalari chegaraviy ishqalanish sharoitida ishlaydi va nihoyatda sezgir elementlar hisoblanadi, shu sababli ularning yedirilish ko'rsatkichlari yuqori bo'ladi.

Shuningdek, silindrning kontakt yuzasi katta bo'lganligi sababli bu yerda abraziv yedirilish ham sezilarli darajada namoyon bo'ladi.

Porshenning nisbatan kam yedirilishi esa uning silindr bilan to'liq emas, balki davriy ta'sirlanishi bilan izohlanadi. Bu holat moy plyonkasining qayta tiklanishiga va zarrachalarning

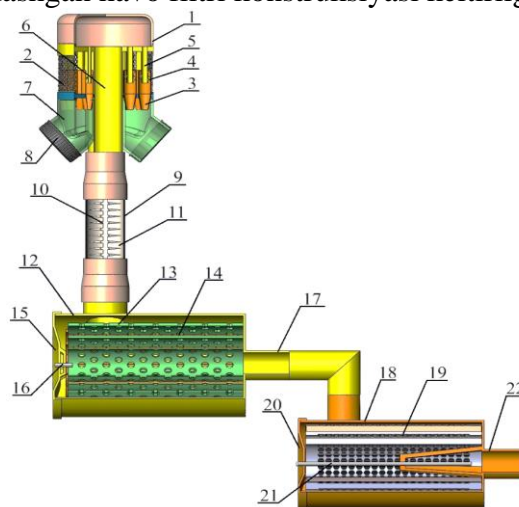
moy bilan birga olib chiqib ketilishiga imkon beradi [9].

O'lchami 1 mkm dan katta bo'lgan chang zarrachalari abraziv yedirilishni keltirib chiqaradi, biroq eng katta ta'sir 5–12 mkm oraliqdagi zarrachalarda kuzatiladi.

Shunday qilib, ichki yonuv dvigatellarining ishlash samaradorligi va ishonchliligini oshirish havo filtrlash tizimini takomillashtirish orqali amalga oshirilishi mumkin. Shu munosabat bilan havoni samarali tozalashni ta'minlaydigan yangi, innovatsion havo filtrlari konstruksiyalarini yaratish zarurati yuzaga keladi.

Havo filtrining samaradorligini va xizmat muddatini oshirish, shuningdek ichki yonuv dvigateliga chang zarrachalarining kirib kelishini kamaytirish maqsadida ko'p bosqichli havo filtrlash qurilmasini qo'llash taklif etiladi. Ushbu qurilma multitsiklonli va elektrostatik filtrlarda dastlabki tozalash prinsipi asosida ishlaydi.

7-rasmda ichki yonuv dvigatellarida qo'llash uchun mo'ljallangan ko'p bosqichli kombinatsiyalashgan havo filtri konstruksiyasi keltirilgan.



7-rasm. Ko'p bosqichli kombinatsiyalashgan havo filtri.

1 – multitsiklonli havo filtri, 2 – setka, 3 – siklon, 4 – uyurma hosil qiluvchi element, 5 – quvur, 6 – so'ruvchi havo yo'li, 7 – chang yig'gich, 8 – qopqoq, 9 – birlamchi elektrostatik filtr korpusi, 10 – ignasimon sterjen elektrod, 11 – silindrsimon metall quvur, 12 – yakuniy elektrostatik filtr korpusi, 13 – metall plastina ko'rinishidagi elektrod, 14 – ignasimon sterjen elektrod, 15 – qopqoq, 16 – sterjen, 17 – havo yo'li, 18 – havo filtri, 19 – filtrlavchi element, 20 – qopqoq, 21 – sterjen, 22 – dvigatelga havo yetkazib beruvchi quvur.

Ko'p bosqichli kombinatsiyalashgan havo filtri quyidagicha ishlaydi: dvigatelga so'rilayotgan

havo avval multitsiklonli havo filtri (1) ning setkalari (2) orqali o'tib, siklonlarga (3) kiradi. Bu yerda havo uyurma hosil qiluvchi qurilma (4) yordamida aylantiriladi va havo oqimidan yirik chang zarrachalari ajratilib, chang yig'gichda (7) to'planadi.

Tozalangan havo siklonning chiqish trubkasi (5) orqali so'ruvchi havo yo'li (6) orqali dvigatelga yo'naltiriladi va birlamchi elektrostatik filtrga (9) kiradi. Ushbu filtrda havodagi mayda chang zarrachalari dastlabki elektr zaryad oladi, ularning bir qismi silindrsimon quvur (11) devorlarida ushlab qolinadi, qolgan asosiy qismi esa yakuniy elektrostatik filtrga (12) yo'naltiriladi.

Elektrostatik filtr quyidagicha ishlaydi: filtr (12) ichida kuchlanish beriladigan elektrodlar (13, 14) joylashgan. Ifloslangan havo ushbu zonadan o'tganda, chang zarrachalari elektr zaryadiga ega bo'ladi.

Keyinchalik havo oqimi cho'ktiruvchi elektrodlar (14) orasidagi hududga kiradi, bunda elektrodning biri musbat, ikkinchisi esa manfiy zaryadlangan bo'ladi. Elektr maydoni ta'sirida zaryadlangan chang zarrachalari havo oqimidan og'ib, qarama-qarshi zaryadga ega elektrodlanga tortiladi.

Natijada zarrachalar elektrodlar yuzasiga cho'kadi va elektrostatik kuchlar ta'sirida chang qatlami ko'rinishida ushlab turiladi.

Mayda chang zarrachalaridan tozalangan havo oqimi havo yo'li (17) orqali asosiy havo filtri (18) ga yo'naltiriladi va undan keyin ichki yonuv dvigatelining silindriga uzatiladi.

Xulosa: Multitsiklon va elektrostatik filtr asosida ishlovchi kombinatsiyalashgan havo filtri ichki yonuv dvigatellari uchun, ayniqsa ifloslangan

muhitlarda ishlashda, eng samarali havo tozalash sxemalaridan biri hisoblanadi. Uning afzalligi inertsia va elektrostatik tozalash usullarining uyg'unlashuvi bilan izohlanadi.

Multitsiklon 8–20 mkm o'lchamdagi yirik va o'rta zarrachalarni samarali ajratib olsa, elektrostatik filtr odatiy filtrlarda ushlanmaydigan 0,1–2 mkm oraliqdagi mayda dispers zarrachalarni ushlab qoladi. Natijada havo filtrlash samaradorligini 95% gacha oshirish imkoniyati yuzaga keladi.

Multitsiklonlarda tozalash jarayoni filtrlovchi material ishtirokisiz, markazdan qochma kuchlar hisobiga amalga oshiriladi, elektrostatik filtrda esa qarshilik hosil qiluvchi zich g'ovakli tuzilma mavjud emas. Shu sababli bosim yo'qotishlari va gidravlik qarshiliklar juda kichik bo'ladi.

Bunday filtrlardan asosiy havo filtridan oldin foydalanilganda yuzaga keladigan gidravlik qarshiliklar filtr o'lchamlarini va havo o'tkazuvchi kanallarning kesimini kattalashtirish orqali kamaytiriladi.

Ishlab chiqilgan ko'p bosqichli kombinatsiyalashgan havo filtridan foydalanish multitsiklon yordamida changning asosiy qismini ajratib tashlash hisobiga asosiy havo filtrining xizmat muddatini oshirish imkonini beradi. Bu, ayniqsa, ichki yonuv dvigatellarini kuchli changlangan sharoitlarda ekspluatatsiya qilishda dolzarb hisoblanadi hamda silindr–porshen guruhining yedirilishini kamaytiradi hamda ularning xizmat muddatini uzaytiradi.

Shuningdek, havoning samarali tozalanishi yoqilg'ining to'liq yonishini ta'minlaydi, bu esa yoqilg'ining solishtirma sarfini kamaytirishga olib keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] Teng, G., Shi, G., & Zhu, J. (2022). Influence of pleated filter geometry on pressure drop during dust loading: Experimental and modeling study. *Scientific Reports*, 12, 20331. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20331>
- [2] Allam, S., & Mimi Elsaid, A. (2020). Factors affecting fuel economy in vehicles and optimization criteria for pleated air filter design to improve internal combustion diesel engine performance: Experimental and CFD approaches. *Separation and Purification Technology*, 241, 116680. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116680>
- [3] Dziubak, T. (2024). Experimental testing of filter materials for two-stage air intake systems of internal combustion engines. *Energies*, 17(11), 2462. <https://doi.org/10.3390/en17112462>

- [4] Kayumov, U. E., & Pardaeva, Sh. S. (2025). BELAZ kon samosvallarida ichki yonuv dvigatellari ishlashiga changning ta'siri. *Universum: Tekhnicheskie Nauki*, 2(8), 64–69.
- [5] Donaldson Company. (n.d.). Air cleaners, service parts and accessories for engines. <https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/engine-hydraulics-bulk/catalogs/air-intake/emea/f116005/Air-Intake-Product-Guide.pdf>
- [6] Seok, J., Chun, K. M., Song, S., & Lee, S. (2015). Filtration behavior of metal fiber filters as a function of pore size and fiber diameter. *Journal of Aerosol Science*, 81, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2014.11.006>
- [7] Sun, Z., Liang, Y., He, W., Jiang, F., Song, Q., Tang, M., & Wang, J. (2019). Filtration efficiency and loading capacity of nanostructured composite filter media for applications under high soot concentration conditions. *Separation and Purification Technology*, 221, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.03.049>
- [8] Kayumov, U. E., Pardaeva, S. S., & Akhmedov, A. S. (2025). Ochiq kon sharoitida ishlayotgan BELAZ samosvallarida dizel yoqilg'isi sarfining ortishiga olib keluvchi texnologik va ekspluatatsion omillarning kompleks tahlili. *Modern Education and Development*, 26(5), 154–158.
- [9] Pardaeva, S., Kayumov, U., & Kaxharov, O. (2025). Karyer sharoitida ishlayotgan BELAZ samosvallarida dizel yoqilg'isi sarfining ortishiga ta'sir etuvchi omillar tahlili. *Namangan Muhandislik-Tehnologiya Instituti Ilmiy-Texnik Jurnali*, 10(1), 237–243.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Kayumov, U. E., Xatamova, D. N., & Pardayeva, Sh. S. (2026). Kon mashinalarining ichki yonuv dvigatellari uchun so'riluvchi havoni tozalash samaradorligini oshirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.9>

UO‘K: 622.765:622.7

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.26

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

POLIMETALL RUDALARNI BOYITISHDA KOMBINATSIYALASHGAN TEXNOLOGIYANING SAMARADORLIGINI TADQIQ ETISH



**Sidiqov Ravshan
Mirzabekovich**

“OKMK” AJ 1-mis boyitish
fabrikasi direktori, Olmaliq,
O‘zbekiston

E-mail: r.sidikov@agmk.uz
ORCID ID: 0009-0010-4251-8187
Science ID: BTV-0852-0008



**Ergashev Mahmud
Axbaraliyevich**

Olmaliq davlat texnika instituti
tayanch doktranti, Olmaliq,
O‘zbekiston

E-mail: mahmude423@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-3067-0412
Science ID: MTV-0425-0012



**Axmadaliyev Alisher
Madaminovich**

OKMK AJ 1-mis boyitish fabrikasi
bosh muhandisi, Olmaliq,
O‘zbekiston

E-mail: a.ahmadaliyev@agmk.uz
ORCID ID: 0009-0009-4358-8144
Science ID: BTV-0521-0020



**Abdurazakov Ulug‘bek
Mamayusub o‘g‘li**

OKMK AJ Innovatsion
texnologiyalarni ishlab chiqarish va
tadqiq etish markazi, Mis- molibden
ma‘danlarini boyitish bo‘limi
boshlig‘i, Olmaliq, O‘zbekiston

E-mail: Abdurazoqovulugbek75@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-3435-9167
Science ID: BTV-0626-0003

Annotatsiya. Ushbu maqolada polimetall rudalarni boyitishda gravitatsion va flotatsion usullarni ketma-ket qo‘llash asosida rangli hamda nodir metallarni ajratib olish samaradorligi o‘rganilgan. Tadqiqotda spiralli klassifikatordan olingan mahsulot dastlab KNELSON konsentratorida gravitatsion boyitilib, erkin oltin va og‘ir minerallarning dastlabki konsentratsiyalanishi ta‘minlandi. Keyingi bosqichda sulfidli minerallar flotatsiya usulida ajratildi, flotatsiya chiqindilari esa konsentratsion stolda qo‘shimcha boyitildi. Olingan natijalar gravitatsion–flotatsion kombinatsiyalashgan texnologiya qimmatbaho komponentlarning ajratib olish darajasini oshirish, metall yo‘qotilishlarini kamaytirish hamda polimetall rudalarni kompleks qayta ishlash samaradorligini yaxshilashini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: polimetall ruda, KNELSON konsentratori, gravitatsion boyitish, flotatsiya, spiralli klassifikator, konsentratsion stol, sulfid minerallari, kompleks qayta ishlash, metall ajratib olish, boyitish texnologiyasi.

Received: 06.05.2026

Accepted: 28.05.2026

Published: 29.06.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ

ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

**Сидиков Равшан
Мирзабекович**

Директор 1-й медно-
обогащительной фабрики АО
«АГМК», Алмалык, Узбекистан

**Эргашев Махмуд
Ахбаралиевич**

Базовый докторант
Алмалыкского государственного
технического института,
Алмалык, Узбекистан

**Ахмадалиев Алишер
Мадаминович**

Главный инженер 1-й медно-
обогащительной фабрики АО
«АГМК», Алмалык, Узбекистан

**Абдуразаков Улугбек
Мамаясуб угли**

Начальник отдела обогащения
медно-молибденовых руд Центра
разработки и внедрения
инновационных технологий АО
«АГМК», Алмалык, Узбекистан

Аннотация. В статье исследована эффективность извлечения цветных и редких металлов из полиметаллических руд на основе комбинированного применения гравитационных и флотационных методов обогащения. В качестве объекта исследования использован продукт спирального классификатора, который на первом этапе подвергался гравитационному обогащению в концентраторе KNELSON для предварительной концентрации свободного золота и тяжёлых минералов. На следующем этапе сульфидные минералы извлекались методом флотации, а флотационные хвосты дополнительно обогащались на концентрационном столе. Полученные результаты показали, что комбинированная гравитационно-флотационная технология способствует повышению степени извлечения ценных компонентов, снижению потерь металлов и повышению эффективности комплексной переработки полиметаллических руд.

Ключевые слова: полиметаллическая руда, концентратор KNELSON, гравитационное обогащение, флотация, спиральный классификатор, концентрационный стол, сульфидные минералы, комплексная переработка, извлечение металлов, технология обогащения.

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF COMBINED TECHNOLOGY FOR POLYMETALLIC ORE BENEFICIATION

**Sidikov Ravshan
Mirzabekovich**

Director of Copper Concentrator
No. 1, Almalyk Mining and
Metallurgical Complex JSC
(AMMC), Almalyk, Uzbekistan

**Ergashev Makhmud
Axbaraliyevich**

PhD Researcher, Almalyk State
Technical Institute, Almalyk,
Uzbekistan

**Akhmadaliyev Alisher
Madaminovich**

Chief Engineer of Copper
Concentrator No. 1, Almalyk
Mining and Metallurgical Complex
JSC (AMMC), Almalyk, Uzbekistan

**Abdurazakov Ulugbek
Mamayusub ugli**

Head of the Copper-Molybdenum
Ore Beneficiation Department,
Innovation Technologies
Development and Implementation
Center, Almalyk Mining and
Metallurgical Complex JSC
(AMMC), Almalyk, Uzbekistan

Abstract. This paper investigates the efficiency of recovering base and rare metals from polymetallic ores through the combined application of gravity and flotation beneficiation methods. The feed material obtained from a spiral classifier was first processed in a KNELSON gravity concentrator to achieve the preliminary concentration of free gold and heavy minerals. Subsequently, sulfide minerals were recovered by flotation, while the flotation tailings were further upgraded using a shaking table. The results demonstrate that the combined gravity-flotation processing scheme enhances the recovery of valuable components, reduces metal losses, and improves the overall efficiency of complex polymetallic ore beneficiation.

Keywords: polymetallic ore, KNELSON concentrator, gravity concentration, flotation, spiral classifier, shaking table, sulfide minerals, complex processing, metal recovery, mineral processing technology.

Kirish. Hozirgi vaqtda jahon kon-metallurgiya sanoatida rangli va nodir metallarni kompleks ajratib olish, texnogen chiqindilarni qayta ishlash hamda metall yo‘qotilishlarini kamaytirish ustuvor ilmiy-amaliy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Elektronika, aerokosmik sanoat, qayta tiklanuvchi energetika, akkumulyator texnologiyalari va yuqori texnologik ishlab chiqarishning rivojlanishi mis (Cu), oltin (Au), kumush (Ag), molibden (Mo), nikel (Ni), reniy (Re), palladiy (Pd), selen (Se) va tellur (Te) kabi rangli hamda nodir metallarga bo‘lgan talabni keskin oshirmoqda [1].

Shu bilan birga, boyitish fabrikalarida qo‘llanilayotgan an‘anaviy flotatsiya texnologiyalarida foydali komponentlarning ma‘lum qismi texnogen chiqindilar tarkibida yo‘qotilmoqda. Xususan, polimetall rudalarni qayta ishlashda misning 10–15 % gacha, oltin va kumushning esa 30–40 % gacha qismi boyitish chiqindilariga o‘tib ketishi kuzatiladi. Bu esa chiqindixonalarni ikkilamchi mineral xomashyo manbai sifatida qayta baholashni talab etmoqda.

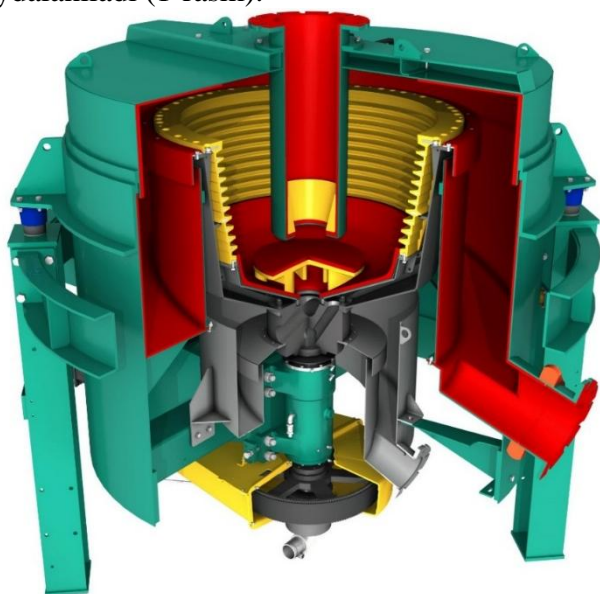
Adabiyotlar tahlili va metodlar. So‘nggi yillarda markazdan qochma gravitatsion boyitish texnologiyalari – ayniqsa KNELSON va FALCON

konsentratorlari ushbu muammoning istiqbolli yechimi sifatida qaralmoqda. Ushbu uskunalar "Enhanced Gravity Separation (EGS)" sinfiga kirib, mayda va ultramayda zarrachalar tarkibidagi og'ir minerallarni ushlab qolish imkonini beradi.

Gravitatsion boyitish usullari mineral zarrachalarning zichligi farqiga asoslangan eng qadimgi boyitish texnologiyalaridan biridir. Biroq klassik gravitatsion usullar mayda fraksiyali zarrachalarni samarali ushlab qolish imkoniyatiga ega emas edi [1-2].

XX asr oxirlarida markazdan qochma gravitatsion texnologiyalar ishlab chiqildi va ular orasida KNELSON konsentratori eng keng tarqalgan uskunalarga aylandi.

KNELSON konsentratori asosan Kanada, Avstraliya, AQSH, Janubiy Afrika Respublikasi, Rossiya, Xitoy, Qozog'iston, Braziliya, Peru, Mo'g'uliston, Chili va Tanzaniya kabi davlatlarda keng qo'llaniladi. Kanada KNELSON texnologiyasining yaratilgan davlati hisoblanib, bu yerda oltin va polimetall rudalarni gravitatsion boyitishda keng foydalaniladi. Avstraliyada Cadia, Sunrise Dam va Rosebery kabi yirik konlarda joriy etilgan. Janubiy Afrika Respublikasida esa oltin va platina guruhi metallari konlarida qo'llaniladi. Rossiya va Qozog'istonda oltin, mis, qo'rg'oshin-rux hamda polimetall rudalarini boyitishda foydalaniladi (1-rasm).



1-rasm. KNELSON konsentratorining umumiy ko'rinishi.

KNELSON konsentratorining asosiy afzalligi

uning erkin oltin, og'ir minerallar va yirikroq zarrachalarni ajratishda yuqori samaradorlikka ega ekanligidir. Ushbu qurilma markazdan qochma kuch va fluidizatsion suv oqimi asosida ishlashi sababli oltin, kumush, qalay, volfram, mis, qo'rg'oshin-rux va ayrim sulfid minerallarini yuqori aniqlik bilan ushlab qoladi. KNELSON texnologiyasi flotatsiyadan oldingi gravitatsion boyitish bosqichida konsentrlash imkonini beradi, natijada flotatsiya yuklamasi kamayadi va umumiy boyitish ko'rsatkichlari yaxshilanadi. Bundan tashqari, ushbu texnologiya dunyoning ko'plab oltin konlarida sinovdan o'tgan bo'lib, sanoatda ishonchliligi yuqori hisoblanadi [3].

Biroq KNELSON konsentratorining kamchiliklari ham mavjud. Avvalo, juda mayda va ultranazik zarrachalar (<20–30 mkm) bilan ishlashda samaradorlik pasayadi. Bundan tashqari, qurilma fluidizatsion suvdan foydalanganligi sababli suv sarfi nisbatan yuqori bo'ladi. Texnogen va yuqori dispersli chiqindilar qayta ishlashda esa ayrim hollarda samaradorligi cheklanishi mumkin.

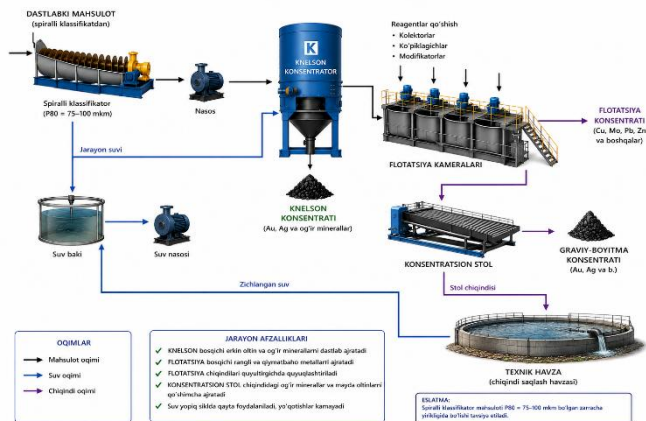
Olmalik kon-metallurgiya kombinatida ma'dan va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda FALCON texnologiyasining ahamiyati yanada yuqori hisoblanadi. Mis boyitish fabrikasi chiqindilarida Cu, Mo, Au, Ag hamda Ni mavjudligi sababli ushbu texnologiya texnogen xomashyoni qayta ishlash uchun istiqbolli hisoblanadi [3].

Biroq FALCON konsentratorining kamchiliklari ham mavjud. Yirik va erkin zarrachalarni ajratishda KNELSON bilan solishtirganda samaradorligi ayrim hollarda pastroq bo'lishi mumkin. Yuqori aylanish tezligi sababli uskunaning mexanik qismlariga yuklama ortadi va texnik xizmat ko'rsatish talabi kuchayadi. Bundan tashqari, erkin oltinni dastlabki bosqichda ajratishda KNELSON ko'pincha ustunlik qiladi.

Umuman olganda, KNELSON konsentratori erkin oltin va og'ir minerallarni ajratish uchun, FALCON konsentratori esa texnogen chiqindilar, ultranazik zarrachalar va tailinglarni qayta ishlash uchun samaraliroq hisoblanadi. Shu sababli Olmalik kon-metallurgiya kombinati sharoitida esa eng istiqbolli variant sifatida KNELSON + flotatsiya kombinatsiyalashgan sxemasi tavsiya etiladi. Ushbu yondashuv mis, oltin, kumush, molibden, nikel, reniy, palladiy, selen va tellur kabi rangli hamda nodir metallarning yo'qotilishini kamaytirish va

ularni kompleks ajratib olish samaradorligini oshirish imkonini beradi [4-5].

Natijalar. Yuqoridagi izlanishlar natijasida quyidagi sxema bo'yicha laboratoriya sinovlari o'tkazildi.



2-rasm. Ma'danni aralash usulda qayta ishlash sxemasi.

Tajriba sxemasida dastlabki mahsulot spiralli klassifikatordan kelgan quyilma sifatida qabul qilinadi. Bunday yondashuv yanchish-klassifikatsiya konturidan keyingi mahsulot tarkibida hali ochilgan, lekin flotatsiyaga yuborilishidan oldin gravitatsion usul bilan ajratib olinishi mumkin bo'lgan erkin oltin va og'ir sulfid zarrachalari mavjudligi bilan asoslanadi.

Sxema quyidagi ketma-ketlikda tashkil etiladi: spiralli klassifikator mahsuloti → nasos orqali KNELSON konsentratori → KNELSON konsentrati va oraliq oqim → oraliq oqim → flotatsiya kameralari → flotatsiya konsentrati va chiqindi → chiqindi → konsentratsion stol → konsentratsion stol konsentrati va chiqindi → chiqindi → texnik havza.

Tajriba uchun spiralli klassifikatordan chiqqan, P80=75-100 mkm atrofida bo'lgan namuna qabul qilindi. Bunday fraksiya flotatsiyaga texnologik jihatdan mos bo'lishi bilan birga, gravitatsion ajratish uchun ham ma'lum darajada qulay hisoblanadi. Namuna tarkibida mis sulfidli minerallari, erkin va bog'langan oltin zarrachalari, kumush saqlovchi sulfidlar hamda temirli minerallar mavjud deb baholandi.

Namuna avval yaxshilab aralashtirildi va ajratib olindi. Keyin pulpa tayyorlandi, uning qattiq faza ulushi 30–40% oralig'ida ushlab turildi. KNELSON konsentratoriga berishdan oldin

mahsulotning yirik zarrachalari nazorat qilindi, chunki yirik fraksiyalar konsentrator ichki oqim rejimini buzishi mumkin. KNELSON bosqichida erkin oltin, og'ir sulfid minerallari va yuqori zichlikka ega zarrachalar konsentratga ajratildi.

1-jadval

Dastlabki mahsulotning laboratoriya tavsifi

Ko'rsatkich	Qiymat
Namuna massasi	10,0 kg
Granulometrik ko'rsatkich	P80 = 75–100 mkm
Cu miqdori	0,34 %
Au miqdori	0,43 g/t
Ag miqdori	1,30 g/t
Pulpa qattiq fazasi	30–40 %

KNELSON oraliq mahsuloti flotatsiya kameralari orqali o'tkazildi. Flotatsiyada kollektor, ko'piklagich va muhitni tartibga soluvchi modifikatorlardan foydalanish nazarda tutildi. Flotatsiya jarayonidan chiqindini ham konsentratsion stoldan o'tkazildi. Bundan maqsad chiqindiga chiqib ketgan foydali komponentlarni ham samarali va to'liq ajratish edi. Konsentratsion stoldan olingan graviy-boyitma keying ishlab chiqarish bosqichiga, chiqindi esa texnik havzaga yuborildi. Bunda hosil bo'lgan texnik chiqindida rangli va nodir metallarning ulushi juda past ko'rsatkichlarda bo'ldi [5].

2-jadval

Bosqichlar bo'yicha massaviy va kimyoviy ko'rsatkichlar

Mahsulot	Massa, kg	Cu, %	Au, g/t	Ag, g/t	Cu, g	Au, mg	Ag, mg	Cu, %	Au, %	Ag, %
Dastlabki mahsulot (spiralli klassifikatordan)	100,0	0,34	0,45	1,8	34,0	4,5	18,0	100	100	100
KNELSON konsentrati	0,3	1,5	30	104,2	0,45	0,90	3,13	1,32	20	17,37
Flotatsiya konsentrati	1,6	17,87	14	58,5	28,60	2,24	9,36	84,10	49,78	52
Konsentratsion stol konsentrati	0,1	0,5	5	13,1	0,05	0,05	0,13	0,15	1,11	0,73
Umumiy konsentrat	2,0	14,5	15,95	63,08	29,10	3,19	12,62	85,57	70,89	70,09
Yakuniy chiqindi	98,0	0,05	0,13	0,55	4,90	1,31	5,38	14,43	29,11	29,91

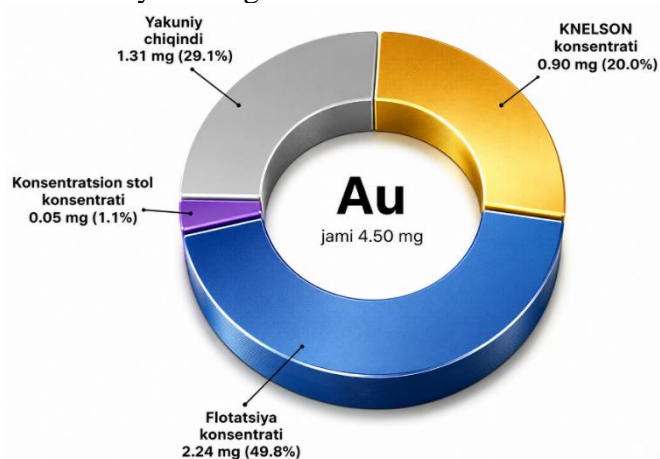
Muhokama. 2-jadvalda keltirilgan natijalar kombinatsiyalashgan KNELSON – flotatsiya – konsentratsion stol texnologiyasining polimetall rudalarni boyitishdagi yuqori samaradorligini ko'rsatadi. Dastlabki mahsulot tarkibida 34,0 g mis, 4,5 mg oltin va 18,0 mg kumush mavjud bo'lib, tajriba davomida ushbu qiymatbaho komponentlarning asosiy qismi konsentrat mahsulotlarida jamlangan.

KNELSON gravitatsion boyitish bosqichida umumiy massaning atigi 0,3 kg qismi konsentrat sifatida ajratilgan bo'lsa-da, unda 0,90 mg oltin va 3,13 mg kumush to'plangan. Bu oltinning 20,0 % va

kumushning 17,37% qismini dastlabki bosqich-dayoq ajratib olish imkonini berganligini ko'rsatadi. KNELSON konsentratidagi oltin miqdorining 30 g/t ga yetishi markazdan qochma gravitatsion boyitish erkin oltin va og'ir minerallarni samarali ushlab qolishini tasdiqlaydi.

Flotatsiya bosqichi texnologiyaning asosiy boyitish jarayoni bo'lib xizmat qilgan. Flotatsiya konsentratida 28,60 g mis, 2,24 mg oltin va 9,36 mg kumush jamlangan. Natijada misning 84,10%, oltinning 49,78% va kumushning 52,0% qismi aynan ushbu mahsulotga o'tgan. Bu sulfidli minerallarni flotatsiya usuli bilan samarali ajratish mumkinligini ko'rsatadi.

Flotatsiya chiqindilarini qo'shimcha ravishda konsentratsion stolda boyitish natijasida yana 0,05 mg oltin, 0,13 mg kumush va 0,05 g mis ajratib olingan. Mazkur bosqich chiqindida qolgan og'ir va qimmatli minerallarni qayta tiklash imkonini yaratib, umumiy metall ajralib olish ko'rsatkichlarini yaxshilagan.



3-rasm. KNELSON+floatatsiya+konsentratsion stol texnologiyasida oltin (Au) taqsimlanishi.

Umumiy hisobda olingan konsentrat mahsulotlarida 29,10 g mis, 3,19 mg oltin va 12,62 mg kumush jamlangan bo'lib, ularning ajralib olish darajasi mos ravishda 85,57% Cu, 70,89% Au va 70,09% Ag ni tashkil etgan. Yakuniy chiqindida esa misning 14,43 %, oltinning 29,11% va kumushning 29,91% qismi qolgan. Bu esa kombinatsiyalashgan texnologiya natijasida foydali komponentlarning katta qismi konsentrat mahsulotlarida jamlanganligini hamda metall yo'qotilishlari sezilarli darajada kamayganligini tasdiqlaydi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari KNELSON va flotatsiya

jarayonlarini ketma-ket qo'llash polimetall rudalardan mis, oltin va kumushni kompleks ajratib olish samaradorligini oshirishini hamda boyitish jarayonining umumiy texnologik ko'rsatkichlarini yaxshilashini ko'rsatadi.

Xulosa. O'tkazilgan laboratoriya tadqiqotlari natijalariga ko'ra, spiralli klassifikatordan olingan dastlabki mahsulotni KNELSON konsentrat – flotatsiya – konsentratsion stol kombinatsiyalashgan texnologik sxemasi asosida qayta ishlash polimetall rudalar tarkibidagi mis, oltin, kumush hamda boshqa qimmatli komponentlarni samarali ajratib olish imkonini berishi aniqlandi.

Tajriba jarayonida P80=75-100 mkm granulometrik tarkibli mahsulot dastlab KNELSON konsentratiga berildi. Gravitatsion boyitish natijasida erkin oltin va yuqori zichlikka ega bo'lgan og'ir minerallarning dastlabki konsentratsiyalanishi ta'minlandi. Bu esa qimmatli komponentlarning bir qismini boyitish jarayonining ilk bosqichidayoq ajratib olish imkonini yaratib, keyingi flotatsiya jarayoniga tushadigan yuklamani kamaytirdi hamda texnologik sxemaning umumiy samaradorligini oshirdi.

Flotatsiya bosqichida sulfidli mis, oltin va kumush tutuvchi minerallarni selektiv ajratish natijasida yuqori sifatli konsentrat olindi. Tadqiqot natijalari flotatsiya jarayoni qimmatli komponentlarning asosiy qismini konsentrat tarkibida jamlashga xizmat qilganligini ko'rsatdi. Natijada metallarning ajralib olish ko'rsatkichlari sezilarli darajada ortib, boyitish mahsulotlarining sifat ko'rsatkichlari yaxshilandi.

Flotatsiya chiqindilarini qo'shimcha ravishda konsentratsion stolda qayta boyitish texnologiyaning muhim afzalliklaridan biri bo'ldi. Ushbu bosqichda flotatsiya chiqindilarida qolib ketgan og'ir minerallar va mayda qimmatli zarrachalarning bir qismini qo'shimcha ravishda ajratib olish imkoniyati yaratildi. Natijada metall yo'qotilishlari kamayib, umumiy ajralib olish darajasi oshdi hamda texnogen chiqindilar tarkibidagi foydali komponentlar miqdori pasaydi.

Laboratoriya natijalari kombinatsiyalashgan KNELSON–flotatsiya–konsentratsion stol sxemasi oltinning umumiy ajralib olish darajasini 70% dan yuqori, kumushning ajralib olish darajasini 70 % ga yaqin hamda misning ajralib olish darajasini 85 % dan yuqori qiymatlarga yetkazish imkonini berishini

ko'rsatdi. Bu esa texnologiyaning polimetall rudalarni kompleks qayta ishlashda yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi.

Umuman olganda, KNELSON konsentratori, flotatsiya va konsentratsion stolning ketma-ket qo'llanilishi gravitatsion va fizik-kimyoviy boyitish usullarining afzalliklarini birlashtirib, qimmatli komponentlarni maksimal darajada ajratib olishga xizmat qiladi. Mazkur texnologik yechim texnogen

chiqindilar hajmini kamaytirish, metall yo'qotilishlarini qisqartirish, mineral resurslardan kompleks foydalanish samaradorligini oshirish hamda boyitish korxonalarining iqtisodiy ko'rsatkichlarini yaxshilash uchun istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Olingan natijalar kelgusida yarim sanoat va sanoat sinovlarini o'tkazish hamda texnologik parametrlarni optimallashtirish uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.


FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Рудные месторождения Узбекистана. (2001). Ташкент: ГИДРОИНГЕО.
- [2] Арапов, В. А. (1962). Некоторые закономерности размещения оруденения в Алмалыкском рудном поле. Труды, Вып. 2, 85–94.
- [3] Хасанов, А. С., & Эргашев, М. А. (2023). Изучение золота в пробе руды месторождения «Ёшлик I». *Ijodkor o'qituvchi*, 3(33), 236–242.
- [4] Хасанов, А. С., Турдиев, Ш. Ш., Эргашев, М. А., & Махситалиева, Л. О. (2024). Изучение вещественного состава руды, гранулометрический анализ месторождений «Кальмакыр» и «Ёшлик I». В Материалы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития композиционных материалов» (с. 170–171).
- [5] Хасанов, А. С., Турдиев, Ш. Ш., & Эргашев, М. А. (2023). Исследование и изучение форм нахождения благородных металлов в пробе руды месторождения «Кальмакыр». В Материалы IV Международной научно-практической конференции «Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari», посвященной 65-летию Навоийского горно-металлургического комбината (с. 348–349).
- [6] Хасанов, А. С., Турдиев, Ш. Ш., & Эргашев, М. А. (2023). Изучение минералогического состава проб исходной руды месторождения «Ёшлик I». В Материалы IV Международной научно-практической конференции «Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari», посвященной 65-летию Навоийского горно-металлургического комбината (с. 350–351).
- [7] Хасанов, А. С., Турдиев, Ш. Ш., Эргашев, М. А., & Махситалиева, Л. О. (2024). Изучение формы нахождения благородных металлов в рудах месторождения «Кальмакыр». В Материалы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития композиционных материалов» (с. 173–174).
- [8] Махситалиева, Л. О., Хайитов, О. Ф., Мирзанова, З. А., & Эргашев, М. А. (2024). Қалмоққир ва Ёшлик кони полиметалл рудаларининг қиёсий, кимёвий ва минералогик таркибини ўрганиш. In “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni samarali qayta ishlashning muammolari, istiqbollari va innovatsion yondashuvlar” (Olmaliq KMK AJning 75 yilligiga bag'ishlangan) mavzusidagi respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari to'plami (155–158-betlar). Olmaliq.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Sidiqov, R. M., Ergashev, M. A., Axmadaliyev, A. M., & Abdurazakov, U. M. (2026). Polimetall rudalarni boyitishda kombinatsiyalashgan texnologiyaning samaradorligini tadqiq etish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.26>

UO‘K: 669.334.6

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.27

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DUNYO MIS RUDASI ZAXIRALARI TARKIBIDA OKSIDLANGAN RUDALARNING O‘RNI VA ULARNI QAYTA ISHLASHNING ZAMONAVIY TEXNOLOGIK YECHIMLARI TAHLILI



**Xolikulov Doniyor
Bahtiyorovich**

*Texnika fanlari doktori, professor,
Olmaliq davlat texnika instituti,
Olmaliq, O‘zbekiston*
E-mail: Kholikulov.d@tdtuof.uz
ORCID ID: 0000-0001-6968-9297
Science ID: DTV-0225-0001



**Boltayev Olmos
Najmidinovich**

*PhD, Olmaliq davlat texnika
instituti dotsenti, Olmaliq,
O‘zbekiston*
E-mail: boss.olmos@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-4491-7617
Science ID: FSN-0525-0033



**Elchiyeva Mohinur
Dilshod qizi**

*Olmaliq davlat texnika instituti
"Metallurgiya" kafedrasida tayanch
doktoranti, Olmaliq, O‘zbekiston*
E-mail:
mohinurelchiyeva@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-4734-0278
Science ID: MTV-0425-0017

Annotatsiya. Global miqyosda misga bo‘lgan talabning ortishi oksidlangan va aralash mis rudalarini samarali qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishni taqozo etmoqda. Mazkur tadqiqotning maqsadi dunyo mis rudasi zaxiralari tarkibida oksidlangan rudalarning o‘rnini aniqlash, jahonning yirik porfir mis konlarida qo‘llanilayotgan zamonaviy qayta ishlash texnologiyalarini qiyosiy tahlil qilish hamda Qalmoqir koni sharoitida ularni qo‘llash istiqbollari baholashdan iborat. Tadqiqotda tizimli adabiyotlar tahlili, qiyosiy tahlil va analitik-sintetik yondashuv usullaridan foydalanildi. O‘tkazilgan tahlillar natijasida Qalmoqir koni oksidlangan rudalarining mineralogik tarkibi jahonning yirik porfir mis konlariga o‘xshashligi, biroq rudada oltin va kumushning sanoat ahamiyatiga ega miqdorda mavjudligi hamda misning asosiy qismi oksidlangan minerallar tarkibida uchrashi aniqlanib, xorijiy texnologiyalarni bevosita qo‘llash emas, balki ularni mahalliy geologik va mineralogik sharoitlarga moslashtirish zarurligi asoslandi.

Kalit so‘zlar: oksidlangan mis rudasi, porfirli konlar, Qalmoqir, tanlab eritish, SX-EW, oltin va kumushni korrelyatsiyasi, gilli minerallar, ikki bosqichli gidrometallurgiya.

Received: 24.06.2026

Accepted: 28.06.2026

Published: 29.06.2026

АНАЛИЗ РОЛИ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД В МИРОВЫХ ЗАПАСАХ МЕДНЫХ РУД И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ

**Холикулов Дониёр
Бахтиёрвич**

*Доктор технических наук,
профессор Алмалыкского
государственного технического
института, Алмалык,
Узбекистан*

**Болтаев Олмос
Наджмиддинович**

*PhD, доцент Алмалыкского
государственного технического
института, Алмалык,
Узбекистан*

**Элчиева Мохинур
Дилшод кизи**

*Базовый докторант кафедры
«Металлургия» Алмалыкского
государственного технического
института, Алмалык,
Узбекистан*

Аннотация. Рост мирового спроса на медь обуславливает необходимость совершенствования технологий переработки окисленных и смешанных медных руд. Целью настоящего исследования является определение роли окисленных руд в мировых запасах медных руд, сравнительный анализ современных технологий их переработки на крупнейших медно-порфировых месторождениях мира, а также оценка перспектив их применения для месторождения Калмакыр. В работе использованы методы систематического анализа научной литературы, сравнительного анализа и аналитико-синтетического подхода. Установлено, что минералогический состав окисленных руд месторождения Калмакыр во многом аналогичен крупнейшим мировым медно-порфировым месторождениям, однако наличие промышленных содержаний золота и серебра, а также преобладание окисленных форм меди требуют адаптации зарубежных технологий к местным геолого-минералогическим условиям.

Ключевые слова: окисленная медная руда, порфировые месторождения, Калмакыр, выщелачивание, SX-EW, корреляция золота и серебра, глинистые минералы, двухступенчатая гидрометаллургия.

ANALYSIS OF THE ROLE OF OXIDIZED COPPER ORES IN GLOBAL COPPER ORE RESERVES AND MODERN TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THEIR PROCESSING

**Kholikulov Doniyor
Bakhtiyorovich**

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Almalyk State Technical
Institute, Almalyk, Uzbekistan

**Boltayev Olmos
Najmidinovich**

PhD, Associate Professor, Almalyk
State Technical Institute, Almalyk,
Uzbekistan

**Elchiyeva Mokhinur
Dilshod kizi**

PhD Researcher, Department of
Metallurgy, Almalyk State
Technical Institute, Almalyk,
Uzbekistan

Abstract. The increasing global demand for copper necessitates the development of efficient technologies for processing oxidized and mixed copper ores. This study aims to determine the role of oxidized ores in global copper ore reserves, comparatively analyze modern processing technologies applied at the world's largest porphyry copper deposits, and evaluate their applicability to the Kalmakyr deposit. The research employed a systematic literature review, comparative analysis, and an analytical-synthetic approach. The results indicate that the mineralogical composition of the Kalmakyr oxidized ores is generally similar to that of major porphyry copper deposits worldwide. However, the presence of economically significant gold and silver contents together with the predominance of oxidized copper minerals requires the adaptation of existing foreign technologies to local geological and mineralogical conditions rather than their direct implementation.

Keywords: oxidized copper ore, porphyritic deposits, Kalmakyr, leaching, SX-EW, correlation of gold and silver, clay minerals, two-stage hydrometallurgy.

Kirish. Mis jahon iqtisodiyotining strategik xomashyo resurslaridan biri bo'lib, elektr energetikasi, transport, mashinasozlik, elektronika va qayta tiklanuvchi energiya texnologiyalarining rivojlanishi bilan unga bo'lgan talab izchil ortib bormoqda. 2024-yilda dunyo bo'yicha mis ishlab chiqarish hajmi 23 mln tonnaga, iste'mol hajmi esa 27,4 mln tonnaga yetdi [12]. Tozalangan mis iste'molining 58 % Xitoy hissasiga to'g'ri kelmoqda, bu esa mis xomashyo bazasidan yanada samarali foydalanish va yangi texnologiyalarni

ishlab chiqishni dolzarb vazifaga aylantirmoqda [3].

Jahon mis sanoatining asosini porfir tipidagi konlar tashkil etadi. Chili, Peru, AQSH, Meksika, Panama, Mongoliya, Indoneziya va O'zbekistondagi yirik porfir konlari global mis ishlab chiqarishning asosiy qismini ta'minlaydi. USGS baholashlariga ko'ra, hali aniqlan-magan porfir tipidagi konlarda taxminan 3,1 mlrd tonna mis resurslari mavjud bo'lib, bu hozirgi aniqlangan zaxiralardan deyarli ikki barobar ko'pdir [8]. Mazkur konlarning katta qismida sulfidli rudalar

bilan bir qatorda oksidlangan va aralash rudalar ham uchraydi.

Konlarni uzoq yillar davomida ekspluatatsiya qilish natijasida yuqori qatlamlarda joylashgan oksidlangan va aralash rudalar hajmi ortib bormoqda [1]. Masalan, Olmaliq kon-metallurgiya kombinatining Qalmoqir konida ko'p yillar davomida alohida omborlarga yig'ilgan 100 mln tonnaga yaqin balansdan tashqari (Cu – 0,455 %) hamda 10 mln tonnadan ortiq balansdagi (Cu – 0,827 %) oksidlangan va aralash rudalar mavjud. Biroq korxonaning amaldagi texnologik sxemasi asosan sulfidli rudalarni flotatsiya qilish va pirometallurgik qayta ishlashga mo'ljallangan bo'lib, oksidlangan rudalarni kompleks o'zlashtirish masalasi to'liq hal etilmagan.

Jahon amaliyoti shuni ko'rsatadiki, oksidlangan rudalarni qayta ishlashda yagona universal texnologiya mavjud emas [15]. Chili konlarida (Escondida, Chuquicamata, Spence, Cerro Verde) oksidlangan rudalar asosan uyumda tanlab eritish va SX–EW texnologiyasi asosida qayta ishlansa, Morenci va Tenke Fungurume konlarida gidrometallurgik jarayonlar yuqori mis ajralish darajasini ta'minlamoqda. Aksincha, Oyu Tolgoi, Las Bambas, Cobre Panama va Quellaveco konlarida oksidlangan rudalar asosiy sulfidli rudalar bilan cheklangan miqdorda aralash tirilib flotatsiya qilinadi yoki alohida omborlarda saqlanadi [6]. Ushbu texnologik yondashuvlarning har biri ruda tarkibi, mineralogik xususiyatlari va foydali komponentlarning tarqalish qonuniyatlariga bog'liq holda tanlanadi.

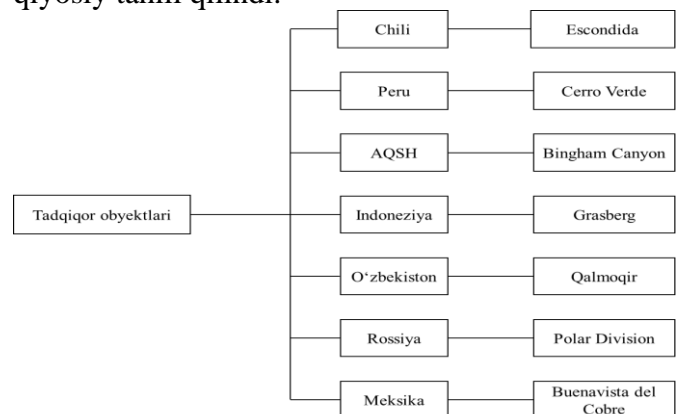
Qalmoqir koni rudalarining mineralogik tarkibi Chili, Peru va AQSHdagi yirik porfir konlariga o'xshash bo'lishiga qaramay, uning tarkibida mis bilan birga oltin va kumushning sanoat ahamiyatiga ega miqdorda mavjudligi xorijiy texnologiyalarni bevosita qo'llash imkoniyatini cheklaydi [10]. Shu sababli jahonning yirik mis konlarida oksidlangan rudalarni qayta ishlash tajribalarini qiyosiy tahlil qilish, ularning afzallik va kamchiliklarini baholash hamda Qalmoqir koni sharoitiga mos texnologik yechimlarni asoslash muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi [4].

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqotda dunyo mis rudasi zaxiralari tarkibida oksidlangan rudalarning o'rni hamda ularni qayta ishlashda qo'llanilayotgan zamonaviy texnologiyalarni

baholash maqsadida tizimli adabiyotlar tahlili, qiyosiy tahlil hamda analitik-sintetik yondashuv usullaridan foydalanildi [14].

Tadqiqotning axborot bazasini International Copper Study Group, United States Geological Survey va International Wrought Copper Council ma'lumotlari, shuningdek, jahonning yetakchi mis konlari hamda ularda qo'llanilayotgan rudalarni qayta ishlash texnologiyalariga bag'ishlangan ilmiy maqolalar, texnik hisobotlar va ishlab chiqarish korxonalarining ochiq ma'lumotlari tashkil etdi [2].

Tahlil jarayonida Chili (Escondida, Chuquicamata, Collahuasi, Los Pelambres, Spence), Peru (Cerro Verde, Las Bambas, Antamina, Quellaveco), AQSH (Morenci, Bingham Canyon), Indoneziya (Grasberg), Mongoliya (Oyu Tolgoi), Kongo Demokratik Respublikasi (Tenke Fungurume, Kamo-Kakula, Kamoto), Meksika (Buenavista del Cobre), Rossiya (Polar Division) hamda O'zbekistondagi Qalmoqir konlarining geologik tuzilishi, ruda turlari, mineralogik tarkibi va qo'llanilayotgan texnologik sxemalari o'zaro qiyosiy tahlil qilindi.



1-rasm. Tadqiqot obyektlari sifatida tanlangan jahonning yirik mis konlari.

Qiyosiy tahlilda rudalarning oksidlanish darajasi, mis minerallarining mineralogik tarkibi, foydali komponentlarning tarqalish qonuniyatlari hamda oksidlangan rudalarni flotatsiyalash, uyumda tanlab eritish, eritmadan ekstraksiya, elektroliz, sulfidlash va boshqa gidrometallurgik jarayonlarning texnologik samaradorligi asosiy baholash mezonlari sifatida qabul qilindi [9]. Shuningdek, turli konlarda qo'llanilayotgan texnologiyalarning afzalliklari va cheklovlari rudalarning mineral tarkibi, qimmatbaho yo'ldosh metallarning

mavjudligi hamda ishlab chiqarish sharoitlari nuqtayi nazaridan tahlil qilindi.

Qalmoqir koni uchun xorijiy tajribalarni moslashtirish imkoniyatlarini baholash maqsadida konning oksidlangan rudalari mineralogik tarkibi alohida o'rganildi. Ruda tarkibidagi SiO_2 , Al_2O_3 , Fe, Cu, Au va Ag miqdorlari, shuningdek, oksidlangan va sulfidli misning o'zaro nisbatlari jahonning yirik porfir mis konlari ko'rsatkichlari bilan taqqoslandi. Olingan natijalar asosida mavjud texnologiyalarning Qalmoqir koni sharoitida qo'llanish imkoniyatlari, ularning afzalliklari va cheklovlari baholanib, oksidlangan rudalarni kompleks qayta ishlashning istiqbolli yo'nalishlari aniqlandi [16].

Tadqiqot natijalarini umumlashtirishda ilmiy tahlil, mantiqiy umumlashtirish va sintez usullaridan foydalanildi. Natijada jahon tajribasi hamda Qalmoqir konining geologik va mineralogik xususiyatlari asosida oksidlangan mis rudalarini samarali qayta ishlashning ustuvor texnologik yo'nalishlari ilmiy jihatdan asoslab berildi.

Natijalar va muhokama. Jahonning yirik mis konlarida oksidlangan rudalarni qayta ishlash texnologiyalarini qiyosiy tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, texnologik sxemani tanlash, avvalo, rudaning mineralogik tarkibi, oksidlanish darajasi, foydali komponentlarning tarqalish xususiyatlari hamda yo'ldosh metallar mavjudligiga bog'liq [11]. Shu sababli turli konlarda qo'llanilayotgan texnologiyalar bir-biridan sezilarli darajada farq qiladi.

Chili, Peru va AQSHdagi Escondida, Chuquicamata, Spence, Cerro Verde hamda Morenci kabi yirik porfir mis konlarida oksidlangan rudalar asosan uyumda tanlab eritish (Heap Leaching), eritmadan ekstraksiya (SX) va elektroliz (EW) texnologiyalari asosida qayta ishlanadi. Ushbu texnologiyalar oksidlangan mis minerallarini yuqori samaradorlik bilan eritmaga o'tkazish va 99,99 % tozalikdagi katod mis olish imkonini beradi. Biroq ushbu konlarda oksidlangan rudalar tarkibida oltin va kumush miqdorining juda pastligi sababli texnologik jarayon faqat misni ajratib olishga yo'naltirilgan [5].

Oyu Tolgoi, Las Bambas, Cobre Panama va Quellaveco konlarida esa oksidlangan rudalarni alohida gidrometallurgik qayta ishlash o'rniga ularni ma'lum miqdorda sulfidli rudalar bilan aralashtirib flotatsiyalash amaliyoti qo'llaniladi.

Biroq oksidlangan minerallar va gil minerallarining ortishi flotatsiya jarayonida pulpaning reologik xossalarini o'zgartirib, havo pufakchalari barqarorligini pasaytiradi hamda mis minerallarining ko'pikka birikish ehtimolini kamaytiradi. Natijada misning ajralish darajasi pasayishi kuzatiladi [13].

Tenke Fungurume va Kamoto konlarida oksidlangan mis-kobalt rudalarini qayta ishlashda chanlarda kislotali tanlab eritish texnologiyasi qo'llanilib, misning ajralish darajasi 90–95 % gacha yetkaziladi. Bunday yuqori ko'rsatkichlarga maydalangan rudaning erituvchi bilan to'liq kontaktga kirishi hamda jarayon parametrlarining qat'iy nazorat qilinishi hisobiga erishiladi. Mazkur texnologiya tarkibida oltin va kumush deyarli mavjud bo'lmagan rudalar uchun samarali hisoblanadi.

Qalmoqir koni oksidlangan rudalarining mineralogik tarkibi jahonning ko'plab porfir mis konlariga o'xshash bo'lsa-da, tarkibida oltin va kumushning sanoat ahamiyatiga ega miqdorda mavjudligi uni boshqa konlardan farqlaydi. O'tkazilgan qiyosiy tahlillar natijasida Chili va AQSH konlarida muvaffaqiyatli qo'llanilayotgan Heap Leaching–SX–EW texnologiyasini Qalmoqir konida to'g'ridan-to'g'ri qo'llash maqsadga muvofiq emasligi aniqlandi. Chunki bunday texnologiyada oltin va kumushning asosiy qismi eritilmasdan chiqindida qolib ketadi.

Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining mineralogik tarkibini tahlil qilish. Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining mineralogik tarkibi tahlili (1-jadval) rudaning kremniy oksidi (SiO_2) miqdori 61,88 % ni tashkil etishini ko'rsatdi. Mazkur ko'rsatkich rudada kvarts va boshqa silikat minerallari ustunligini bildiradi hamda boyitish va gidrometallurgik jarayonlarda mineral massaning asosiy qismini inert jinslar tashkil etishini ko'rsatadi. Alyuminiy oksidining (Al_2O_3) 13,19 % miqdorda mavjudligi rudada gil minerallari va alyumosilikatlarning salmoqli ulushga ega ekanligini tasdiqlaydi.

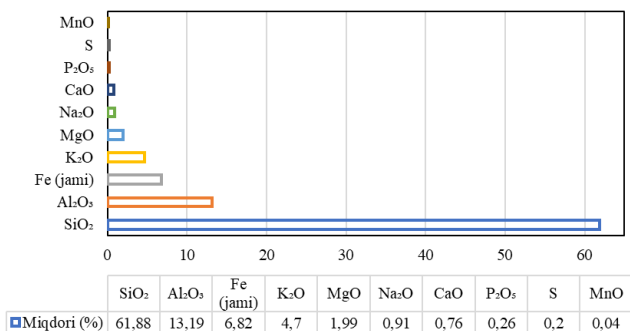
1-jadval va 2-rasm ma'lumotlariga ko'ra, Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining asosiy qismini kremniy oksidi tashkil etib, uning miqdori 61,88% ga teng. Alyuminiy oksidining miqdori 13,19%, umumiy temir esa 6,82% ni tashkil etadi. K_2O (4,70%) va MgO (1,99%) miqdorlarining nisbatan yuqoriligi rudada silikat va alyumosilikat

minerallari ustunligini ko'rsatadi. Na₂O, CaO, P₂O₅, S va MnO miqdorlari esa nisbatan kam bo'lib, ularning umumiy mineral tarkibga ta'siri cheklangan.

1-jadval.

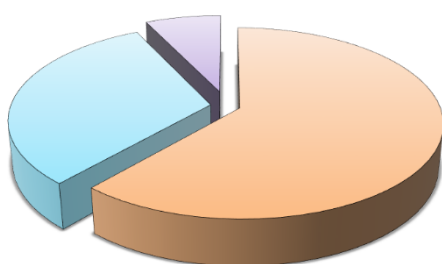
Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining mineralogik tarkibi

Minerallar	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{jami}	Fe _{oksid}	Fe _{sulfid}	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	MnO	P ₂ O ₅
Miqdori, %	61,88	13,19	6,82	6,37	0,45	4,7	0,91	1,99	0,04	0,26
Minerallar	S _{jami}	SO ₄	Pb	CaO	Zn	Ag, g/t	Au, g/t	Cu _{oksid}		Cu _{sulfid}
Miqdori, %	0,20	<0,25	0,0067	0,76	0,017	1,83	1,54	0,43	0,22	0,05



2-rasm. Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining asosiy oksidlar tarkibi.

Grafik tahlil shuni ko'rsatadiki, SiO₂ ning ulushi boshqa komponentlarga nisbatan keskin ustunlik qiladi. Bu esa rudaning boyitish jarayonida asosiy jins massasini kvars va boshqa silikat minerallari tashkil etishini bildiradi. Bunday mineralogik tarkib oksidlangan rudalarni qayta ishlashda maydalash, flotatsiya va gidrometallurgik jarayonlarning texnologik parametrlarini tanlashda muhim omil hisoblanadi.



Erkin oksidlangan mis Bog'langan oksidlangan mis Sulfidli mis

3-rasm. Qalmoqir konida misning fazaviy taqsimlanishi.

Ruda tarkibidagi umumiy temir miqdori 6,82% bo'lib, uning asosiy qismi oksidlangan shaklda (6,37%), sulfidli temir esa atigi 0,45% ni

tashkil etadi. Bu ko'rsatkich rudaning yuqori darajada oksidlanishga uchraganligini hamda oksidlanish jarayonida birlamchi sulfid minerallarining katta qismi ikkilamchi oksid minerallariga aylanganligini ko'rsatadi.

Kimyoviy tarkibda K₂O (4,70%) va Na₂O (0,91%) miqdorining mavjudligi dala shpatlari va boshqa silikat minerallarining rudada keng tarqalganligini bildiradi. MgO (1,99%) va CaO (0,76%) miqdorlari esa karbonat va magniyli minerallarning nisbatan kam ulushda ekanligini ko'rsatadi.

Qimmatbaho komponentlar tahlili rudada oltin va kumushning mos ravishda 1,54 g/t va 1,83 g/t miqdorda mavjudligini aniqladi. Ushbu ko'rsatkichlar oksidlangan rudalarni qayta ishlash jarayonida faqat misni emas, balki oltin va kumushni ham kompleks ajratib olish zarurligini ko'rsatadi. Shu jihatdan Qalmoqir koni Chili va AQSHdagi ko'plab porfir mis konlaridan farq qiladi. Mazkur konlarda oksidlangan rudalar tarkibida oltin va kumushning miqdori juda past bo'lganligi sababli qayta ishlash texnologiyasi asosan mis ajratib olishga yo'naltirilgan.

Misning fazaviy tarkibi tahlili rudada erkin oksidlangan mis 0,43%, bog'langan oksidlangan mis 0,22% va sulfidli mis 0,05% ni tashkil etishini ko'rsatdi. Natijalar misning asosiy qismi oksidlangan minerallar tarkibida ekanligini tasdiqlaydi. Bu esa uyumda tanlab eritish, kislotali eritish yoki kombinatsiyalashgan gidrometallurgik texnologiyalarni qo'llash imkoniyatini ko'rsatsa-da, oltin va kumushning sanoat ahamiyatiga ega miqdorda mavjudligi ushbu texnologiyalarni to'g'ridan-to'g'ri qo'llashni cheklaydi.

Umuman olganda, 1-jadval natijalari Qalmoqir koni oksidlangan rudalarining mineralogik tarkibi jahonning yirik porfir mis konlariga ma'lum darajada o'xshashligini, biroq qimmatbaho yo'ldosh metallar mavjudligi va misning fazaviy tarkibi bo'yicha o'ziga xos xususiyatlarga egaligini ko'rsatdi. Shu sababli mazkur rudalarni qayta ishlashda mis, oltin va kumushni kompleks ajratib olishga yo'naltirilgan kombinatsiyalashgan texnologik yechimlarni ishlab chiqish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Shuningdek, Las Bambas va Oyu Tolgoi konlarida qo'llanilayotgan oksidlangan rudalarni sulfidli rudalar bilan aralashtirib flotatsiyalash usuli

ham Qalmoqir sharoitida yetarli samara bermasligi mumkin. Bunga sabab Qalmoqir rudalarida oksidlangan minerallar va gil komponentlari ulushining yuqoriligi hamda oltin va kumushning sulfid minerallari bilan murakkab bog'langan holda uchrashidir. Bunday sharoitda oddiy flotatsiya sxemasi qimmatbaho komponentlarning yo'qotilishiga olib kelishi mumkin.

Qiyosiy tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, Qalmoqir koni oksidlangan rudalarini qayta ishlashda xorijiy tajribalarni to'liq ko'chirish emas, balki ularni konning geologik va mineralogik xususiyatlariga moslashtirish zarur. Bunda mis bilan bir qatorda oltin va kumushni ham kompleks ajratib olishni ta'minlaydigan kombinatsiyalashgan flotatsion va gidrometallurgik texnologiyalarni ishlab chiqish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Bunday yondashuv nafaqat misning ajralib olish darajasini oshirish, balki yo'ldosh qimmatbaho metallardan samarali foydalanish hamda balansdan tashqari oksidlangan rudalarni sanoat aylanmasiga jalb etish imkonini beradi.

Xulosa. Olib borilgan qiyosiy tahlillar natijasida jahonning yirik porfir mis konlarida oksidlangan rudalarni qayta ishlash texnologiyasi rudalarning mineralogik tarkibi, oksidlanish darajasi hamda foydali komponentlarning tarqalish xususiyatlariga qarab tanlanishi aniqlandi. Chili, Peru, AQSH va Kongo Demokratik Respublikasidagi konlarda uyumda tanlab eritish

(Heap Leaching), eritmadan ekstraksiya (SX) va elektroliz (EW) texnologiyalari samarali qo'llanilayotgan bo'lsa, Oyu Tolgoi va Las Bambas kabi konlarda oksidlangan rudalarni sulfidli rudalar bilan aralashtirib flotatsiyalash usuli qo'llanilmoqda. O'tkazilgan tahlillar Qalmoqir koni oksidlangan rudalarining mineralogik tarkibi jahonning yirik porfir mis konlariga o'xshashligini, biroq rudada oltin va kumushning sanoat ahamiyatiga ega miqdorda mavjudligi hamda misning asosiy qismi oksidlangan minerallar tarkibida uchrashi uni qayta ishlashda o'ziga xos texnologik yondashuvni talab qilishini ko'rsatdi.

Qalmoqir koni oksidlangan rudalarini qayta ishlashda xorijiy texnologiyalarni bevosita qo'llash yetarli samara bermasligi, ularni konning geologik va mineralogik xususiyatlariga moslashtirish zarurligi asoslandi. Mis, oltin va kumushni kompleks ajratib olishni ta'minlaydigan kombinatsiyalashgan flotatsion va gidrometallurgik texnologiyalarni ishlab chiqish texnologik hamda iqtisodiy jihatdan istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Mazkur yondashuv balansdan tashqari oksidlangan rudalarni sanoat aylanmasiga jalb etish, misning ajralib olish darajasini oshirish, qimmatbaho yo'ldosh metallardan samarali foydalanish hamda xomashyo resurslaridan kompleks foydalanish samaradorligini ta'minlashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] International Copper Study Group. (2025). The world copper factbook 2025 (pp. 6–7). International Copper Study Group.
- [2] U.S. Geological Survey. (2021). Assessment of undiscovered copper resources of the world, 2015 (Scientific Investigations Report 2018–5160, Version 1.2). <https://www.usgs.gov/media/images/blister-copper-sample>
- [3] Elchiyeva, M. D., Xoliqulov, D. B., Boltayev, O. N., & Niyazmetov, B. E. (2025). Oksidlangan mis rudasi tarkibidagi minerallarning qayta ishlash texnologiyasini tanlashdagi ahamiyati. *Sanoatda Raqamli Texnologiyalar*, 3(3), 34–41. <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.11>
- [4] Kholikulov, D., Khojiev, Sh., Khaydaraliev, Kh., Boltayev, O., Khujayev, T., Abdiev, O., & Yusupov, A. (2025). Application of ozone for the treatment of process solutions and wastewater in copper production. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 19(1), 193–197.
- [5] Kholiqulov, D. B., Boltayev, O. N., & Khaydaraliyev, Kh. R. (2020). Mis ishlab chiqarish texnologik eritmalaridan metallarni cho'ktiruvchi reagentlar yordamida ajratish. *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*, 1(2), 36–45.

- [6] Toshkodiroya, R. E., Kenzhayeva, S. A., & Uchkunov, A. T. (2026). Optimizatsiya parametrov protsessi ekstratsii pri izvlechenii ionov tyazhelykh metallov iz rastvorov posle biookisleniya. *International Journal of Scientific Bulletin*, 3(1), 24–29.
- [7] International Copper Study Group. (2025). *Copper factbook 2025*. International Copper Study Group. <https://icsg.org/copper-factbook/>
- [8] León, F., Martínez, Y., Bazán, C., et al. (2025). A systematic review of copper heap leaching: Key operational variables, green reagents and sustainable engineering strategies. *Processes*, 13(5), 1513. <https://doi.org/10.3390/pr13051513>
- [9] Watling, H. R. (2006). The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides—A review. *Hydrometallurgy*, 84(1–2), 81–108.
- [10] Toro, N., Jeldres, R. I., Robles, P., & Jeldres, M. (2021). Copper heap leaching: A review. *Metals*, 11(10), 1539. <https://doi.org/10.3390/met11101539>
- [11] Saldaña, M., Quezada, V., & Valencia, P. (2022). Copper mineral leaching mathematical models—A review. *Minerals*, 12(3), 321. <https://doi.org/10.3390/min12030321>
- [12] Sole, K. C., & Cole, P. M. (2002). Solvent extraction in the hydrometallurgical processing and purification of metals. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 102(8), 451–456.
- [13] Kordosky, G. A. (2002). Copper recovery using leach/solvent extraction/electrowinning technology: Forty years of innovation. *JOM*, 54(8), 34–39.
- [14] Bartlett, R. W. (1998). *Solution mining: Leaching and fluid recovery of materials*. Gordon and Breach Science Publishers.
- [15] Habashi, F. (1999). *Textbook of hydrometallurgy*. Métallurgie Extractive Québec.
- [16] Marsden, J., & House, I. (2006). *The chemistry of gold extraction* (2nd ed.). Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME).

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Xoliqulov, D. B., Boltayev, O. N., & Elchiyeva, M. D. (2026). Dunyo mis rudasi zaxiralari tarkibida oksidlangan rudalarning oʻrni va ularni qayta ishlashning zamonaviy texnologik yechimlari tahlili. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.27>

УДК: 669.2.8:622.765:666.29

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.28

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ ОТ МЫШЬЯКА, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ БИООКИСЛЕНИЯ



Тошқодирова Рано Эркинжоновна

PhD, доцент кафедры «Металлургия» Алмалыкского государственного технического института, Алмалык, Узбекистан

E-mail: zumrad291014@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-8295-3483
Science ID: FTV-0525-0014



Кенжаева Севара Абсаматовна

Докторант кафедры «Металлургия» Алмалыкского государственного технического института, Алмалык, Узбекистан

E-mail: yuldashevasevara0@mail.com
ORCID ID: 0009-0001-3440-7015
Science ID: MTV-0125-0002

Аннотация. В статье исследованы термодинамические закономерности селективной очистки железозоксидных пигментов от мышьяка, полученных из техногенных растворов после нейтрализации продуктов биоокисления. Выполнен анализ температурной зависимости свободной энергии Гиббса для реакций с участием сульфида натрия и дана оценка термодинамической устойчивости соединений железа и мышьяка. Результаты расчётов показали, что мышьяксодержащие соединения легко переходят в сульфидные формы, тогда как соединения железа сохраняют устойчивость. Установлено, что наиболее благоприятные условия процесса достигаются при температуре 40–60 °С. Полученные результаты могут быть использованы при разработке экологически безопасных технологий переработки техногенных растворов и получения железозоксидных пигментов с пониженным содержанием токсичных примесей.

Ключевые слова: биоокисление, техногенный раствор, железозоксидный пигмент, мышьяк, сульфид натрия, энергия Гиббса, термодинамический анализ, селективная очистка, экологическая безопасность, металлургические отходы.

Received: 30.05.2026

Accepted: 29.06.2026

Published: 29.06.2026

БИООКСИДЛАНИШ ЭРИТМАЛАРИДАН ОЛИНГАН ТЕМИР ОКСИДЛИ ПИГМЕНТЛАРНИ МИШЬЯКДАН СЕЛЕКТИВ ТОЗАЛАШ ЖАРAYONINING ТЕРМОДИНАМИК АСОСЛАРИ

Toshqodirova Rano Erkinjonovna

PhD, Olmaliq davlat texnika instituti "Metallurgiya" kafedrasida dotsenti, Olmaliq, O'zbekiston

Kenjayeva Sevra Absamatovna

Olmaliq davlat texnika instituti "Metallurgiya" kafedrasida doktoranti, Olmaliq, O'zbekiston

Аннотация. Ushbu maqolada biooksidlanish mahsulotlarini neytrallash jarayonida hosil bo'lgan texnogen eritmalaridan olingan temir oksidli pigmentlarni mishyakdan selektiv tozalashning termodinamik qonuniyatlari o'rganilgan. Tadqiqotda natriy sulfidi ishtirokidagi reaksiyalar uchun

Gibbs erkin energiyasining haroratga bog'liqligi tahlil qilinib, temir va mishyak birikmalarining termodinamik barqarorligi baholandi. Hisoblash natijalari mishyak saqlovchi fazalarning sulfidlarga oson aylanishini, temir birikmalari esa barqaror holatda saqlanishini ko'rsatdi. Jarayon uchun eng maqbul harorat oralig'i 40–60 °C ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar temir oksidli pigmentlarning ekologik xavfsizligini oshirish hamda biooksidlanish eritmalarini kompleks qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: biooksidlanish, texnogen eritma, temir oksidli pigment, mishyak, natriy sulfidi, Gibbs erkin energiyasi, termodinamik tahlil, selektiv tozalash, ekologik xavfsizlik, metallurgiya chiqindilari.

THERMODYNAMIC BASIS OF SELECTIVE ARSENIC REMOVAL FROM IRON OXIDE PIGMENTS OBTAINED FROM BIO-OXIDATION SOLUTIONS

Toshkodirova Rano Erkinjonovna

PhD, Associate Professor, Department of Metallurgy, Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan

Kenjayeva Sevara Absamatovna

Doctoral Student, Department of Metallurgy, Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. *This paper investigates the thermodynamic principles of selective arsenic removal from iron oxide pigments obtained from technogenic solutions generated during the neutralization of bio-oxidation products. The temperature dependence of Gibbs free energy for reactions involving sodium sulfide was analyzed to evaluate the thermodynamic stability of iron- and arsenic-containing compounds. The calculations demonstrated that arsenic-bearing phases readily transform into sulfide compounds, whereas iron compounds remain thermodynamically stable. The optimal temperature range for selective arsenic removal was determined to be 40–60 °C. The obtained results provide a scientific basis for improving environmentally friendly technologies for processing bio-oxidation solutions and producing iron oxide pigments with reduced toxic impurity content.*

Keywords: *bio-oxidation, technogenic solution, iron oxide pigment, arsenic, sodium sulfide, Gibbs free energy, thermodynamic analysis, selective purification, environmental safety, metallurgical waste.*

Введение. В последние годы комплексная переработка техногенных отходов металлургической промышленности рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений развития ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий. Особое внимание уделяется переработке растворов, образующихся после биологического окисления упорных золотосодержащих сульфидных концентратов, поскольку они содержат значительные количества соединений железа, мышьяка и других токсичных элементов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду при отсутствии эффективных методов их обезвреживания [6].

Технология бактериально-химического окисления (BIOX) широко применяется при переработке упорных золотосодержащих руд благодаря высокой эффективности разрушения сульфидной матрицы минералов, прежде всего пирита и арсенопирита. В процессе био-окисления микроорганизмы *Acidithiobacillus*

ferrooxidans, *Acidithiobacillus thiooxidans* и *Leptospirillum ferrooxidans* осуществляют окисление железа и серосодержащих соединений, обеспечивая вскрытие золота, недоступного для традиционного цианирования [10]. Вместе с тем в жидкую фазу переходят значительные количества железа и мышьяка, что требует последующей нейтрализации растворов и безопасной утилизации образующихся осадков.

При нейтрализации кислых технологических растворов формируются железокислотные продукты, которые могут рассматриваться как перспективное сырьё для получения железокислотных пигментов. Однако присутствие мышьяка существенно ограничивает возможности их дальнейшего промышленного использования, поскольку даже относительно небольшие концентрации токсичного элемента не соответствуют современным экологическим требованиям и создают потенциальную опасность вторичного загрязнения

окружающей среды [8, 9, 11].

Одним из наиболее перспективных направлений решения данной проблемы является разработка методов селективного удаления мышьяка при максимальном сохранении соединений железа. В настоящее время особый интерес представляют технологии, основанные на использовании сульфидсодержащих реагентов, позволяющих переводить соединения мышьяка в устойчивые растворимые или малорастворимые сульфидные формы без существенного растворения железосодержащей матрицы [2]. Однако эффективность подобных процессов в значительной степени определяется их термодинамической обоснованностью, поскольку именно значения энергии Гиббса позволяют прогнозировать направление химических реакций, устойчивость образующихся соединений и оптимальные температурные режимы проведения процесса.

Несмотря на большое количество исследований, посвящённых биоокислению золотосодержащих концентратов и переработке техногенных растворов, вопросы термодинамического анализа селективного удаления мышьяка из железоксидных пигментов остаются недостаточно изученными. Особенно актуальной является оценка возможности применения сульфида натрия для разрушения связей между железом и мышьяком с сохранением железа в твёрдой фазе и переводом мышьяка в термодинамически устойчивые сульфидные комплексы.

В связи с этим целью настоящего исследования являлась термодинамическая оценка процессов взаимодействия компонентов железоксидного пигмента с сульфидом натрия, определение возможности селективного удаления мышьяка и установление оптимального температурного диапазона проведения процесса, обеспечивающего получение экологически безопасного железоксидного пигмента из техногенных растворов, образующихся после биоокисления золотосодержащих концентратов.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являлись железоксидные пигменты, полученные после нейтрализации техногенных растворов, образующихся при бактериально-химическом окис-

лении золотосодержащих сульфидных концентратов на ГМЗ-3 Навоийского горно-металлургического комбината [1]. По данным рентгенофлуоресцентного анализа (XRF), исследуемый продукт содержал 63,5 mass.% Fe, 7,50 mass.% Ca, 4,54 mass.% Mg, 3,29 mass.% As и другие компоненты. Высокое содержание мышьяка обусловило необходимость его селективного удаления [4].

Исследование включало рентгенофлуоресцентный анализ состава пигмента и термодинамическое моделирование взаимодействия Na_2S с соединениями железа и мышьяка. Для анализа были выбраны девять наиболее вероятных реакций, а их термодинамическая возможность оценивалась по значениям стандартной энергии Гиббса (ΔG°) [12].

Расчёты выполнялись в диапазоне 25–120°C с построением зависимостей $\Delta G=f(T)$. Отрицательные значения ΔG свидетельствовали о самопроизвольном протекании реакций, положительные — об устойчивости соединений [14]. Установлено, что наиболее благоприятные условия селективного удаления мышьяка достигаются при 40–60 °C, когда обеспечиваются минимальные потери железа и высокая эффективность процесса [15].

Результаты и обсуждения. Рентгенофлуоресцентный анализ показал, что полученный после нейтрализации биоокислительных растворов железоксидный продукт характеризуется высоким содержанием железа и присутствием ряда сопутствующих элементов. Как видно из таблицы 1, основным компонентом исследуемого материала является железо, содержание которого достигает 63,5 mass.%. Кроме железа в составе пигмента присутствуют кальций (7,50 mass.%), магний (4,54 mass.%), мышьяк (3,29 mass.%), алюминий (0,83 mass.%), сера (0,599 mass.%) и кремний (0,589 mass.%). Содержание остальных элементов (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Y, Zr, Cd, Sn, Sb и Te) не превышает 0,25 mass.%, что свидетельствует об их незначительном влиянии на химические свойства исследуемого материала.

Повышенное содержание мышьяка значительно ограничивает возможность промышленного использования полученного

пигмента. При концентрации 3,29 mass.% мышьяк существенно превышает допустимые значения для большинства пигментных материалов, вследствие чего необходима его предварительная селективная очистка. В то же время высокая концентрация железа свидетельствует о целесообразности сохранения железосодержащей матрицы в процессе удаления токсичных компонентов.

Таблица 1.

Химический состав пигментного продукта, содержащего железо

№	Элемент	Масса (mass%)	№	Элемент	Масса (mass%)
1	Cl	0,0278	12	Cu	0,107
2	Mg	4,54	13	Zn	0,225
3	Al	0,83	14	As	3,29
4	Si	0,589	15	Se	0,0051
5	S	0,599	16	Sr	0,0365
6	Ca	7,5	17	Y	0,0029
7	Cr	0,014	18	Zr	0,25
8	Mn	0,0944	19	Cd	0,0014
9	Fe	63,5	20	Sn	0,0039
10	Co	0,198	21	Sb	0,129
11	Ni	0,0735	22	Te	0,0017

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа подтверждаются спектром, представленным на рисунке 1. Наиболее интенсивные пики соответствуют железу, что согласуется с количественным химическим анализом. Менее интенсивные пики кальция, магния и мышьяка подтверждают присутствие этих элементов в составе исследуемого продукта. Следовательно, применение рентгенофлуоресцентной спектроскопии позволило достоверно установить элементный состав пигмента и определить основные соединения, участвующие в последующих термодинамических расчётах.

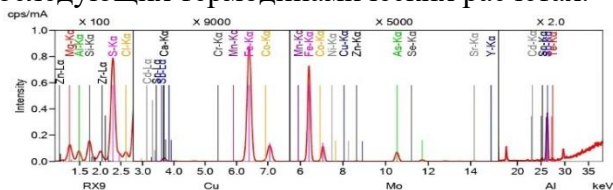


Рис.1. Рентгенофлуоресцентный (XRF) спектр химического состава пигмента, содержащего железо.

После определения химического состава выполнена термодинамическая оценка взаимодействия компонентов пигмента с сульфидом натрия. Для анализа были рассмотрены девять наиболее вероятных химических реакций между

соединениями железа, мышьяка, кальция, магния и реагентом Na₂S. Полученные уравнения зависимости стандартной энергии Гиббса от температуры представлены в таблице 2.

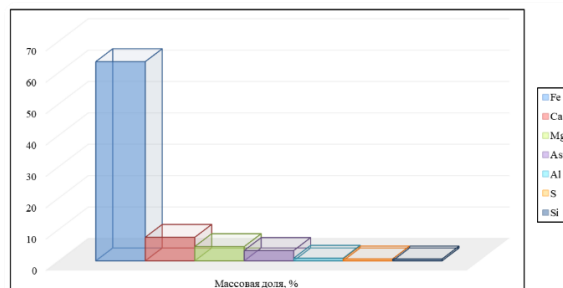


Рис.2. Массовая доля основных элементов в составе железоксидного пигмента, полученного после нейтрализации продуктов биоокисления.

Таблица 2.

Уравнения зависимости энергии Гиббса от температуры для реакций между компонентами пигмента и сульфидом натрия

№	Химические реакции	Уравнение энергии Гиббса, кДж/моль
1	$2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{Na}_2\text{S} = 2\text{FeS} + \text{S} + 6\text{NaOH}$	$\Delta G_1 = 502,4 - 0,00238 \cdot T$
2	$2\text{As}(\text{OH})_3 + 3\text{Na}_2\text{S} = \text{As}_2\text{S}_3 + 6\text{NaOH}$	$\Delta G_2 = -164 + 0,247 \cdot T$
3	$2\text{FeAsO}_4 + 3\text{Na}_2\text{S} = 2\text{FeS} + \text{S} + 2\text{Na}_3\text{AsO}_4$	$\Delta G_3 = -283,342 + 0,3277 \cdot T$
4	$\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{Na}_2\text{S} = 3\text{FeS} + 2\text{Na}_3\text{AsO}_4$	$\Delta G_4 = -183,0 + 0,308 \cdot T$
5	$\text{As}_2\text{S}_3 + 3\text{Na}_2\text{S} = 2\text{Na}_3[\text{AsS}_3]$	$\Delta G_5 = -1773,8 - 0,1664 \cdot T$
6	$\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{Na}_2\text{S} = 3\text{MgS} + 2\text{Na}_3\text{AsO}_4$	$\Delta G_6 = 534,86 - 0,2117 \cdot T$
7	$\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{Na}_2\text{S} = 3\text{CaS} + 2\text{Na}_3\text{AsO}_4$	$\Delta G_7 = -312,8 - 0,209 \cdot T$
8	$\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{S} = \text{MgS} + 2\text{NaOH}$	$\Delta G_8 = 52,5 + 0,0547 \cdot T$
9	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{S} = \text{CaS} + 2\text{NaOH}$	$\Delta G_9 = -175,0 + 0,07 \cdot T$

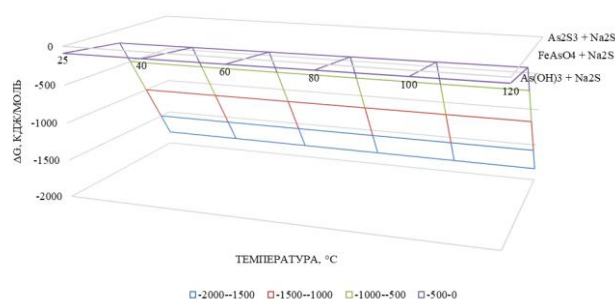


Рис.3. Температурная зависимость свободной энергии Гиббса (ΔG) исследуемых реакций взаимодействия мышьяксодержащих соединений с сульфидом натрия.

Как показано на рисунке 3, изменение свободной энергии Гиббса исследуемых реакций существенно зависит от температуры. Для реакций взаимодействия мышьяк-содержащих соединений с сульфидом натрия значения ΔG сохраняют отрицательный характер во всём исследуемом диапазоне температур 25–120 °С, что свидетельствует об их термодинамической реализуемости. Наиболее благоприятные условия процесса наблюдаются при 40–60 °С, где обеспечивается высокая селективность удаления мышьяка при минимальных потерях железа и расходе реагента. Дальнейшее повышение температуры сопровождается увеличением вероятности разложения Na_2S и выделения H_2S , что снижает технологическую эффективность процесса.

Анализ результатов показывает, что характер изменения энергии Гиббса существенно различается для соединений железа и мышьяка. Для реакции взаимодействия гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ с Na_2S величина ΔG остаётся положительной во всём исследуемом температурном диапазоне 25–120 °С. Это свидетельствует о высокой термодинамической устойчивости железосодержащих соединений и отсутствии условий для их растворения или разрушения. Следовательно, использование Na_2S практически не приводит к потерям железа и обеспечивает сохранение железоксидной основы пигмента.

Совершенно иной характер наблюдается для соединений мышьяка. Для реакций образования As_2S_3 , Na_3AsO_4 и $\text{Na}_3[\text{AsS}_3]$ значения свободной энергии Гиббса имеют отрицательные значения, что свидетельствует о самопроизвольном протекании данных процессов. Наиболее энергетически выгодной является реакция образования тиоарсенитного комплекса $\text{Na}_3[\text{AsS}_3]$, для которой величина ΔG достигает $-1773,8-0,1664T$ кДж/моль, что значительно превышает по абсолютному значению остальные исследованные реакции. Полученный результат указывает на высокую вероятность полного перевода мышьяка в растворимые соединения при обработке пигмента раствором сульфида натрия.

Сравнение термодинамического поведения соединений кальция и магния показало

различную устойчивость данных компонентов. Реакции с участием кальция характеризуются отрицательными значениями ΔG , тогда как для гидроксидов и арсенатов магния свободная энергия Гиббса остаётся положительной. Следовательно, соединения магния практически не участвуют в процессах сульфидизации, тогда как кальций способен вступать в ограниченное взаимодействие с Na_2S без существенного влияния на селективность очистки.

Для более детальной оценки технологических параметров проведён анализ влияния температуры на изменение энергии Гиббса исследуемых реакций. Установлено, что повышение температуры до 40–60 °С сопровождается увеличением скорости химических превращений при сохранении отрицательных значений ΔG для соединений мышьяка. При дальнейшем увеличении температуры возрастает вероятность гидролиза Na_2S и выделения H_2S , что приводит к увеличению расхода реагента и ухудшению экологических показателей процесса. Поэтому диапазон 40–60 °С следует считать наиболее рациональным для реализации процесса селективной очистки.

Полученные результаты хорошо согласуются с современными представлениями о механизме взаимодействия сульфидов с мышьяк-содержащими соединениями, опубликованными в работах Johnson, Bulaev, Liu и других исследователей. Аналогично литературным данным, в настоящем исследовании подтверждено, что соединения железа обладают значительно большей термодинамической устойчивостью по сравнению с соединениями мышьяка, что обеспечивает высокую селективность процесса удаления токсичного компонента.

Таким образом, выполненные исследования показали, что использование сульфида натрия позволяет эффективно разделять соединения железа и мышьяка за счёт различной термодинамической устойчивости исследуемых фаз. При содержании железа 63,5 mass.% и мышьяка 3,29 mass.% разработанный подход обеспечивает сохранение железосодержащего пигмента и перевод мышьяка в растворимые сульфидные соединения. Полученные результаты создают научную основу для разработки экологически безопасной технологии перера-

ботки техногенных растворов и получения железооксидных пигментов с пониженным содержанием токсичных примесей.

Вывод. Проведённые исследования позволили научно обосновать возможность селективного удаления мышьяка из железооксидных пигментов, полученных при нейтрализации растворов биоокисления золото-содержащих сульфидных концентратов. Рентгенофлуоресцентный анализ показал, что исследуемый пигмент содержит 63,5 mass.% железа и 3,29 mass.% мышьяка, что обуславливает необходимость предварительной очистки перед его промышленным использованием. Выполненный термодинамический анализ подтвердил, что взаимодействие мышьяксодержащих соединений с сульфидом натрия сопровождается отрицательными значениями свободной энергии Гиббса, тогда как соединения железа сохраняют термодинамическую устойчивость в исследуемом температурном диапазоне. Это свидетельствует о высокой селективности процесса и возможности удаления мышьяка без существенных потерь железосодержащей основы пигмента. Наиболее благоприятные условия реализации процесса установлены при темпе-

ратуре 40–60 °С, при которой достигается максимальная термодинамическая вероятность протекания реакций при минимальном расходе реагента.

Полученные результаты расширяют научные представления о механизме взаимодействия соединений мышьяка и железа с сульфидом натрия и могут служить теоретической основой для разработки экологически безопасной технологии переработки техногенных растворов, образующихся после биоокисления. Предложенный подход обеспечивает снижение содержания токсичных компонентов в железооксидных пигментах, повышает возможности их дальнейшего промышленного использования и способствует комплексной переработке металлургических отходов с получением продукции, соответствующей современным экологическим требованиям. Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение экспериментальной проверки рассчитанных термодинамических закономерностей в лабораторных и опытно-промышленных условиях с оценкой кинетических параметров процесса и эффективности очистки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ


- [1] Хожиев, Ш. Т., Тошкочирова, Р. Э., & Кенжаева, С. А. (2026). Термодинамическое обоснование селективной очистки железооксидного пигмента от мышьяка, полученного из биоокислительных растворов. *Черные металлы*, (3), 85–91.
- [2] Кенжаева, С. А., & Тошкочирова, Р. Э. (2025). Исследование переработки растворов, образующихся при биологическом окислении упорных золотосодержащих руд. *Development of Science*, 2(6).
- [3] Тошкочирова, Р. Э., Кенжаева, С. А., & Учкунув, А. Т. (2026). Оптимизация параметров процесса экстракции при извлечении ионов тяжёлых металлов из растворов после биоокисления. *International Journal of Scientific Bulletin*, 3(1), 24–29.
- [4] Kuskov, V. B., Lvov, V. V., & Yushina, T. I. (2021). Increasing the recovery ratio of iron ores in the course of preparation and processing. *CIS Iron and Steel Review*, 21, 4–8.
- [5] Багилли, Г. И., & Аббазова, К. М. (2019). Биологическое выщелачивание бактериями *Thiobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus ferrooxidans*. В Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: Сборник статей Международной научно-практической конференции (с. 11–15). ОмГТУ.
- [6] Johnson, D. B. (2014). Biomining: Biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials. *Current Opinion in Biotechnology*, 30, 24–31.
- [7] Кондратьева, Т. Ф., Булаев, А. Г., & Муравьев, М. И. (2015). Микроорганизмы в биоготехнологиях переработки сульфидных руд. *Наука*.

- [8] Орехова, Н. Н., & Шадрунова, И. В. (2014). Эколого-экономические аспекты комплексной переработки техногенного гидроминерального сырья. Горный информационно-аналитический бюллетень, 161–179.
- [9] Lottermoser, B. G. (2010). Mine wastes: Characterization, treatment and environmental impacts. Springer.
- [10] Bulaev, A., Belyi, A., Panyushkina (Zhuravleva), A., Solopova, N., & Pivovarova, T. (2017). Microbial population of industrial biooxidation reactors. Solid State Phenomena, 262, 48–52.
- [11] Санакулов, К. С. (2014). Особенности технологии извлечения металла из упорных и особо упорных золотосульфидно-мышьяковистых руд. Горный вестник Узбекистана, (2), 33–36.
- [12] Митерев, Г. А., & Черкинский, С. Н. (1954). Санитарная охрана водоёмов от загрязнения промышленными сточными водами. Медгиз.
- [13] Habashi, F. (2021). Extractive metallurgy: Metallurgy of the environment. Elsevier.
- [14] Liu, Y., Wang, X., Zhang, H., & Li, J. (2022). Thermodynamic analysis of arsenic stabilization and removal during hydrometallurgical processing of metallurgical wastes. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(6), Article 108742.
- [15] Zhang, L., Qiu, G., Xia, J., & Liu, X. (2023). Recent advances in biohydrometallurgy for the treatment of arsenic-bearing sulfide concentrates and metallurgical wastes. Minerals Engineering, 202, Article 108270.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Тошкодирова, Р. Э., & Кенжаева, С. А. (2026). Термодинамические основы селективной очистки железистооксидных пигментов от мышьяка, полученных из растворов биоокисления. Цифровые технологии в промышленности, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.28>

UDC: 620.3:544.6:546.56

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.29

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

COPPER PHOSPHIDE (Cu_3P): A MODERN REVIEW OF SYNTHESIS METHODS, ELECTROCHEMICAL PROPERTIES, AND ANTICORROSION APPLICATIONS



Kholikulov Doniyor Bakhtiyorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Almalyk State Technical
Institute, Almalyk, Uzbekistan
E-mail: Kholikulov.d@tdtuof.uz
ORCID ID: 0000-0001-6968-9297
Science ID: DTV-0225-0001



Sharopova Durdona Yuldosh kizi

Doctoral Student, Department of Metallurgy, Almalyk State
Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan
E-mail: durdonasharopova9@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-1781-3483
Science ID: MTV-0326-0050

Abstract. This review presents a comparative analysis of recent advances in the synthesis technologies, crystal structure, electrochemical properties, and anticorrosion applications of copper phosphide (Cu_3P)-based materials. Twenty peer-reviewed publications were critically evaluated to compare ionothermal, hydrothermal, mechanochemical, colloidal, vapor-phase phosphorization, and pyrometallurgical synthesis routes. The influence of synthesis strategy on phase composition, morphology, electrochemical performance, and corrosion resistance was systematically assessed. The analysis demonstrates that Cu_3P -based nanostructured materials exhibit significant potential for electrochemical energy storage, electrocatalysis, and industrial corrosion protection, making them promising multifunctional materials for sustainable engineering applications.

Keywords: copper phosphide, Cu_3P , synthesis methods, electrochemical properties, energy storage, electrocatalysis, anticorrosion coatings, nanostructured materials, pyrometallurgical recycling, review.

Received: 30.05.2026

Accepted: 29.06.2026

Published: 29.06.2026

ФОСФИД МЕДИ (Cu_3P): СОВРЕМЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОТИВОКОРРОЗИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Холикулов Дониёр Бахтиёрвич

Доктор технических наук (DSc), профессор Алмалыкского
государственного технического института, Алмалык,
Узбекистан

Шаропова Дурдона Юлдош кизи

Докторант кафедры «Металлургия» Алмалыкского
государственного технического института, Алмалык,
Узбекистан

Аннотация. В данной обзорной статье представлен сравнительный анализ современных исследований, посвящённых технологиям синтеза, кристаллической структуре, электрохимическим свойствам и противокоррозионному применению материалов на основе фосфида меди (Cu_3P). Проанализированы двадцать рецензируемых научных публикаций, рассмотрены преимущества и ограничения ионотермального, гидротермального, механохимического, коллоидного, парофазного и пирометаллургического методов синтеза. Вы-

полнена оценка влияния способа получения на фазовый состав, морфологию, электрохимические характеристики и коррозионную стойкость материала. Результаты анализа подтверждают высокий потенциал наноструктурированных материалов на основе Cu_3P для систем накопления энергии, электрокатализа и защиты металлических конструкций от коррозии.

Ключевые слова: фосфид меди, Cu_3P , методы синтеза, электрохимические свойства, накопление энергии, электрокатализ, противокоррозионные покрытия, наноструктурированные материалы, пирометаллургическая переработка, обзор.

MIS FOSFIDI (Cu_3P): SINTEZ USULLARI, ELEKTROKIMYOVIY XOSSALARI VA KORROZIYAGA QARSHI QO‘LLANILISHINING ZAMONAVIY TAHLILI

Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich

Texnika fanlari doktori (DSc), professor, Olmaliq davlat texnika instituti, Olmaliq, O‘zbekiston

Sharopova Durdona Yo‘ldosh qizi

Olmaliq davlat texnika instituti “Metallurgiya” kafedrası doktoranti, Olmaliq, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu sharh maqolada mis fosfidi (Cu_3P) asosidagi materiallarning sintez texnologiyalari, kristall tuzilishi, elektrokimyoviy xossalari hamda korroziyaga qarshi qo‘llanilishi bo‘yicha zamonaviy ilmiy tadqiqotlar tahlil qilindi. Yigirmata nufuzli ilmiy manba qiyosiy baholanib, ionotermik, gidrotermal, mexanokimyoviy, kolloid, bug‘ fazali fosforizatsiya va pirometallurgik qayta ishlash usullarining afzalliklari hamda cheklovlari aniqlandi. Shuningdek, sintez usullarining materialning faza tarkibi, morfologiyasi, elektrokimyoviy samaradorligi va korroziyaga chidamliligiga ta‘siri baholandi. Tahlil natijalari Cu_3P asosidagi nanostrukturali materiallar energiya saqlash qurilmalari, elektrokataliz va sanoat korroziyasidan himoyalash sohalarida istiqbolli ko‘p funksiyali material ekanligini ko‘rsatdi. **Kalit so‘zlar:** mis fosfidi, Cu_3P , sintez usullari, elektrokimyoviy xossalari, energiya saqlash, elektrokataliz, korroziyaga qarshi qoplamalar, nanostrukturali materiallar, pirometallurgik qayta ishlash, sharh.

Introduction. The increasing global demand for clean energy technologies, together with the continuous deterioration of industrial infrastructure, has accelerated the development of multifunctional materials capable of simultaneously enhancing electrochemical energy conversion and long-term corrosion protection. According to recent estimates, corrosion-related damage accounts for approximately 3–4% of the global gross domestic product (GDP), highlighting the urgent need for cost-effective and environmentally sustainable protective materials [8]. Simultaneously, the growing market for lithium-ion batteries, supercapacitors, and water-splitting technologies requires electrode materials with high electrical conductivity, structural stability, and excellent electrochemical activity [2].

Among transition metal phosphides (TMPs), copper phosphide (Cu_3P) has emerged as one of the most promising multifunctional materials because of its metallic conductivity, low toxicity, high

electrical conductivity, and unique hexagonal crystal structure. Recent studies have demonstrated that Cu_3P exhibits outstanding electrochemical performance, particularly when integrated into hierarchical nanostructures. For example, $Cu_3P@3DG$ hybrid electrodes deliver a reversible capacity of approximately 440 mAh g^{-1} while maintaining more than 88% capacity retention after 50 charge–discharge cycles, indicating remarkable structural stability during repeated lithium insertion and extraction [14].

Despite these advantages, practical application of Cu_3P remains challenging because of the severe volume expansion exceeding 150% during deep lithiation, which causes particle pulverization, electrical disconnection, and rapid capacity degradation [5]. In addition, bulk Cu_3P electrocatalysts generally exhibit limited catalytic activity owing to insufficient active surface sites and unfavorable adsorption energies for reaction intermediates. Consequently, improving structural

stability through morphology control, defect engineering, and optimized synthesis strategies has become a major research priority.

Besides energy-storage applications, copper phosphide and its phosphate derivatives have recently attracted considerable attention as environmentally friendly anticorrosive materials. Experimental investigations revealed that waste-derived $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ pigments reduce the corrosion current density (i_{corr}) from $12.1 \mu\text{A cm}^{-2}$ for conventional coating systems to only $0.018 \mu\text{A cm}^{-2}$, corresponding to approximately a 65-fold improvement in corrosion resistance. Such performance demonstrates the significant potential of copper phosphide-based materials for extending the service life of steel structures operating under aggressive industrial environments [11].

Although numerous synthesis techniques—including ionothermal, hydrothermal, solvothermal, mechanochemical, colloidal, vapor-phase phosphorization, and pyrometallurgical recycling routes—have been reported, most previous investigations focus on individual preparation methods or specific applications. Comprehensive analyses establishing quantitative relationships between synthesis parameters, crystal structure, electrochemical behavior, and anticorrosive performance remain limited [1, 9]. Furthermore, environmentally sustainable production routes utilizing industrial copper-containing waste have not yet been systematically integrated with advanced energy applications.

Therefore, the present study provides a comprehensive critical analysis of six advanced synthesis routes for Cu_3P nanostructures by integrating data from twenty peer-reviewed studies. Particular emphasis is placed on correlating synthesis methodology with crystallographic evolution, electrochemical performance, corrosion resistance, and industrial scalability. The findings provide a unified scientific framework for the rational design of high-performance copper phosphide materials applicable to next-generation electrochemical energy systems and sustainable anticorrosive engineering [15].

Materials and Methods. This study presents a comprehensive review of recent advances in copper phosphide (Cu_3P) synthesis and applications based on the analysis of 20 peer-reviewed

publications. The selected studies were evaluated according to synthesis methodology, crystal structure, electrochemical performance, corrosion resistance, and industrial applicability [4].

The reviewed synthesis methods were classified into six categories: ionothermal, hydrothermal/solvothermal, mechanochemical, colloidal, vapor-phase phosphorization, and waste-derived pyrometallurgical synthesis. Comparative analysis was performed considering reaction conditions, phase composition, morphology, scalability, and environmental sustainability.

Electrochemical performance was assessed using specific capacity, capacity retention, HER and OER overpotentials, and Tafel slope, while corrosion behavior was evaluated using corrosion potential (E_{corr}) and corrosion current density (i_{corr}) measured in 3 wt.% NaCl solution. The collected data were systematically compared to establish structure–property relationships and to identify the most promising Cu_3P synthesis strategies for electrochemical energy storage and industrial anticorrosive applications [12].

This review systematically analyzes 20 peer-reviewed publications on Cu_3P -based materials to establish the relationship between synthesis strategy, crystal structure, electrochemical properties, and anticorrosion performance. Six representative synthesis approaches were comparatively evaluated, including ionothermal, hydrothermal/solvothermal, mechanochemical, colloidal, vapor-phase phosphorization, and waste-derived pyrometallurgical synthesis. The reported processing conditions covered a temperature range of 150–1110 °C and reaction times from 2 to 48 h, enabling comparison of phase evolution, morphology, and material purity [7].

The comparative assessment was performed using quantitative performance indicators reported in the selected studies, including specific capacity (up to 440 mAh g^{-1}), capacity retention after 50 cycles ($>88\%$), HER and OER overpotentials (120–415 mV), Tafel slopes ($72\text{--}104 \text{ mV dec}^{-1}$), as well as corrosion potential (E_{corr}) and corrosion current density (i_{corr}) measured in 3 wt.% NaCl solution. Particular attention was devoted to waste-derived $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ pigments, which reduced i_{corr} from 12.1 to $0.018 \mu\text{A cm}^{-2}$, corresponding to an approximately 65-fold improvement in corrosion

resistance [3].

The collected experimental data were critically compared to identify structure–property relationships and to determine the most effective Cu₃P synthesis route for high-performance electrochemical energy storage, electrocatalysis, and sustainable industrial anticorrosive applications.

Results and Discussion. The comparative analysis of twenty published studies demonstrates that the synthesis route is the primary factor controlling the crystal structure, morphology, and functional performance of Cu₃P-based materials. Ionothermal and solvothermal methods provide high phase purity with controlled copper vacancies, whereas mechanochemical synthesis produces nanocrystalline particles (~20 nm) with enhanced structural defects that improve electrochemical activity [10]. In contrast, vapor-phase phosphorization directly forms Cu₃P nanostructures on three-dimensional copper substrates, resulting in superior electrical conductivity and excellent interfacial contact. The waste-derived pyrometallurgical process carried out at 1110 °C produced highly crystalline Cu₃P alloys with phosphorus contents of 7.62–8.00 wt.%, corresponding to commercial Mf9 and MFO grades [6].

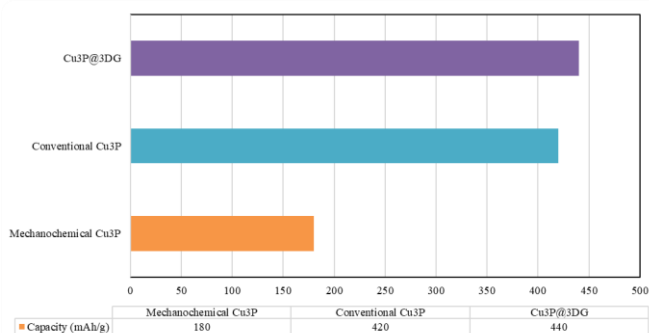


Fig.1. Comparison of the specific capacity of Cu₃P-based electrode materials reported in the literature.

The electrochemical performance strongly depends on the structural architecture of Cu₃P. Conventional Cu₃P electrodes exhibit capacities of approximately 180–420 mAh g⁻¹, whereas Cu₃P@3DG hybrid electrodes achieve a reversible capacity of 440 mAh g⁻¹ with more than 88% capacity retention after 50 cycles. This remarkable

improvement is attributed to the three-dimensional graphene framework, which effectively accommodates the volume expansion (>150%) occurring during lithiation–delithiation processes and maintains electrical conductivity throughout repeated cycling [13]. In comparison, Cu₃-xP materials synthesized by ionothermal methods exhibit moderate cycling stability due to copper-vacancy migration and gradual phase degradation.

A similar trend was observed for electrocatalytic water splitting. Binder-free Cu₃P nanobush arrays grown directly on copper mesh exhibited HER overpotentials of 120 mV in acidic media and OER overpotentials of 380 mV in alkaline electrolyte, together with Tafel slopes ranging from 72 to 104 mV dec⁻¹. These results indicate that direct integration of Cu₃P with conductive substrates significantly accelerates charge-transfer kinetics and enhances catalytic efficiency compared with conventional particulate catalysts.

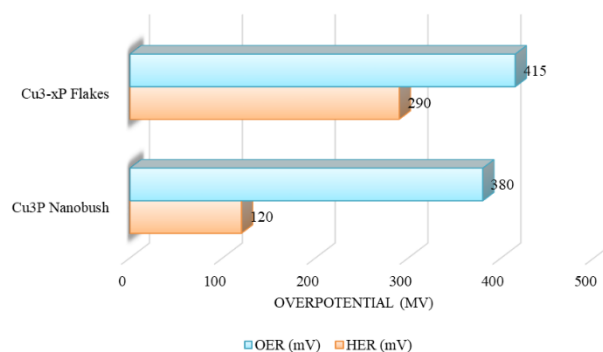


Fig.2. Comparison of HER and OER overpotentials of Cu₃P-based electrocatalysts. Cu₃P nanobushes exhibit lower overpotentials (HER: 120 mV; OER: 380 mV) than Cu₃-xP flakes, indicating superior electrocatalytic activity for overall water splitting.

The corrosion studies further demonstrate the multifunctionality of Cu₃P-derived materials. Copper phosphate pigments prepared from spent electroplating electrolytes substantially improved corrosion resistance in 3 wt.% NaCl solution by reducing the corrosion current density (*i*_{corr}) from 12.1 μA cm⁻² for the blank coating to 0.018 μA cm⁻² for the optimized formulation, representing an approximately 65-fold decrease in corrosion rate. The improved performance is associated with the formation of a compact phosphate-based passive film that suppresses anodic iron dissolution and

increases coating durability under aggressive environments.

Overall, the comparative evaluation indicates that although each synthesis route offers specific advantages, environmentally sustainable pyrometallurgical recycling combined with advanced nanostructural engineering provides the most promising strategy for producing multifunctional Cu_3P materials. Such an approach simultaneously ensures high electrochemical performance, excellent corrosion protection, industrial scalability, and efficient utilization of secondary copper-containing resources, thereby supporting the principles of sustainable materials engineering and circular economy.

Conclusions. The comparative evaluation of six Cu_3P synthesis strategies demonstrates that the preparation route has a decisive influence on phase composition, crystal structure, electrochemical behavior, and anticorrosion performance. Among the investigated methods, environmentally sustainable pyrometallurgical recycling of copper-containing industrial waste provides a scalable route for producing high-purity Cu_3P alloys with phosphorus contents of 7.62–8.00 wt.%, while advanced nanostructured architectures significantly enhance electrochemical performance. Graphene-supported Cu_3P electrodes exhibit a reversible

capacity of 440 mAh g^{-1} with more than 88% capacity retention after 50 cycles, whereas $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ pigments reduce the corrosion current density from 12.1 to 0.018 $\mu\text{A cm}^{-2}$, corresponding to an approximately 65-fold improvement in corrosion resistance. These findings confirm that structural engineering and optimized synthesis play a critical role in improving the multifunctional characteristics of Cu_3P -based materials. Overall, Cu_3P -based multifunctional materials represent a promising platform for next-generation electrochemical energy storage, electrocatalytic water splitting, and industrial corrosion protection. Integrating advanced nanostructure design with sustainable recycling technologies offers significant opportunities for improving material performance while supporting circular economy principles through the efficient utilization of secondary copper resources. Future research should focus on large-scale production, long-term operational stability, defect-controlled structural optimization, and in situ characterization techniques to accelerate the industrial implementation of Cu_3P -based functional materials.

REFERENCES


- [1] Aitken, J. A., Ganzha-Hazen, V., & Brock, S. L. (2005). Solvothermal syntheses of Cu_3P via reactions of amorphous red phosphorus with a variety of copper sources. *J. Solid State Chem.*, 178(4), 970–975.
- [2] Stan, M. C., et al. (2014). Cu_3P Binary Phosphide: Synthesis via Wet Mechanochemical Method and Electrochemical Behavior as Negative Electrode. *Adv. Energy Mater.*, 4(1), 1301270.
- [3] Kumar, S., et al. (2020). Three-Dimensional Graphene-Decorated Copper-Phosphide ($\text{Cu}_3\text{P}@3\text{DG}$) Heterostructure as an Effective Electrode for a Supercapacitor. *Front. Mater.*, 7, 30.
- [4] Wolff, A., et al. (2016). Resource-Efficient High-Yield Ionothermal Synthesis of Microcrystalline $\text{Cu}_3\text{-xP}$. *Inorg. Chem.*, 55(11), 4991–4998.
- [5] Sheets, E. J., et al. (2015). An in situ phosphorus source for the synthesis of Cu_3P and subsequent conversion to Cu_3PS_4 nanoparticle clusters. *J. Mater. Res.*, 30(21), 3125–3133.
- [6] Wei, S., et al. (2017). One-Step Synthesis of a Self-Supported Copper Phosphide Nanobush for Overall Water Splitting. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9(3), 2305–2313.
- [7] Wolff, A., et al. (2018). Low-Temperature Tailoring of $\text{Cu}_3\text{-xP}$ – Electric Properties, Phase Transitions and Performance in Lithium-Ion Batteries. *Chem. Mater.*, 30(21), 7111–7123.
- [8] Sharopova, D. Y. (2025). Anti-Corrosive Properties of Copper Phosphide / Copper Phosphate ($\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$) Derived from Spent Copper Plating Electrolytes. *Universum: Technical Sciences*, 9(138), 62–66.

- [9] Zhao, M., Fang, T., Ni, L., & Shen, Y. (2022). MOF-derived inverse opal Cu₃P@C with multi-stage pore structure as the superior anode material for lithium-ion batteries. *Ceramics International*, 48(24), 36586–36595.
- [10] Bi, M., Yang, F., Wang, T., & Guo, Z. (2023). Controllable synthesis and super electrochemical stability of copper phosphide (Cu₃P) nanosheet catalysts in nearly neutral electrolyte. *Materials Chemistry and Physics*, 307, 128013.
- [11] Ma, X., Huang, X., & Lachgar, A. (2024). Direct Synthesis of CuP₂ and Cu₃P and Their Performance as Electrocatalysts for Hydrogen Evolution, Oxygen Evolution, and Oxygen Reduction Reactions. *Solids*, 5(1), 140–150.
- [12] Jin, M., Zhang, Y., Liu, H., et al. (2024). Heterostructure Cu₃P–Ni₂P electrocatalyst assembled on conductive substrates for highly efficient overall water splitting. *Nano Research*.
- [13] Shen, H., Zhang, Q., Li, X., et al. (2023). Copper phosphide nanowires as high-performance catalysts for efficient water splitting. *ACS Omega*, 8, 21844–21854.
- [14] Harper, A. F., Evans, M. L., & Morris, A. J. (2020). Computational investigation of copper phosphides as conversion anodes for lithium-ion batteries. *Chemistry of Materials*, 32(14), 6004–6015.
- [15] Pfeiffer, H., Tancret, F., Bichat, M.-P., Monconduit, L., Favier, F., & Brousse, T. (2004). Air stable copper phosphide (Cu₃P): A possible negative electrode material for lithium batteries. *Electrochemistry Communications*, 6(3), 263–267.
- [16] Yakubov, M. M., Kholikulov, D. B., Sharapova, D. Y., & Boltayev, O. N. (2022). Technology for Obtaining Copper Phosphide (Cu₃P) in the Form of Solders and an Alloying Component of Copper-Based Alloys. *Composite Materials*, 2/2022, 165–166.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Kholikulov, D. B., & Sharopova, D. Y. (2026). Copper phosphide (Cu₃P): A modern review of synthesis methods, electrochemical properties, and anticorrosion applications. *Digital Technologies in Industry*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.29>

УДК: 669.5/.6:669.054.8:669.8

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.32

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫХ ШЛАМОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА



**Мирзанова Зулфизар
Анваржановна**

Ведущий инженер технического
отдела Дирекции по
строительству
металлургического комплекса АО
«Алмалыкский горно-
металлургический комбинат»,
Алмалык, Узбекистан
E-mail: za.mirzanova@agmk.uz
ORCID ID: 0009-0000-6907-3900
Science ID: FTV1225-0066



**Эшонкулов Учқун
Худайназар угли**

PhD, заведующий кафедрой
геологии и горного дела
Каршинского государственного
технического университета,
Карши, Узбекистан
E-mail:
uchqun.eshonqulov91@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-8415-7218
Science ID: FQD-0225-0022



**Ваккасов Бахтияр
Абдураимович**

Директор МПЗ, АО
«Алмалыкский горно-
металлургический комбинат»,
Алмалык, Узбекистан
E-mail: b.vakkasov@agmk.uz
ORCID ID: 0009-0006-0888-7824
Science ID: BTV-0626-0034

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования свинцово-висмутовых шламов, образующихся при сернокислотном производстве в металлургии меди. Проведен анализ физико-химических свойств шлама, включая влажность, гранулометрический состав, плотность и кислотность среды. Установлено, что шлам содержит значительные количества свинца, висмута, меди, цинка и благородных металлов, что определяет его промышленную ценность как вторичного сырья. Разработана и экспериментально обоснована эффективная гидрометаллургическая технология переработки, включающая стадии водной промывки, солевого выщелачивания, карбонизации и термической обработки. Показано, что при оптимальных параметрах процесса достигается селективное извлечение свинца в раствор с сохранением благородных металлов в твердой фазе. Получен карбонат свинца с последующим преобразованием в металлический свинец высокой чистоты. Предложенная технология обеспечивает комплексное использование сырья, снижение экологической нагрузки и повышение ресурсной эффективности металлургического производства.

Ключевые слова: свинцово-висмутовый шлам, выщелачивание, карбонизация, свинец, благородные металлы, переработка.

Received: 25.06.2026

Accepted: 29.06.2026

Published: 29.06.2026

METALLURGIYA ISHLAB CHIQRISHI QO‘RG‘OSHIN-VISMUT SHLAMLARINI SELEKTIV ERITISH VA QAYTA ISHLASH TEKNOLOGIYASI

**Mirzanova Zulfizar
Anvarjonovna**

*“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ, Metallurgiya
majmuasi qurilish direksiyasi texnik
bo’limi yetakchi muhandisi,
Olmaliq, O’zbekiston*

**Eshonqulov Uchqun
Xudoynazar o’g’li**

*PhD, Qarshi davlat texnika
universiteti, Geologiya va konchilik
ishi kafedrasini mudiri, Qarshi,
O’zbekiston*

**Vakkasov Baxtiyor
Abdurahimovich**

*“Olmaliq kon-metallurgiya
kombinati” AJ, Misni qayta ishlash
zavodi (MPZ) direktori, Olmaliq,
O’zbekiston*

Annotatsiya. Ushbu maqolada mis metallurgiyasining sulfat kislotada ishlab chiqarish jarayonida hosil bo’ladigan qo’rg’oshin–vismut shlamlarini kompleks tadqiq etish natijalari keltirilgan. Shlamning namligi, granulometrik tarkibi, zichligi va muhit kislotaliligi kabi fizik-kimyoviy xossalari tahlil qilindi. Tadqiqotlar natijasida shlam tarkibida qo’rg’oshin, vismut, mis, rux hamda qimmatbaho metallar sezilarli miqdorda mavjudligi aniqlanib, uning ikkilamchi xomashyo sifatidagi sanoat ahamiyati asoslandi. Shlamni qayta ishlash uchun suvda yuvish, tuz eritmasida selektiv eritish, karbonizatsiya va termik ishlov berish bosqichlarini o’z ichiga olgan samarali gidrometallurgik texnologiya ishlab chiqildi. Jarayonning maqbul parametrlarida qo’rg’oshinning eritmaga selektiv o’tishi va qimmatbaho metallarning qattiq fazada saqlanib qolishi ta’minlandi. Natijada yuqori tozalikdagi metall qo’rg’oshin olish imkoniyati yaratildi. Taklif etilgan texnologiya metallurgiya chiqindilaridan kompleks foydalanish, ekologik yuklamani kamaytirish va resurslardan samarali foydalanishni ta’minlaydi.

Kalit so’zlar: qo’rg’oshin–vismut shlami, selektiv eritish, karbonizatsiya, qo’rg’oshin, qimmatbaho metallar, gidrometallurgiya, qayta ishlash.

TECHNOLOGY OF SELECTIVE LEACHING AND PROCESSING OF LEAD– BISMUTH SLUDGES FROM METALLURGICAL PRODUCTION

**Mirzanova Zulfizar
Anvarjonovna**

*Lead Engineer, Technical
Department, Directorate for the
Construction of the Metallurgical
Complex, JSC “Almalyk Mining
and Metallurgical Combine”,
Almalyk, Uzbekistan*

**Eshonkulov Uchkun
Khudoynazar ugli**

*PhD, Head of the Department of
Geology and Mining, Karshi State
Technical University, Karshi,
Uzbekistan*

**Vakkasov Bakhtiyor
Abdurahimovich**

*Director of the Copper Smelter
(MPZ), JSC “Almalyk Mining and
Metallurgical Combine”, Almalyk,
Uzbekistan*

Abstract. This paper presents the results of a comprehensive study of lead–bismuth sludges generated during sulfuric acid production in copper metallurgy. The physicochemical properties of the sludge, including moisture content, particle size distribution, density, and acidity, were investigated. The results confirmed the presence of significant amounts of lead, bismuth, copper, zinc, and precious metals, demonstrating the industrial value of the sludge as a secondary raw material. An efficient hydrometallurgical processing technology was developed, incorporating water washing, selective salt leaching, carbonation, and thermal treatment. Experimental studies showed that, under optimal operating conditions, lead was selectively transferred into solution while precious metals remained in the solid residue. High-purity metallic lead was subsequently obtained from the produced lead carbonate. The proposed technology promotes comprehensive utilization of metallurgical waste, reduces environmental impact, and improves resource efficiency.

Keywords: lead–bismuth sludge, selective leaching, carbonation, lead, precious metals, hydrometallurgy, processing.

Введение. Переработка и утилизация отходов металлургического производства рассматриваются как один из ключевых факторов обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования в условиях индустриального развития.

Металлургическая отрасль относится к числу наиболее ресурсоемких и экологически нагруженных секторов промышленности, формирующих значительные объемы твердых и дисперсных отходов [7]. В их состав входят шлаки, пылевые фракции, шламы и другие

техногенные образования, содержащие широкий спектр токсичных и потенциально опасных компонентов, способных оказывать негативное воздействие на почвенные, водные и атмосферные экосистемы, а также на здоровье населения [2, 5].

В связи с этим формирование эффективной системы обращения с отходами металлургического производства приобретает приоритетное значение. Научно обоснованные подходы к переработке и утилизации данных отходов направлены не только на снижение уровня экологической нагрузки, но и на вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот. Технологические процессы переработки предусматривают физико-химическую обработку отходов с целью получения ценных компонентов и создания новых материалов, что способствует сокращению объемов захоронения и уменьшению потребности в первичном сырье [10]. Таким образом, интеграция методов утилизации и вторичного использования отходов является важным направлением повышения ресурсной эффективности и экологической устойчивости металлургического производства.

Материалы и методы. В металлургическом производстве меди значительное количество газообразных продуктов направляется на последующую переработку с целью получения серной кислоты. Образующийся технологический газ первоначально поступает в промывное отделение, где осуществляется его многоступенчатая очистка от твердых и растворимых примесей. Очищенный газ далее используется в контактном процессе синтеза серной кислоты. При этом улавливаемые примеси переходят в состав шламов, которые формируются в результате газоочистки [1].

Полученные шламы направляются на участок нейтрализации кислых сточных вод, после чего аккумулируются в специальных накопителях. В дальнейшем данные отходы транспортируются и складываются на территории металлургического предприятия. Длительная эксплуатация сернокислотного цеха привела к накоплению значительных объемов шламовых отходов, характеризующихся

повышенным содержанием тяжелых металлов и ценных компонентов, таких как свинец, висмут, медь и благородные металлы [6, 9].

Химический состав исследуемых шламов определялся с использованием стандартных методов аналитической химии, включая атомно-абсорбционный и гравиметрический анализ. Средние значения содержания основных компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Среднее содержание шлама производства серной кислоты

Компонент	Содержание, %								г/т	
	Pb	Cu	Zn	S _{общ}	S _{SO4}	MgO	CaO	Bi	Au	Ag
СВШ	45,0	2,6	0,4	11,0	8,1	0,1	1,23	0,4	5-10	250-400

Результаты и их обсуждение.

Исследуемый свинцово-висмутовый шлам (СВШ) характеризуется рядом физико-химических параметров, определяющих особенности его переработки. Влажность материала составляет в среднем 10–12 %, при этом в зависимости от сезонных условий возможны колебания в диапазоне 5–15 %. Исходная дисперсность шлама находится в пределах 0–20–30 мкм, однако в процессе длительного хранения в накопителях и естественной сушки происходит агломерация частиц с образованием агрегатов размером от 1 до 300 мкм, что приводит к неравномерности гранулометрического состава.

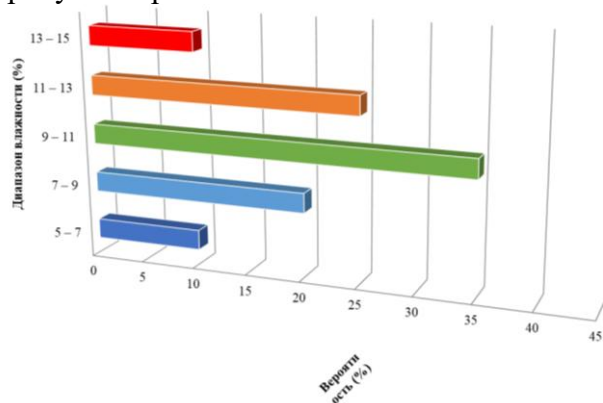


Рис.1. Вероятностное распределение влажности свинцово-висмутового шлама.

Минералогический состав шлама представлен преимущественно тонкодисперсным сульфатом свинца (PbSO₄), образующимся в виде возгонов при охлаждении технологических газов [12]. Истинная плотность

PbSO₄ составляет около 5 г/см³, тогда как насыпная плотность шлама в естественном состоянии достигает 2 г/см³, а при уплотнении — до 2,3 г/см³. Водородный показатель среды варьируется в пределах pH=2,5–3,5, что свидетельствует о кислой природе материала, обусловленной присутствием серной кислоты.

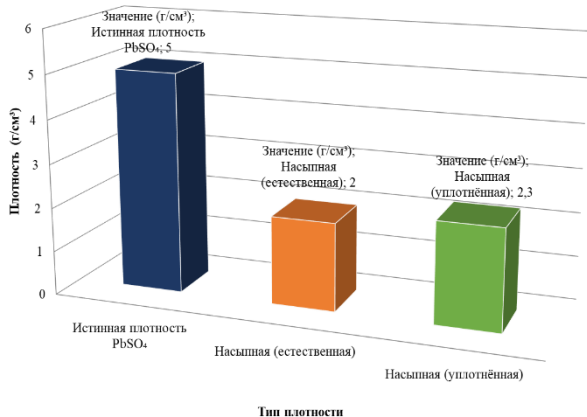


Рис.2. Истинная и насыпная плотность PbSO₄ в свинцово-висмуте шламе.

В качестве объекта исследования использовался свинцово-висмутый шлам сернокислотного производства с химическим составом, приведенным в таблице 1, а также с промышленно значимым содержанием благородных металлов, в частности золота и серебра.

Полученные результаты подтверждают целесообразность комплексной переработки данного техногенного сырья [13, 15].

В ходе исследований разработана технологическая схема переработки СВШ, направленная на получение очищенного карбоната свинца, пригодного для дальнейшего получения металлического свинца без стадии дополнительного рафинирования [8, 11]. Процесс включает последовательные стадии кислотного выщелачивания, горячей водной промывки, двухстадийного солевого выщелачивания, карбонизации, термической обработки и восстановительной плавки. Технологическая схема переработки свинцово-висмутевого шлама (рисунок 2).

Далее технологический процесс реализуется следующим образом. Для извлечения меди и цинка в раствор применялась горячая водная промывка при температуре 60–90 °С в течение 2 часов при соотношении твердого и

жидкого фаз Т:Ж=1:3. Промывка осуществлялась до достижения pH=5,5–6,0 при температуре около 80 °С. В результате формировался продуктивный раствор с концентрацией меди до 6 г/л и цинка до 20 г/л, пригодный для последующего извлечения данных металлов.

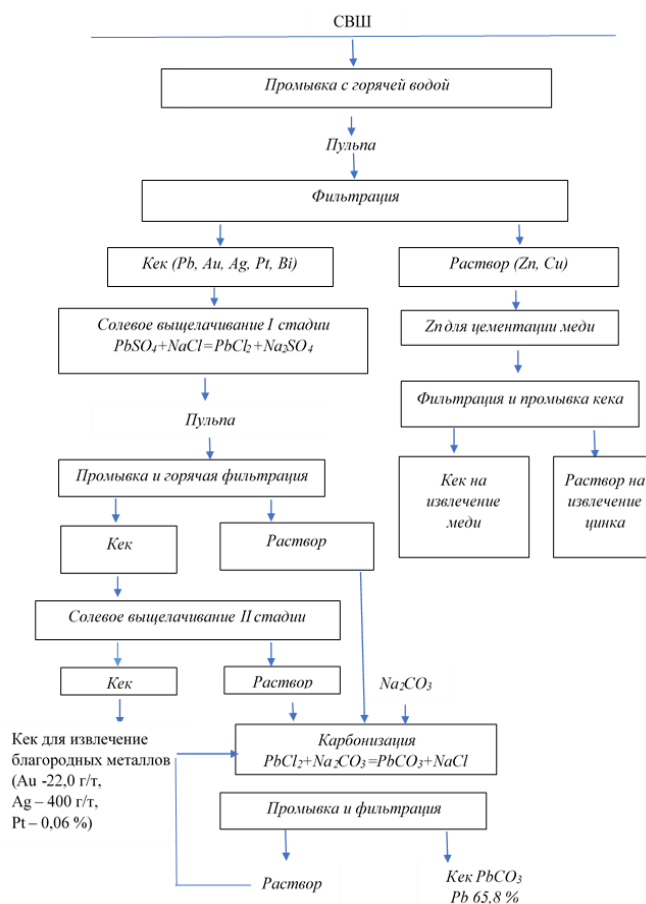


Рис.3. Технологическая схема получение карбоната свинца.

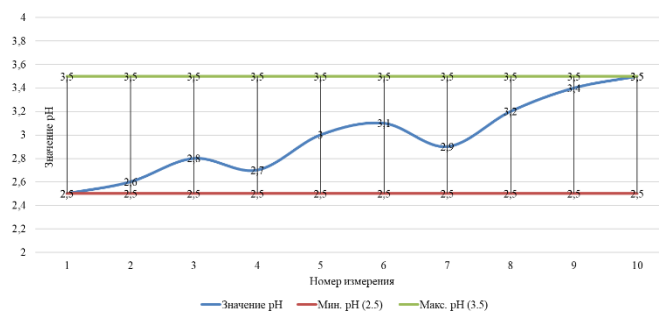


Рис.4. Изменение значений pH шлама по сериям измерений.

Оставшийся после промывки твердый остаток подвергался двухстадийному солево-выщелачиванию с использованием растворов хлорида натрия концентрацией 250 и 150 г/л

соответственно. Процесс проводился при температуре 90–95 °С, продолжительность каждой стадии составляла 2 часа при соотношении Т:Ж=1:3. После выщелачивания пульпа подвергалась фильтрации с целью отделения нерастворимых компонентов. Экспериментальные исследования позволили установить оптимальные параметры процесса, обеспечивающие максимальное извлечение свинца в раствор.

Полученный раствор хлорида свинца подвергался стадии карбонизации с использованием кальцинированной соды при доведении рН среды до 8,5–9. В результате протекала реакция образования карбоната свинца:



После карбонизации суспензия фильтровалась, при этом жидкая фаза возвращалась в оборотный цикл, что повышает ресурсную эффективность процесса. Осадок карбоната свинца подвергался прокатке при температуре 450 °С с образованием оксида свинца (глёта). Далее глёт в присутствии восстановителя (графита) и флюсов направлялся на восстановительную плавку, в результате

которой получен металлический свинец с содержанием основного компонента 99,06 %.

Твердые остатки, образующиеся после солевого выщелачивания и содержащие благородные металлы, могут быть направлены либо на переработку в составе медного штейна, либо подвергнуты дополнительному гидрометаллургическому извлечению золота и серебра, что подтверждает комплексный характер разработанной технологии [3, 14].

Заключение. Проведенные исследования показали, что солевое выщелачивание при температуре 60–80 °С, соотношении Т:Ж=1:3 и продолжительности 2–4 часа обеспечивает селективное извлечение свинца при сохранении кварца и благородных металлов в твердой фазе, при этом повышение температуры способствует увеличению степени его растворения. На основе полученных результатов разработана эффективная технология переработки свинцово-висмутового шлама сернокислотного производства, обеспечивающая высокое извлечение ценных компонентов и характеризующаяся улучшенными технико-экономическими показателями, что подтверждает ее промышленную перспективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Саидахмедов, А. А., Хасанов, А. С., & Мирзанова, З. А. (2020). Технология переработки техногенных отходов цветной металлургии. Ташкент: Фан.
- [2] Хасанова, А. С., Умаралиев, И. С., & Саидахмедов, А. А. (2024). Переработка продуктов газоочистки медного производства. Навои.
- [3] Мирзанова, З. А., Муносибов, Ш. М., & Рахимжонов, З. Б. (2019). Гидрометаллургические методы извлечения цветных металлов из отходов. Ташкент: ТГТУ.
- [4] Каримова, Ш. К., Ташалиев, Ф. У., & Каршибоев, Ш. Б. (2021). Комплексная переработка техногенных отходов металлургии. Самарканд.
- [5] Юсупов Б.Т., Абдуллаев Х.А. Основы переработки шламов металлургических производств // Ташкент, 2018, С. 140–158.
- [6] Туляганов А.А., Рузиев Ш.У. Технология извлечения свинца из вторичных сырьевых ресурсов // Ташкент, 2022, С. 55–73.
- [7] Саидахмедов А.А., Мирзанова З.А. Исследование процессов солевого выщелачивания свинцовых шламов // Журнал «Горный вестник Узбекистана», 2021, №3, С. 45–50.
- [8] Хасанов А.С., Умаралиев И.С. Технологические особенности переработки сернокислотных шламов // Журнал «Цветные металлы Центральной Азии», 2022, №2, С. 30–36.
- [9] Абдурахманов Н.М., Тошпулатов Б.А. Экологические аспекты переработки промышленных отходов // Ташкент, 2017, С. 90–104.
- [10] Рахимов К.Д., Каримов Д.С. Современные методы извлечения благородных металлов из техногенного сырья // Ташкент, 2020, С. 118–135.


- [9] Норматов Ш.Р., Исмоилов А.Б. Комплексное использование минерального сырья и отходов // Ташкент, 2019, С. 72–89.
- [10] Турсунов Б.М., Ходжаев Р.С. Гидрометаллургия цветных металлов // Ташкент, Фан, 2016, С. 200–230.
- [11] Саидахмедов А.А., Хасанова А.С. Разработка технологий извлечения металлов из пылей и шламов // Журнал «Инновации в металлургии», 2023, №1, С. 22–28.
- [12] Абдуллаев Ш.А., Юлдашев Ф.Х. Физико-химические основы переработки техногенных материалов // Ташкент, 2018, С. 150–168.
- [13] Рузиев Ш.У., Мирзаев А.К. Переработка отходов металлургического производства и повышение их ресурсной эффективности // Ташкент, 2021, С. 95–110.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Мирзанова, З. А., Эшонкулов, У. Х., & Ваккасов, Б. А. (2026). Технология селективного выщелачивания и переработки свинцово-висмутовых шламов металлургического производства. Цифровые технологии в промышленности, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.32>

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI
ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

UO'K: 56.012.3

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.1

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

QULJUQTOV TOG'LARI DEVON DAVRI YOTQIZIQLARINING
LITOLOGIK TARKIBI VA QATLAMLANISH XUSUSIYATLARI



Berdimuratova Gulbanu Parxat qizi

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti 1-kurs
magistranti, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: gulbanuberdimuratova5@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-3223-5078
Science ID: MQR-0326-0124



Kurbonova Moxigul Mamasaliyevna

Dotsent, Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: pmokhi2010@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-5874-3531
Science ID: 10-FTN-0326-0014

Annotatsiya. Mazkur maqolada QuljuqtoV tog'lari hududida keng tarqalgan devon davri yotqiziqIarining litologik tarkibi, qatlamlanish xususiyatlari hamda fasial o'zgaruvchanligi kompleks va tizimli tahlil qilinadi. Tadqiqot jarayonida hududda uchraydigan terrigen, karbonat va vulkanogen jinslarning mineralogik-petrografik tarkibi, strukturaviy-matritsali tuzilishi va stratigrafik joylanishiga alohida e'tibor qaratilgan. Devon yotqiziqIarining qatlamlanishida kuzatiladigan ritmik almashinuvlar, fasial zonallik va organogen jinslarning shakllanish xususiyatlari paleogeografik sharoitlar bilan uzviy bog'liq holda izohlanadi. Olingan ma'lumotlar devon davrida hududda sayoz dengiz, delta va rifli platforma muhitlari navbatma-navbat ustunlik qilganini ko'rsatadi. Shuningdek, cho'kindi to'planish jarayonlarining tektonik faollik va vulkanizm bilan bog'liqligi ham ilmiy asosda yoritilgan. Maqola natijalari QuljuqtoV tog'lari devon kompleksining geologik evolyutsiyasini tiklash, uning stratigrafik tizimdagi o'rnini aniqlash hamda mintaqaning paleogeografik rivojlanish bosqichlarini chuqurroq anglashga xizmat qiladi. Tadqiqot xulosalari mintaqaviy geologiya, stratigrafiya va paleogeografiya sohalari uchun muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: Devon davri, QuljuqtoV tog'lari, litologik tarkib, qatlamlanish tuzilishi, fasial o'zgaruvchanlik, terrigen jinslar, karbonat jinslar, rif komplekslari, paleogeografiya, organogen yotqiziqIar.

Received: 05.04.2026

Accepted: 11.04.2026

Published: 29.06.2026

ЛИТОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЗАЛЕГАНИЯ ДЕВОНСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ КУЛЬДЖУКТАУСКИХ ГОР

Бердимуратова Гульбану Пархат кизи

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, магистрант 1 курса, Ташкент, Узбекистан

Курбанова Мохигул Мамасалиевна

Доцент, Национальный университет Узбекистана имени
Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье проведён комплексный и системный анализ литологического состава, особенностей слоистости и фациальной изменчивости девонских отложений, широко распространённых на территории гор Кулджуктау. В ходе исследования особое внимание уделено минералого-петрографическому составу терригенных, карбонатных и вулканогенных пород, их структурно-матричному строению и стратиграфическому положению. Ритмичность чередования слоёв, фациальная зональность и особенности формирования органогенных пород девонских отложений интерпретируются в тесной связи с палеогеографическими условиями осадконакопления. Полученные данные свидетельствуют о том, что в девонский период на исследуемой территории последовательно доминировали мелководно-морские, дельтовые и рифово-платформенные среды осадконакопления. Также на научной основе показана взаимосвязь процессов осадкообразования с тектонической активностью и вулканизмом. Результаты исследования позволяют реконструировать геологическую эволюцию девонского комплекса гор Кулджуктау, определить его место в стратиграфической системе и более глубоко понять особенности палеогеографического развития региона. Сделанные выводы имеют важное научное значение для региональной геологии, стратиграфии и палеогеографии.

Ключевые слова: девонский период, горы Кулджуктау, литологический состав, слоистое строение, фациальная изменчивость, терригенные породы, карбонатные породы, рифовые комплексы, палеогеография, органогенные отложения.

THE IMPORTANCE OF AEROSPACE MAPPING METHODS IN OIL AND GAS FIELD EXPLORATION

Berdimuratova Gulbanu Parkhat kizi

Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, 1st year
Master's student, Tashkent, Uzbekistan

Kurbanova Moxigul Mamasaliyevna

Associate Professor, Mirzo Ulugbek National University of
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article presents a comprehensive and systematic analysis of the lithological composition, bedding characteristics, and facies variability of Devonian deposits widely distributed in the Quljuqtov Mountains. Particular attention is paid to the mineralogical and petrographic composition of terrigenous, carbonate, and volcanogenic rocks, as well as to their structural–matrix features and stratigraphic position. Rhythmic alternation of layers, facies zonation, and the characteristics of organogenic rock formation within the Devonian deposits are interpreted in close connection with the paleogeographic conditions of sedimentation. The obtained data indicate that during the Devonian period shallow-marine, deltaic, and reef-platform environments successively predominated in the study area. In addition, the relationship between sediment accumulation processes and tectonic activity and volcanism is substantiated on a scientific basis. The results of the study contribute to the reconstruction of the geological evolution of the Devonian complex of the Quljuqtov Mountains, the determination of its position within the stratigraphic framework, and a deeper understanding of the stages of paleogeographic development of the region. The conclusions of the research are of significant scientific importance for regional geology, stratigraphy, and paleogeography.

Keywords: Devonian period, Quljuqtov Mountains, lithological composition, stratification structure, facies variability, terrigenous rocks, carbonate rocks, reef complexes, paleogeography, organogenic deposits.

Kirish. Quljuqtov tog'lari O'zbekiston janubidagi paleozoy geologik strukturasi uchun alohida ahamiyatga ega bo'lgan hududlardan biri bo'lib, u yerda uchraydigan devon davri yotqiziqlari mintaqaning qadimiy paleogeografik rivojlanishi, tektonik jarayonlari va cho'kindi hosil bo'lish

dinamikasi haqida muhim ilmiy ma'lumotlar beradi. Devon davri Yer geologik tarixidagi eng faol biologik va geologik transformatsiyalar davri bo'lib, aynan shu davrda dengiz ekotizimlarining kengayishi, marjon riflarning rivojlanishi, terrigen va karbonatli cho'kindi havzalarning almashinuvi

kuzatilgan. Quljuqtov hududida devonning quyi, oʻrta va yuqori boʻlimlariga mansub qatlamlarning yaxshi saqlanganligi, ularning litologik tarkibidagi murakkablik, fasial oʻzgaruvchanlik va ritmik qatlamlanish devonning regional stratigrafiyasini oʻrganishda alohida ilmiy qiymatga ega ekanini koʻrsatadi. Qatlamlarning litologik tarkibida qumtoshlar, slaneslar, ohaktoshlar, mergellar, dolomitlar va vulkanogen jinslarning almashib kelishi Quljuqtov hududining geologik rivojlanishida bir-biridan farq qiluvchi paleomuhitlar, jumladan sayoz dengiz, delta, qirgʻoqboʻyi va organogen karbonat platformalarini aks ettiradi. Shu bois, mazkur majmuaning qatlam tuzilishi va litologiyasi hududning paleogeografik dinamikasini tiklash, choʻkindi jarayonlarining tabiatini aniqlash va devon davrining mintaqaviy geologik evolyutsiyasini yoritishda asosiy ilmiy manba hisoblanadi. Quljuqtov devon kompleksi boʻyicha olib borilgan tadqiqotlar geologik qatlamlarning lateral va vertikal oʻzgaruvchanligi, rif zonalarini rivojlanishi, terrigen oqimlarning faolligi hamda tektonik harakatlarning choʻkindi yigʻilishiga taʼsiri kabi murakkab jarayonlarni chuqur anglash imkonini beradi. Mazkur tadqiqot Quljuqtov togʻlaridagi devon yotqiziqlarining litologik tarkibi va qatlamlanish xususiyatlarini ilmiy jihatdan tahlil qilish orqali hududning geologik tuzilishi hamda paleogeografik tarixini yanada chuqurroq anglashga xizmat qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqotni amalga oshirishda tizimlilik, qiyosiy va mantiqiy tahlil usullaridan foydalanilgan.

Tahlil va natijalar. Quljuqtov togʻlari devon davri yotqiziqlari oʻzining murakkab litologik tarkibi, strukturaviy xilma-xilligi va paleogeografik sharoitlari bilan ajralib turadi. Ushbu hududda devon kompleksi asosan qumtoshlar, slaneslar, ohaktoshlar, mergellar, dolomitlar, vulkanogen materiallar va karbonatli terrigenous qatlamlar bilan xarakterlanadi. Qatlamlarning ritmik almashinuvi hududda devon davrida marjon riflari, qirgʻoqboʻyi muhitlar, sayoz dengiz sharoitlari, delta zonalarini va kuchli gidrodinamik jarayonlar mavjud boʻlganini koʻrsatadi. Stratigrafik kesimlarda qumtoshlarning toʻlqinli oʻzan izlari, bioturbatsiya izlari, karbonat qatlamlarda esa rif organizmlari boʻlaklari uchrashi hududning paleoekologik oʻziga xosligini belgilaydi. A.K.Norkulov devon qatlamlari haqida

“Quljuqtov devon kompleksida terrigen va karbonat yotqiziqlar mutanosibligi hududning geodinamik rivojlanishidagi keskin oʻzgarishlarni aks ettiradi” [1] – deya alohida taʼkidlaydi.

Litologik tarkibning asosiy qismini tashkil etuvchi qumtoshlar koʻpincha oʻrta va qoʻpol donali, baʼzan konglomeratik tuzilishga ega boʻlib, ularning minerologik asosini kvarts, dala shpati, slyuda va temir oksidlari tashkil etadi. Bu, oʻz navbatida, Quljuqtov hududida devon davrida kuchli oqimlar va oʻzanlarning faol boʻlganidan dalolat beradi. A.Bogdanovning fikriga koʻra: “Devon qumtoshlari yuqori energiyali muhitda toʻplangan boʻlib, ularning granulometrik tarkibi paleogidrodinamik jarayonlarni tiklashda muhim manba hisoblanadi” [2].

Hududning karbonatli yotqiziqlari — ohaktosh va dolomitlar — koʻpincha bioklastik, mikritli, oolitli tuzilishga ega boʻlib, ular devon davrida keng tarqalgan rif massivlari va sayoz dengiz platformalari mavjud boʻlganidan darak beradi. Oʻzbek geologi M. R. Qosimov ushbu qatlamlar haqida shunday yozadi: “Quljuqtovning karbonat massivlari devon davrida barqaror shelf hududi boʻlganini koʻrsatadi, bu qatlamlar koʻp hollarda marjon rif organizmlarining boʻlaklariga boy” [3].

Quljuqtov devon yotqiziqlarida slaneslar va mergellar ham keng tarqalgan boʻlib, ular koʻpincha organik moddalarga boy, yupqa qatlamli va oraliq dengiz muhitining tinch choʻkindi jarayonlarini aks ettiradi. Slanets qatlamlari koʻpincha qora yoki kulrang rangli boʻlib, bu anaerob sharoitlarda choʻkish jarayonini anglatadi. Yapon geologi S.Tanaka bu jarayonni “Devon slaneslari organik moddalarning yuqori konsentratsiyasini koʻrsatadi va ular koʻpincha paleoʻrmon mikroqoldiqlari bilan bogʻliq boʻladi” – deya izohlaydi [4].

Quljuqtov devon kesimlarida uchraydigan yana bir muhim litotip — vulkanogen jinslar, ayniqsa toshqol (tuf), vulkanik konglomeratlar va bazaltli qatlamlardir. Bu qatlamlar hududda devonning ayrim bosqichlarida vulkanik faollik kuzatilganini koʻrsatadi.

Quljuqtov togʻlari devon yotqiziqlarining litologik tarkibida stratigrafik izchillik, qatlamlarning almashinuvi, litofatsial zonallik va paleoekologik belgilar hududning qadimiy geologik taraqqiyoti haqida toʻliq tasavvur beradi.

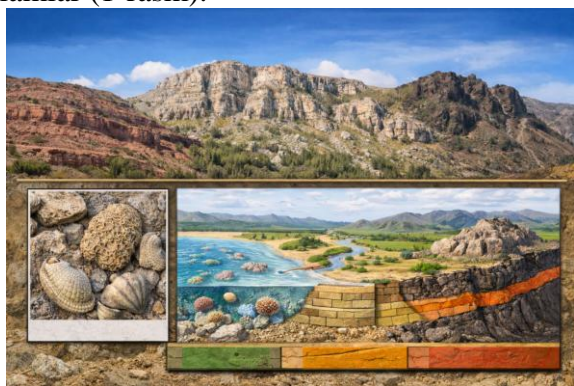
Sh.Erkinov ta'kidlaganidek: "Devon yotqiziqlari tarkibining murakkabligi Quljuqtov hududining geologik evolyutsiyasida turli cho'kindi havzalar almashganini ko'rsatadi" [5].

Devon davri qatlamlarining qatlamlanish tuzilishi va fasial o'zgaruvchanligi tog' jinslarining cho'kindi muhitdagi dinamik jarayonlar, paleogeografik sharoitlar va geologik rivojlanish bosqichlari bilan chambarchas bog'liq bo'lib, bu davr Yer tarixidagi eng faol paleoekologik transformatsiyalar davri sifatida ajralib turadi. Devon yotqiziqlari, ayniqsa O'rta Osiyo, Ural, Tyan-Shan va Quljuqtov kabi hududlarda, terrigen, karbonat, vulkanogen va organogen qatlamlarning murakkab ketma-ketligi bilan ajralib turadi. Bu qatlamlarning litologik ritmikligi paleogeografik sharoitda turli cho'kindi havzalarning almashganini ko'rsatadi. Yevropalik geolog R.Conderning fikricha "Devon qatlamlaridagi ritmik qatlamlanish — bu dengiz regressiya va transgressiyalarining geologik yozuvidir" [6].

Devon davri cho'kindi havzalari fasial o'zgaruvchanlikning yuqori darajasi bilan tavsiflanadi. Qumtoshlardan ohaktoshlarga, slaneslardan dolomitlarga o'tuvchi fasiyalar turli paleomuhitlarni — daryo-delta tizimlari, sayoz shelflar, marjon rif platformalari, lagunar havzalar, chuqurroq dengiz o'zanlarini aks ettiradi.

Qatlamlanish tuzilishidagi vertikal almashinuvi ko'pincha klassik litofatsial ketma-ketliklarni aks ettiradi:

— qumtosh → slanes → ohaktosh → mergel → dolomit → rifal karbonat → terrigen-seriyali qatlamlar (1-rasm).



1-rasm. Quljuqtov tog'lari hududidagi devon davri yotqiziqlarining stratigrafik kesimi va litologik tuzilishi.

Rasmda Quljuqtov tog'lari hududidagi devon

davri yotqiziqlari stratigrafik kesimi va litofatsial tuzilishi vizual tarzda ko'rsatilgan. Tasvirda turli lithotiplarning qatlamlanishi aniq ajralib turadi: qumtoshlar, slaneslar, ohaktoshlar, mergellar va dolomitlar hamda vulkanogen materiallar o'zaro ritmik ravishda almashgan. Qatlamlarning vertikal va lateral ketma-ketligi devon davrida hududda mavjud bo'lgan sayoz dengiz, delta zonalar va rifli platforma muhitlarini aks ettiradi. Shuningdek, rasmda qumtoshlar va slanes qatlamlaridagi to'lqin izlari, bioturbatsiya belgilarining mavjudligi ham ko'rsatilgan bo'lib, bu paleoekologik sharoitning tinch va faol bosqichlarini namoyon qiladi. Karbonat qatlamlarda marjon rif fragmentlari va oolitli ohaktoshlar bilan ifodalangan rif va sayoz platformalarning rivojlanishi, hududning devon davridagi paleogeografik xususiyatlarini yaqqol ko'rsatadi. Vulkanogen qatlamlar esa hududda devon davrida vulkanik faollikning mavjudligini tasdiqlaydi. Umuman olganda, rasm Quljuqtov tog'laridagi devon yotqiziqlari litologiyasini, fasial zonallikni va stratigrafik tartibni kompleks tarzda vizualizatsiya qiladi.

Bu ritmlar paleoekologik sharoitning o'zgaruvchanligi dengiz sathining ko'tarilishi va pasayishi, iqlimning nam yoki quruq davrlari, tektonik ko'tarilishlar va cho'kish jarayonlari bilan bog'liq. Gollandiya geologi J.Voto bu haqda "Devon qatlamlanishining murakkabligi tektonik-cho'kish havzalarining noaniq, ko'p bosqichli rivojlanishidan kelib chiqadi" — deya alohida ta'kidlaydi [7].

Devon davri fasial o'zgaruvchanligi eng yaxshi karbonat fasiyalarida namoyon bo'ladi. Marjon riflari, oolitli ohaktoshlar, bioklastik ohaktoshlar, mikritli karbonatlar va lagunar dolomitlar bir hudud ichida qisqa masofalarda keskin o'zgaradi. Bu rif zonalarining rivojlangan hududlari, ayniqsa Quljuqtov, Gisor va Turkiston tog'larida ko'plab paleobentos organizmlarining qoldiqlariga boy ekanligini ko'rsatadi.

Terrigen yotqiziqlarning fasial zonalligi, ayniqsa qumtosh va slanes paketlarining turlicha granulometriyasi, delta fronti va o'zanlarning migratsiyasini aks ettiradi. Bu jarayonlar kuchli gidrodinamika, tebranuvchi qirg'oq chiziqlari, fliş tipli sedimentatsiya va o'zgaruvchan iqlim sharoitlari bilan bog'liq. O'zbekistonlik geolog Sh.Erkinov bu haqda "Devon davrida terrigen

havzalar o'ta dinamik bo'lgan, qumtosh-slanes ketma-ketligi fasiyalarning gidrodinamik energiyasi bilan bevosita bog'liq"dir deya ta'kidlaydi.

Devon davri geologik rivojlanishi tektonik harakatlar bilan chambarchas bog'liq bo'lib, bu davrda qator orogenetik jarayonlar boshlangani tufayli ko'tarilishlar va cho'kishlar natijasida katta sedimentatsion havzalar shakllangan. Ayniqsa, O'rta Osiyo hududida devonning o'rta va yuqori bo'limlari kuchli tektonik faollik, vulkanogen materiallarning ko'payishi va sedimentatsiya sharoitining keskin o'zgarishi bilan ajralib turadi. G.Keller bu haqda shunday yozadi: "Devon davridagi tektonik reaktivlik fasiyalarning keskin lateral o'zgarishiga olib kelgan bo'lib, bu jarayon tog'-oldi va platforma hududlarining bir-biridan farqlanishini kuchaytirgan" [8].

Umuman olganda, Quljuqtov tog'lari hududida rivojlangan devon davri yotqiziqlarining qatlamlanish tuzilishi va fasial o'zgaruvchanligi mintaqaning qadimiy ekologik, geodinamik va tektonik tarixini rekonstruksiya qilishda muhim geologik ko'rsatkichlar sifatida namoyon bo'ladi. Qatlamlarning vertikal va lateral yo'nalishlarda almashinuvi, litologik tarkibning murakkabligi hamda cho'kindi jinslar orasidagi genetik bog'liqlik devon davrida hududda sodir bo'lgan paleogeografik jarayonlarning dinamik xarakterga ega bo'lganini ko'rsatadi [9]. Ayniqsa, terrigen, karbonat, vulkanogen va organogen yotqiziqlarning ketma-ketligi turli sedimentatsion muhitlarning davriy almashganidan dalolat beradi. Rif-komplekslarning rivojlanishi va karbonat platformalarning shakllanishi hududda barqaror sayoz dengiz sharoitlari hukmron bo'lgan davrlarni aks ettirsa, qumtosh va slanes qatlamlarining ustunligi kuchli gidrodinamik jarayonlar, delta tizimlari va faol qirg'oqbo'yi muhitlarining mavjudligini ko'rsatadi. Qatlamlarning ritmik takrorlanishi esa dengiz transgressiya va regressiyalari, iqlim o'zgarishlari hamda tektonik ko'tarilish va cho'kish jarayonlari bilan bevosita bog'liq bo'lgan [10]. Litofatsial zonallikning aniqligi, ayniqsa lateral yo'nalishda qisqa masofalarda kuzatiladigan keskin fasial almashinuvlar devon davrida cho'kindi havzalarining murakkab tuzilishga ega bo'lganini tasdiqlaydi. Vulkanogen qatlamlarning qatnashuvi esa hududning geodinamik faol zonada

joylashganini va devon davrida tektonik jarayonlar bilan birga vulkanizm ham muhim rol o'ynaganini ko'rsatadi [11]. Shu jihatdan, Quljuqtov tog'lari devon yotqiziqlarining qatlamlanish xususiyatlari va fasial o'zgaruvchanligi mintaqaning geologik evolyutsiyasini, paleomuhitlarning rivojlanish bosqichlarini hamda tektonik jarayonlarning cho'kindi to'planishga ta'sirini kompleks tarzda yoritib beradi.

Xulosa. Quljuqtov tog'lari devon davri yotqiziqlarining litologik tarkibi va qatlamlanish xususiyatlari mintaqaning paleozoy tarixini chuqur anglash, cho'kindi hosil bo'lish jarayonlarining tabiatini yoritish va geologik rivojlanish dinamikasini tiklashda alohida ilmiy ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi. Tadqiqot natijalari shuni tasdiqladiki, devon yotqiziqlari hududda murakkab litofatsial zonallik, ritmik qatlamlanish, terrigen va karbonatli jinslarning izchil almashinuvi, shuningdek organogen to'planish jarayonlarining keng miqyosda amal qilganini aks ettiradi. Qumtoshlar, slaneslar, ohaktoshlar, dolomitlar va mergellar kabi asosiy jins tiplari hududda turli paleogeografik sharoitlar — delta tizimlari, sayoz dengiz platformalari, qirg'oqbo'yi muhitlari va rif komplekslarining almashib borganini ko'rsatadi [12]. Bunday fasial o'zgaruvchanlik devon davri davomida mintaqada tektonik harakatlar, dengiz transgressiyalari va regressiyalarining faol bo'lganidan dalolat beradi. Stratigrafik kesimlarda uchraydigan bioklastik ohaktoshlar, oolitli karbonatlar, qumli-slanesli ketma-ketliklar va vulkanogen qatlamlar hududning geodinamik jihatdan faol bo'lganini yana bir bor tasdiqlaydi. Litologik tarkib va qatlamlanish tuzilishining batafsil o'rganilishi Quljuqtov hududi devon kompleksining nafaqat mintaqaviy, balki global stratigrafik tizimdagi o'rnini ham aniqlash imkonini berdi. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, Quljuqtov devon yotqiziqlari paleoekologik va tektonik jarayonlarning o'zaro ta'siri natijasida shakllangan murakkab cho'kindi tizimiga ega bo'lib, mintaqaning geologik evolyutsiyasini tiklashda asosiy manba sifatida xizmat qiladi. Shunday qilib, mazkur maqola Quljuqtov tog'lari devon qatlamlarining litologik tarkibi va qatlamlanish xususiyatlarini ilmiy jihatdan yoritib, hududning paleogeografik va geodinamik tarixiga oid

kompleks ilmiy xulosalar chiqarishga asos yaratdi. |


FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] Norkulov, A. (2014). O‘zbekiston paleozoy stratigrafiyasi. Fan.
- [2] Bogdanov, A. (2001). Devonian sedimentology of Central Asia. Moscow University Press.
- [3] Qosimov, M. (2019). O‘zbekiston tog‘ jinslari litologiyasi. Universitet.
- [4] Tanaka, S. (1998). Marine paleoenvironment of the Devonian. Kyoto Press.
- [5] Erkinov, Sh. (2020). O‘zbekiston geologik tuzilishining paleozoy kompleksi. Fan va texnologiya.
- [6] Richard, C. (2008). Devonian sedimentary systems. Springer.
- [7] Johannes, V. (2003). Paleozoic stratigraphy of Eurasia. Elsevier.
- [8] Keller, G. (2005). Tectonic evolution of Paleozoic basins. Springer.
- [9] Bell, J. M. (2010). Devonian reef complexes and paleoecology. Geological Society of London.
- [10] Ivanov, L. P. (2012). Stratigraphic correlation of Paleozoic sequences in Central Asia. Nauka Publishers.
- [11] Ahmedov, R. S. (2016). Sedimentology and facies analysis of Paleozoic basins. Ilm-Ziyo.
- [12] Muller, T., & Schmidt, K. (2015). Paleogeography of the Paleozoic: Principles and case studies. Springer.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Berdimuratova, G. P., & Kurbonova, M. M. (2026). Quljuqtov tog‘lari devon davri yotqiziqlarining litologik tarkibi va qatlamlanish xususiyatlari. *Sanoatda Raqamli Texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.1>

UO‘K: 678.7:541.124

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.2

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

UCH MONOMERLI TERPOLIMERLANISH REAKSIYASIDA TARKIBINING STRUKTURAVIY O‘ZGARISHLARI EKSPRIMENTAL VA KINETIK MODEL ASOSIDA BAHOLASH



Mavlonov Shohrux Boboxon o'g'li

PhD, dotsent, Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro,
O'zbekiston

E-mail: shoxrux-mavlonov@mail.ru

ORCID ID: 0009-0009-1652-6369

Science ID: FBX-0326-0012



Fozilov Sadridin Fayzullayevich

DSc, professor, Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro,
O'zbekiston

E-mail: sadriddinf@mail.ru

ORCID ID: 0009-0009-0313-6134

Science ID: DBX-0326-0003

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda TDMA–stiroł–malein angidrid tizimida terpolimerlanish kinetikasi va tarkibiy o'zgarishlari eksperimental hamda kinetik model asosida o'rganildi. Inisiator konsentratsiyasi $16,8 \times 10^{-6}$ dan $51,3 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ gacha oshirilganda konversiya 6,4% dan 15,2% gacha, reaksiya tezligi $4,075 \times 10^{-6}$ dan $8,965 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ gacha ortdi. Stiroł konsentratsiyasi ortishi bilan tezlik $3,11 \times 10^{-6}$ dan $11,07 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ gacha oshgani aniqlandi. Past konversiyada tarkib boshlang'ich qiymatlarga yaqin bo'lsa-da, ayrim tizimlarda kompozitsion drift kuzatilib, MA ulushi 0,50 dan 0,70 gacha ortdi. Eksperimental natijalar model bilan yuqori moslikda ($\pm 0,02-0,04$) bo'ldi.

Kalit so'zlar: terpolimerlanish, kinetika, TDMA–St–MA tizimi, kompozitsion drift, reaktivlik nisbatlari, kinetik modellashtirish, radikal polimerlanish.

Received: 05.04.2026

Accepted: 11.04.2026

Published: 29.06.2026

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА В РЕАКЦИИ ТЕРПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ТРЁХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Мавлонов Шохрух Бобохон угли

PhD, доцент, Бухарский государственный технический
университет, Бухара, Узбекистан

Фозилов Садриддин Файзуллаевич

DSc, профессор, Бухарский государственный технический
университет, Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной работе исследованы кинетика терполимеризации и структурные изменения в системе TDMA–стирол–малеиновый ангидрид на основе экспериментальных данных и кинетического моделирования. При увеличении концентрации инициатора от $16,8 \times 10^{-6}$ до $51,3 \times 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ конверсия возрастает с 6,4% до 15,2%, а скорость реакции — с $4,075 \times 10^{-6}$ до $8,965 \times 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Установлено, что с увеличением содержания стирола скорость реакции возрастает от $3,11 \times 10^{-6}$ до $11,07 \times 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. В области низких конверсий состав близок к исходному, однако в ряде систем наблюдается композиционный дрейф (увеличение доли MA от 0,50 до 0,70). Экспериментальные данные хорошо согласуются с моделью ($\pm 0,02-0,04$).

Ключевые слова: терполимеризация, кинетика, система TDMA–стирол–малеиновый ангидрид, композиционный дрейф, реакционные коэффициенты, кинетическое моделирование, радикальная полимеризация.

EVALUATION OF COMPOSITIONAL STRUCTURAL CHANGES IN TERPOLYMERIZATION OF A TERNARY SYSTEM BASED ON EXPERIMENTAL DATA AND KINETIC MODELING

Mavlonov Shokhrux Bobokhon ugli

PhD, Associate Professor, Bukhara State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Fozilov Sadridin Fayzullayevich

DSc, Professor, Bukhara State Technical University, Bukhara,
Uzbekistan

Abstract. This study investigates the kinetics of terpolymerization and structural changes in the TDMA–styrene–maleic anhydride system based on experimental data and kinetic modeling. Increasing the initiator concentration from 16.8×10^{-6} to $51.3 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ led to an increase in conversion from 6.4% to 15.2% and reaction rate from 4.075×10^{-6} to $8.965 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. It was found that increasing styrene content enhances the reaction rate from 3.11×10^{-6} to $11.07 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. At low conversion, the composition remains close to the initial feed; however, compositional drift is observed in some systems (MA fraction increases from 0.50 to 0.70). The experimental results show good agreement with the model (± 0.02 – 0.04).

Keywords: terpolymerization, kinetics, TDMA–styrene–maleic anhydride system, compositional drift, reactivity ratios, kinetic modeling, radical polymerization.

Kirish. Hozirgi kunda neft-kimyxo sanoatida yuqori samarali funksional prisadkalar sintez qilish uchun uch monomerli sistemalarda sodir bo‘ladigan terpolimerlanish jarayonlarini chuqur o‘rganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etmoqda [1,2]. Bunday sistemalarda turli kimyoviy tabiatga ega monomerlarning birgalikda polimerlanishi natijasida murakkab mikrostrukturaga ega makromolekulalar hosil bo‘ladi [3,4]. Ushbu strukturaviy xususiyatlar esa hosil bo‘layotgan terpolimerlarning fizik-kimyoviy, reologik va ekspluatatsion xossalarini belgilaydi [5].

Adabiyotlarda radikal sopolimerlanish va terpolimerlanish jarayonlari keng o‘rganilgan bo‘lib, ular asosan monomerlarning reaktivlik nisbatlari, zanjir o‘shish va terminatsiya mexanizmlariga asoslanadi [6]. Klassik Mayo–Lewis va Fineman–Ross tenglamalari yordamida ikki komponentli tizimlar uchun reaktivlik koeffitsientlarini aniqlash usullari ishlab chiqilgan. Shu bilan birga, uch va undan ortiq monomerli sistemalarda kinetik modellashtirishda zamonaviy yondashuvlar, jumladan, matematik modellar usullari keng qo‘llanilmoqda [7].

Shunga qaramay, uch monomerli sistemalarda terpolimerlanish jarayonida tarkibning strukturaviy

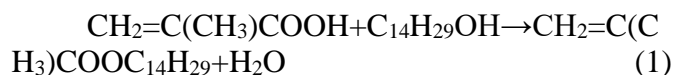
o‘zgarishlari yetarli darajada chuqur o‘rganilmagan bo‘lib, konversiyaga bog‘liq ravishda terpolimer tarkibining o‘zgarishlari va uning kinetik parametrlar bilan bog‘liqligi to‘liq aniqlanmagan. Bundan tashqari, eksperimental natijalar va kinetik modellar o‘rtasidagi moslikni kompleks baholash masalasi ham dolzarb bo‘lib qolmoqda.

Mazkur tadqiqotda maqsadi uch monomerli sistemada terpolimerlanish jarayonida tarkibning strukturaviy o‘zgarishlarini eksperimental ma‘lumotlar va kinetik model asosida baholashdan iborat, shuningdek, terpolimer tarkibining konversiyaga bog‘liq o‘zgarishi o‘rganilib, eksperimental natijalar kinetik model hisoblari bilan taqqoslandi hamda tizimning asosiy kinetik qonuniyatlari aniqlandi.

Materiallar va usullar. TDMA–stirol–malein anhidrid (TDMA–St–MA) uch monomerli sistemasida terpolimerlanish jarayonining kinetikasini o‘rganish va boshlang‘ich kinetik qonuniyatlarini aniqlash maqsadida tajribalar past konversiya oralig‘ida (0–15%) va (50–95%) konversiya darajasiga olib borildi.

Ishlatilgan moddalar va reagentlar: Tadqiqotlarda tetradetsil metakrilat (TDMA), metakril kislotaning yuqori molekulyar spirtlar,

xususan tetradetsil spirt bilan esterifikatsiyasi orqali olindi. Ushbu jarayon kislota katalizatori (sulfat kislota) ishtirokida olib borilib, suv ajralishi bilan boradi.



Metakrilat monomerleri ishlab chiqarish va sifat ko'rsatkichlari MDH hududida GOST 20370–74 (metakril kislota efirlari uchun) yoki unga mos texnik shartlar (TU) bilan tartibga solindi, stiro (St) (GOST 10003–90) va malein anhidrid (MA) (GOST 11138–78) monomerleri qo'llanildi. Inisiator sifatida azo-tipidagi birikma — IMDN ishlatildi. Monomer/inisiator nisbatlari 125:1, 200:1 va 800:1 diapazonlarda tanlandi. Erituvchi sifatida toluol qo'llanilib, u reaksiya muhitining bir jinsliliğini va issiqlik uzatilishini ta'minladi. Monomerlar: 80TDMA/10St/10MA, 10TDMA/80St/10MA va 10TDMA/10St/80MA mol nisbatlarida tadqiq qilindi. Tadqiqotda ishlatilgan barcha reagentlar yuqori tozalik darajasiga ega bo'lib, qo'shimcha tozalashsiz qo'llanildi. Monomerlarning tarkibiy tozaligi va ingibitorlardan tozalanganligi polimerlanish kinetikasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini hisobga olib, ular ishlatishdan oldin zarur hollarda vakuum distillyatsiyasi yoki ingibitorlarni yo'qotish orqali tayyorlandi.

Reaktivlarning konsentratsiyasi umumiy kine-tik tenglamada quyidagicha ifodalanadi:

$$R_p = k_p[M][R] \quad (2)$$

Terpolimerlanish jarayoni: Terpolimerlanish reaksiyalari inert muhitda (N₂ atmosferasi) 95 ± 5 °C haroratda olib borildi. Reaksiya davomiyligi 0–360 minut oralig'ida o'zgartirildi. Har bir vaqt nuqtasida namunalar olinib, monomer konversiyasi aniqlandi. Reaksiya tezligi quyidagi umumiy kinetik ifoda bilan tavsiflanadi:

$$R_p = -\frac{d[M]}{dt} \quad (3)$$

Radikal terpolimerlanishda stasionar holat sharoitida:

$$[R] = \sqrt{\frac{2fk_d[I]}{k_t}} \quad (4)$$

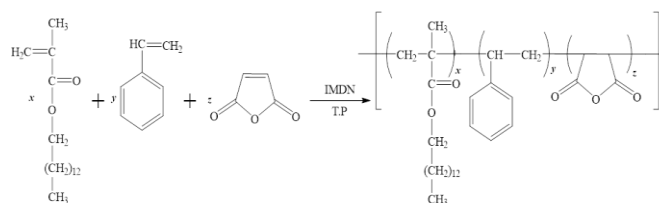
Natijada umumiy tezlik tenglamasi:

$$R_p = k_p[M] = \sqrt{\frac{2fk_d[I]}{k_t}} \quad (5)$$

Natijalar va ularning muhokamasi.

Terpolimerlarning strukturasi aniq tasvirlash uchun monomerlarning konversiyasiga harorat, inisiator

konsentratsiyasi, reaktivlik koeffitsiyentlari aniqlash maqsadida radikal mexanizm usuli yordamida terpolimerning 5-15% gacha bo'lgan unumida monomerlarning turli xil mol nisbatlarida olib borildi va terpolimerlanish jarayonining kinetikasi o'rganilib, terpolimer sintez reaksiyasi quyidagicha tasvirlandi.



1-rasm. TDMA, St va MA monomerlar asosida terpolimer sintez jarayoni.

TDMA, stiro va malein anhidrid ishtirokida olib borilgan terpolimerlanish jarayonida monomerlar konversiyasiga terpolimerlanish davomiyligi, inisiatorning turi va uning konsentratsiyasi, erituvchi tabiati, haroratlarning o'zgarishi terpolimerning molekulyar massasi, strukturasi shakllanishiga ta'sirlari tadqiq qilindi.

1-jadval

[IMDN] ning 95 oC ± 5 oC 150 minutda terpolimerlanish tezligiga ta'siri

Namuna №	IMDN × 10 ⁻⁶ mol·L ⁻¹	Konversiya, %	R _p × 10 ⁻⁶ mol·L ⁻¹ ·s ⁻¹
1	16.8	6.4	4.075
2	25.2	8.2	4.89
3	33.6	10.6	5.705
4	42.0	12.4	7.335
5	51.3	15.2	8.965

$$[TDMA] = 2.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [St] = 1.44 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [MA] = 0.72 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

TDMA–ST–MA terpolimerlanish kinetikasiga monomerlar konsentratsiyasining ta'siri jadval va grafiklarda keltirilgan natijalar asosida miqdoriy jihatdan baholanganda inisiator ishtirokida, doimiy harorat va vaqt sharoitlarida olib borilganda, kinetik farqlarni bevosita monomer tarkibi bilan bog'lash imkonini berdi shuningdek stiro konsentratsiyasi oshirilishi bilan polimerlanish tezligi va umumiy konversiya izchil ravishda ortishiga olib keldi.

Stirolning past konsentratsiyalarida umumiy konversiya 7,0–8,5% oralig'ida kuzatiladi. Stirolni miqdori oshirilganda esa konversiya 13,9–15,6 % gacha, terpolimerlanish tezligi R_p esa 3,11 × 10⁻⁶ dan 11,07 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹·s⁻¹ gacha ortadi. Bu holat stirolning radikal polimerlanishga yuqori moyilligi

hamda TDMA–ST–MA tizimida asosiy aktiv radikal hosil qiluvchi monomer ekanligini ko'rsatadi.

TDMA konsentratsiyasi oshirilganda ham konversiya 9,1% dan 14,3% gacha, terpolimerlanish tezligi R_p esa $4,17 \times 10^{-6}$ dan $11,60 \times 10^{-6}$ mol·L⁻¹·s⁻¹ gacha ortadi. Biroq stiroлга nisbatan TDMA molekulasida uzun alifatik yon zanjirlarning mavjudligi sababli molekulaning hajmi kattalashadi. Natijada reaksiya markaziga boshqa molekularning yaqinlashishi qiyinlashadi hamda jarayon davomida muhit qovushqoqligining ortishi molekularning erkin harakatlanishini cheklaydi.

MA konsentratsiyasi oshirilganda konversiya 5,6% dan 15,7% gacha ortadi, ammo terpolimerlanish tezligi R_p esa $2,58 \times 10^{-6}$ dan $11,50 \times 10^{-6}$ mol·L⁻¹·s⁻¹ oralig'ida qoladi. Bu MA monomerining gomopolimerlanishga kam moyilligi bilan izohlanadi. Shu sababli MA asosan TDMA yoki stiroл bilan o'zaro ta'sirlashib, terpolimer zanjiriga aktiv markaz orqali qo'shiladi.

2-jadval

IMDN initsiatori ishtirokida (TDMA–St–MA) terpolimerlanish tezligiga monomerlar konsentratsiyasining ta'siri (reaksiya davomiyli 150 min, Harorat = 95 °C ± 10°C)

Namuna №	Monomer konsentratsiyasi (mol·L ⁻¹)	Konversiya (%)	$R_p \times 10^6$ (mol·L ⁻¹ ·s ⁻¹)
6 [TDMA]	0.28	7.02	3.11
7	0.86	8.35	4.31
8	2.01	13.9	9.10
9	2.59	15.6	11.07
10 [St]	0.72	9.1	4.17
11	2.16	11.4	7.48
12	2.88	14.3	11.60
13 [MA]	1.00	5.6	2.58
14	3.01	12.1	8.83
15	4.02	15.7	11.50

* [TDMA] = 1.44 mol·L⁻¹, [St] = 2.01 mol·L⁻¹, [IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹

** [St] = 1.44 mol·L⁻¹, [MA] = 1.44 mol·L⁻¹, [IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹

*** [St] = 1.44 mol·L⁻¹, [MA] = 1.44 mol·L⁻¹, [IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹

3-jadvalda TDMA–ST–MA terpolimerlari uchun boshlang'ich monomer (F), terpolimer tarkibidagi monomerlar nisbati (f), umumiy konversiya darajasi hamda terpolimer zanjiriga kiritilgan monomerlarning mol ulushlari keltirilgan.

3-namunada boshlang'ich monomer nisbati F=1.43, polimer tarkibidagi nisbat esa f=1.40 ni tashkil etdi. Ushbu sharoitda umumiy konversiya 10,6% bo'lib, terpolimer tarkibida TDMA, stiroл va MA monomerlarining mol ulushlari mos ravishda

1,44:1,44:2,01 ga teng bo'ldi.

6-namunada boshlang'ich monomer nisbati F=2.00, polimer tarkibida esa f=1.90f = 1.90f=1.90 bo'lib, konversiya 7,02 % ni tashkil etdi. Bu holatda terpolimer tarkibida stiroл ulushi 0,28, TDMA — 1,44 va MA — 2,01 ga teng bo'ldi.

9-namunada yuqori konversiya (15,6%) kuzatilib, boshlang'ich monomer nisbati F=0.85, polimer tarkibi esa f=0.98 ni tashkil etdi. Ushbu sharoitda stiroлning mol ulushi 2,59, TDMA — 1,44 va MA — 2,01 ga teng bo'ldi.

10-namunada konversiya 9,1% bo'lib, monomer nisbati F=0.71, polimer tarkibi f=0.37 ga teng. Terpolimer tarkibida stiroл 1,44, TDMA 0,72 va MA 2,01 mol ulushlarda aniqlangan.

12-namunada boshlang'ich monomer nisbati F=2.88, polimer tarkibi f=2.31 va konversiya 14,3% ni tashkil etdi. Bu sharoitda TDMA ning terpolimer zanjiridagi mol ulushi 2,88 ga yetib, stiroл (1,44) va MA (2,01) ulushlari deyarli o'zgarmagan holda saqlanib qoldi.

3-jadval

Terpolimer tarkibi ([IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹ Harorat = 95°C ± 3°C, Vaqt = 150 daqiqa)

Namuna	Monomerlarning boshlang'ich miqdori (F)	Terpolimer tarkibidagi miqdor (f)	Konversiya, %	[TDMA] mol ulushi	[St] mol ulushi	[MA] mol ulushi
3	1.43	1.4	10.6	1.44	1.44	2.01
6	2.00	1.9	7.02	0.28	1.44	2.01
9	0.85	0.98	15.6	2.59	1.44	2.01
10	0.71	0.37	9.1	1.44	0.72	2.01
12	2.88	2.31	14.3	1.44	2.88	2.01
13	2.14	1.8	5.6	1.44	1.44	1.00
15	1.074	0.96	15.7	1.44	1.44	4.02

* Fenil protonlari cho'qqilari asosida hisoblangan.

** Asetoksi protonlari cho'qqilari asosida hisoblangan.

*** Elementar tahlil bo'yicha kislorod foizi asosida hisoblangan.

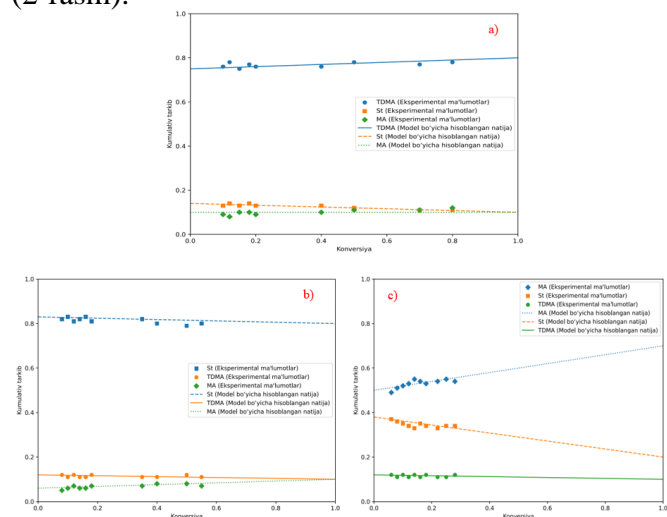
13-namunada konversiya eng past qiymatlardan biri bo'lib, 5,6% ni tashkil etdi. Monomer nisbati F=2.14, polimer tarkibi f=1.80 bo'lib, zanjir tarkibida stiroл 1,44, TDMA 1,44 va MA 1,00 mol ulushlarda kuzatildi.

15-namunada esa eng yuqori konversiya (15,7%) qayd etildi. Bu holatda boshlang'ich monomer nisbati F=1.074, polimer tarkibi f=0.96 bo'lib, terpolimer tarkibida stiroл 1,44, TDMA 1,44 va MA 4,02 mol ulushlarda aniqlangan.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, TDMA–St–MA terpolimerlanish jarayonida monomerlarning polimer zanjiriga kirishi ularning boshlang'ich nisbatiga to'liq proporsional emas. Stiroл va TDMA asosan zanjirning strukturaviy va elastik segmentlarini shakllantiradi, malein angidrid (MA) esa funksional guruhlarni kirituvchi

komponent sifatida ishtirok etadi. MA ning terpolimer tarkibiga qo‘shilishi ko‘pincha boshqa monomerlar bilan o‘zaro propagatsiya orqali amalga oshadi. Bu esa kinetik jarayonlarni boshqarish, terpolimer tarkibini nazorat qilish va ularning funksional xossalarni oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

Terpolimer tarkibining konversiyaga bog‘liq o‘zgarishini va kinetik model bilan taqqoslash: Sintez qilingan terpolimer monomerlar aralashmasida konversiya jarayonida monomerlarning zanjirga kiritilish darajasi kumulyativ tarkib funksiyasi F_i orqali baholandi va eksperimental natijalar kinetik model qiymatlari bilan solishtirildi (2-rasm).



2-rasm. (a) 0.8/0.1/0.1, (b) 0.1/0.8/0.1 va (c) 0.1/0.2/0.7 TDMA–St–MA monomerlar nisbatlarida kumulyativ terpolimer tarkibi F_i (eksperimental ma’lumotlar va model qiymatlari)

(0,8/0,1/0,1) boshlang‘ich tarkibda konversiya 0,05–0,90 oralig‘ida o‘zgarganda, terpolimer tarkibida asosiy komponent sifatida TDMA ulushi deyarli o‘zgarmay $F \approx 0,75–0,80$ oralig‘ida saqlanadi. Ikkinchi va uchinchi monomerlar ulushi mos ravishda $F \approx 0,12–0,15$ ni tashkil etib, konversiya ortishi bilan ularning o‘zgarishi $\pm 0,02$ dan oshmaydi.

(0,1/0,8/0,1) tarkibli sistemada esa butun konversiya davomida stirok asosiy komponent sifatida ustunlik qiladi va uning ulushi $F \approx 0,80–0,83$ oralig‘ida kuzatiladi. Shu bilan birga, TDMA ulushi $F \approx 0,10–0,13$, MA ulushi esa $F \approx 0,06–0,10$ diapazonda o‘zgaradi.

(0,1/0,2/0,7) sistemada konversiya ortishi bilan sezilarli tarkibiy qayta taqsimlanish kuzatiladi. Past konversiyada MA ulushi $F \approx 0,50–0,55$ bo‘lsa, yuqori konversiyada u $F \approx 0,65–0,70$ gacha oshadi. Aksincha, stirok ulushi $F \approx 0,35–0,40$ gacha kamayadi, TDMA ulushi esa deyarli barqaror bo‘lib, $F \approx 0,10–0,12$ atrofida saqlanadi.

Uchala sistemada ham kinetik model asosida hisoblangan qiymatlar eksperimental natijalar bilan yuqori darajada mos kelib, maksimal og‘ish $\pm 0,02–0,04$ dan oshmaydi. Bu esa modelning yuqori aniqlikda ($\pm 0,03$) ishlashini, tanlangan matematik yondashuvning to‘g‘riligini va uning adekvatligini tasdiqlaydi. Model yordamida terpolimer tarkibining o‘zgarishini oldindan bashorat qilish mumkin bo‘lib, TDMA–St–MA tizimida monomerlar nisbatini tanlash orqali yakuniy strukturaviy va funksional xossalarni maqsadli boshqarish imkoniyati yaratiladi. Shuningdek, bu yondashuv reaktivlik nisbatlarini aniqlash uchun ishonchli eksperimental asos bo‘lib xizmat qiladi.

Xulosa. TDMA–stirok–malein anhidrid sistemasida terpolimerlanish jarayoni monomerlar nisbati va inisiator konsentratsiyasiga bog‘liq holda kechishi aniqlandi. Inisiator miqdori ortishi bilan konversiya va reaksiya tezligi oshadi. Stirok jarayonni tezlashtiruvchi asosiy komponent bo‘lib xizmat qiladi, TDMA esa asosan diffuzion omillar orqali ta’sir ko‘rsatadi, malein anhidrid esa selektiv ravishda terpolimer zanjiriga inkorporatsiyalanadi. Eksperimental natijalar kinetik model bilan yuqori moslikda ($\pm 0,02–0,04$) bo‘lib, modelning adekvatligini tasdiqladi. Olingan natijalar terpolimer tarkibini boshqarish va uning xossalarni oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Speight, J. G. (2014). The chemistry and technology of petroleum (5th ed., pp. 811–835). CRC Press.
 [2] Rudnick, L. R. (2017). Lubricant additives: Chemistry and applications (3rd ed., pp. 245–278). CRC Press.

- [3] Matyjaszewski, K., & Möller, M. (Eds.). (2012). Polymer science: A comprehensive reference (Vol. 5, pp. 101–135). Elsevier.
- [4] Matyjaszewski, K., & Davis, T. P. (Eds.). (2009). Handbook of radical polymerization (pp. 361–410). Wiley.
- [5] Totten, G. E. (Ed.). (2013). Fuels and lubricants handbook (pp. 421–450). ASTM International.
- [6] Odian, G. (2010). Principles of polymer chemistry (pp. 215–250). Springer.
- [7] Wulkow, M. (2008). PREDICI: Polymer reaction engineering simulation (pp. 55–110). Wiley-VCH.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Mavlonov, Sh. B., & Fozilov, S. F. (2026). Uch monomerli terpolimerlanish reaksiyasida tarkibining strukturaviy o'zgarishlari eksperimental va kinetik model asosida baholash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.2>

UO‘K: 622.276.1/4

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.21

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

GAZ QUDUQLARIDA SUYUQLIK YIG‘ILISHINI KAMAYTIRISH UCHUN KO‘PIK HOSIL QILUVCHI SHASHKA TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH



Rustamov Mirzoxid Mansur o'g'li

Texnika fanlari falsafa doktori, Qarshi xalqaro universiteti, Qarshi, O'zbekiston

E-mail: mirzoxidrustamov406@gmail.com

ORCID ID: 0009-0005-9626-3351

Science ID: FQD-0226-0030

Annotatsiya. Gaz quduqlarida konlarni ishlatishning so‘nggi bosqichlarida suyuqlik yig‘ilishi (liquid loading) muammosi keng tarqalgan bo‘lib, u quduq mahsuldorligining keskin pasayishiga olib keladi. Mazkur tadqiqotda gaz quduqlarida suyuqlik zichligini kamaytirish orqali uni samarali chiqarishga qaratilgan ko‘pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasi takomillashtirildi. Tadqiqot metodologiyasi nazariy tahlil, laboratoriya tajribalari va dala sinovlarini o‘z ichiga oladi. Olingan natijalarga ko‘ra, taklif etilgan tarkib suyuqlikning effektiv zichligini 35–45% ga kamaytiradi hamda quduq mahsuldorligini 18–27% ga oshiradi. Ushbu texnologiya gaz quduqlarini samarali ishlatishda iqtisodiy jihatdan samarali yechim hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: gaz quduqlari, liquid loading, shashka, ko‘pik, ko‘p fazali oqim, sirt faol moddalar.

Received: 25.05.2026

Accepted: 23.06.2026

Published: 29.06.2026

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИХ ШАШЕК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СКОПЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ГАЗОВЫХ СКВАЖИНАХ

Рустамов Мирзохид Мансур угли

Каршинский международный университет, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Карши, Узбекистан

Аннотация. В газовых скважинах на поздних стадиях разработки месторождений широко распространена проблема накопления жидкости (liquid loading), приводящая к снижению продуктивности скважин. В данной работе предложена усовершенствованная технология пеногенирующих шашек, направленная на снижение плотности жидкости и повышение эффективности её выноса. Методика исследования включает теоретический анализ, лабораторные эксперименты и промышленные испытания. Полученные результаты показали снижение эффективной плотности жидкости на 35–45% и увеличение дебита скважин на 18–27%. Разработанная технология является экономически эффективным решением для повышения производительности газовых скважин.

Ключевые слова: газовые скважины, жидкостная нагрузка, пенообразование, многофазный поток.

IMPROVEMENT OF FOAM-GENERATING STICK TECHNOLOGY FOR REDUCING LIQUID LOADING IN GAS WELLS

Rustamov Mirzokhid Mansur ugli

Karshi International University, PhD in Technical Sciences, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *Liquid loading is a common problem in gas wells at the late stage of reservoir development, significantly reducing production efficiency. This study presents an improved foam stick technology aimed at reducing liquid density and enhancing lifting efficiency. The methodology includes theoretical analysis, laboratory experiments, and field testing. The results show a reduction in liquid density by 35–45% and an increase in well productivity by 18–27%. The proposed technology is economically viable and effective for gas well deliquification.*

Keywords: *gas wells, liquid loading, foam stick, multiphase flow, surfactants.*

Kirish. Hozirgi kunda tabiiy gaz jahon energetika balansining muhim tarkibiy qismi hisoblanib, uning ulushi yil sayin ortib bormoqda. Gaz resurslaridan samarali foydalanish, uglevodorod zaxiralarini maksimal darajada o'zlashtirish va quduqlar mahsuldorligini oshirish neft-gaz sanoati oldida turgan dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, gaz konlarini ishlatishning keyingi bosqichlarida quduqlarning ishlash sharoiti murakkablashib, texnologik muammolar soni ortib boradi.

Gaz quduqlarida kuzatiladigan asosiy muammolardan biri quduq tubida suyuqlik yig'ilishi bo'lib, u neft-gaz sanoatida liquid loading atamasi bilan ma'lum. Ushbu holat gaz oqimining tezligi suyuqlikni quduq bo'ylab yuqoriga ko'tarish uchun yetarli bo'lmagan sharoitlarda yuzaga keladi. Natijada qatlam suvi yoki gaz kondensati quduq tubida to'planib, quduqda qo'shimcha gidrostatik bosim hosil qiladi. Bu esa gaz oqimining harakatlanishini qiyinlashtiradi va quduq mahsuldorligining keskin pasayishiga olib keladi.

Konlarni uzoq muddat ishlatish jarayonida qatlam bosimining pasayishi ushbu muammoni yanada kuchaytiradi. Qatlam bosimi kamaygan sari gaz oqimining energiyasi pasayadi va natijada suyuqlikni quduqdan chiqarish qobiliyati cheklanadi. Bu holat ayniqsa past debitli quduqlarda yaqqol namoyon bo'ladi. Natijada quduqlarning ishlash samaradorligi pasayadi va ayrim hollarda ularning ishdan chiqishiga olib keladi.

Gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosi ko'p fazali oqimlar gidrodinamikasi bilan chambarchas bog'liq. Quduq ichida gaz va suyuqlik fazalarining bir vaqtda harakatlanishi turli oqim rejimlarining shakllanishiga olib keladi. Gaz

oqimining tezligi kamayganda suyuqlik fazasi pastga tushib ketadi va quduq tubida to'planadi. Shu sababli gaz quduqlarida suyuqlik chiqarish jarayonini samarali tashkil etish uchun ko'p fazali oqimlar qonuniyatlarini chuqur o'rganish muhim ahamiyatga ega.

Mazkur muammoni bartaraf etish maqsadida neft-gaz sanoatida turli texnologik usullar ishlab chiqilgan. Ular orasida mexanik usullar (пленжер-лифт), gidrodinamik usullar (velocity string) va kimyoviy usullar mavjud. Mexanik usullar quduq konstruksiyasini o'zgartirishni talab qiladi va ko'p hollarda yuqori xarajatlar bilan bog'liq bo'ladi. Gidrodinamik usullar esa ma'lum sharoitlarda samarali bo'lib, barcha quduqlar uchun universal yechim hisoblanmaydi.

Kimyoviy usullar, xususan, ko'pik hosil qiluvchi reagentlar asosidagi texnologiyalar so'nggi yillarda keng qo'llanilmoqda. Ushbu texnologiyalarda maxsus yuza-faol moddalar quduqqa kiritilib, suyuqlik bilan reaksiyaga kirishib ko'pik hosil qiladi. Ko'pikning hosil bo'lishi natijasida suyuqlikning effektiv zichligi kamayadi va gaz oqimi uni quduq bo'ylab yuqoriga ko'tarish imkoniyatiga ega bo'ladi.

So'nggi yillarda ko'pik hosil qiluvchi reagentlarning qattiq shakldagi turlari – shashka texnologiyasi amaliyotda keng qo'llanilmoqda. Ushbu texnologiyaning afzalligi shundaki, u quduqqa oson tushiriladi, qo'shimcha uskunalar talab qilmaydi va past debitli quduqlarda ham samarali ishlaydi. Biroq mavjud shashka tarkiblarining barqarorligi, yuqori minerallashgan suvlar sharoitida samaradorligi va ko'pik hosil qilish qobiliyati yetarli darajada emas.

Shu munosabat bilan gaz quduqlarida

suyuqlik zichligini kamaytirishga asoslangan ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasini takomillashtirish, uning kimyoviy tarkibini optimallashtirish va qo'llash samaradorligini oshirish muhim ilmiy va amaliy vazifa hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosini samarali bartaraf etishga qaratilgan takomillashtirilgan shashka texnologiyasini ishlab chiqish va uning samaradorligini baholashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosi neft-gaz sanoatida keng o'rganilgan va u quduq mahsuldorligiga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Ushbu muammoning nazariy asoslari ilk bor Turner va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ular gaz quduqlarida suyuqlikni uzluksiz chiqarish uchun zarur bo'lgan minimal gaz tezligini aniqlash metodikasini taklif etgan [4].

Turner modeliga muvofiq, gaz oqimining tezligi ma'lum kritik qiymatdan yuqori bo'lgandagina suyuqlik tomchilari gaz bilan birga quduq bo'ylab yuqoriga harakatlanadi. Agar gaz tezligi ushbu qiymatdan past bo'lsa, suyuqlik quduq tubida to'planib qoladi. Ushbu nazariya gaz quduqlarida liquid loading muammosini tushuntirishda asosiy ilmiy baza bo'lib xizmat qiladi.

Keyinchalik Coleman va hammualliflar tomonidan Turner modeli takomillashtirilib, quduq parametrlarini hisobga olgan holda aniqroq prognoz modellari ishlab chiqilgan. Ular gaz oqimining turbulentslik darajasi va quvur diametrining ta'sirini ham inobatga olgan holda suyuqlik chiqarish sharoitlarini baholash usulini taklif etgan.

Gaz quduqlarida ko'p fazali oqimlar gidrodinamikasi ham suyuqlik yig'ilishi jarayonini tushunishda muhim ahamiyatga ega. Beggs va Brill tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda gaz-suyuqlik oqimlarining turli rejimlari (bubble, slug, annular, mist) aniqlangan va ularning quduq ishlash samaradorligiga ta'siri tahlil qilingan [3]. Ushbu rejimlar gaz va suyuqlik fazalarining taqsimlanishi hamda ularning harakatlanish xususiyatlari bilan farq qiladi.

Ahmed va Guo tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda gaz quduqlarining ishlash samaradorligi qatlam parametrlari, bosim rejimi va flyuid xususiyatlari bilan chambarchas bog'liq ekanligi

ko'rsatib berilgan [1, 2]. Ularning ishlarida gaz quduqlarida debitni oshirish va ishlash rejimini optimallashtirish masalalari keng yoritilgan.

Gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosini bartaraf etish uchun turli texnologik usullar ishlab chiqilgan. Brown va Takács ishlarida mexanik usullar, jumladan plunjer-lift va gaz-lift texnologiyalari keng tahlil qilingan [5, 6]. Ushbu usullar quduq ichidagi gidrodinamik sharoitlarni o'zgartirish orqali suyuqlikni quduqdan chiqarishga qaratilgan.

Biroq mexanik usullar har doim ham samarali bo'lmaydi va ular qo'shimcha uskunar hamda yuqori ekspluatatsion xarajatlarni talab qiladi. Shu sababli so'nggi yillarda kimyoviy usullarga, ayniqsa ko'pik hosil qiluvchi reagentlarga asoslangan texnologiyalarga katta e'tibor qaratilmoqda.

Ko'pik hosil qiluvchi reagentlar asosidagi texnologiyalar Schramm va boshqa tadqiqotchilar tomonidan keng o'rganilgan. Ushbu tadqiqotlarda ko'pik hosil bo'lishi natijasida suyuqlikning effektiv zichligi kamayishi va gaz oqimining uni yuqoriga ko'tarish qobiliyati oshishi isbotlangan. Ko'pik gaz pufakchalarining suyuqlik plyonkalari bilan o'ralgan dispers tizimi bo'lib, u suyuqlikning gidrostatik bosimini kamaytiradi.

Ko'pik texnologiyalarining yana bir muhim jihati ularning qo'llanish osonligi va iqtisodiy samaradorligidir. Ushbu texnologiyalar quduq konstruksiyasini o'zgartirishni talab qilmaydi va past debitli quduqlarda ham samarali qo'llanilishi mumkin.

So'nggi yillarda ko'pik hosil qiluvchi reagentlarning qattiq shakldagi turlari – shashka texnologiyasi keng tarqalmoqda. Ushbu texnologiyada reagentlar quduqqa qattiq holda tushirilib, quduq sharoitida suyuqlik bilan reaksiyaga kirishib ko'pik hosil qiladi. Bu esa suyuqlik zichligini kamaytirish va uni quduqdan samarali chiqarish imkonini beradi.

Biroq mavjud tadqiqotlarda ko'pik barqarorligi, yuqori minerallashtirilgan suvlarda samaradorlik va reagent tarkibini optimallashtirish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan. Shu sababli ushbu yo'nalishda qo'shimcha ilmiy tadqiqotlar olib borish zarur hisoblanadi.

Shu tariqa, adabiyotlar tahlili gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosi dolzarbligini va uni hal qilish uchun yangi, samarali texnologiyalarni

ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

Ushbu tadqiqot gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi (liquid loading) muammosini bartaraf etishga qaratilgan bo'lib, ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasini takomillashtirish asosida amalga oshirildi. Tadqiqot doirasida ko'p fazali oqimlar gidrodinamikasi, gaz oqimining suyuqlikni ko'tarish qobiliyati va suyuqlik zichligini kamaytirish orqali ushbu jarayonga ta'sir etuvchi omillar kompleks ravishda o'rganildi.

Gaz quduqlarida mahsulot harakati gaz va suyuqlik fazalarining bir vaqtda harakatlanishi bilan xarakterlanadi. Bunday sharoitda quduq ichida ko'p fazali oqim shakllanadi va uning gidrodinamik xususiyatlari quduq ishlash samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Gaz oqimi suyuqlikni quduq bo'ylab yuqoriga ko'tarishi uchun uning tezligi ma'lum minimal qiymatdan yuqori bo'lishi talab etiladi. Ushbu kritik tezlik Turner modeli asosida baholanadi va quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$V_{cr} = C \cdot \left(\frac{\sigma(\rho_l - \rho_g)}{\rho_g^2} \right)^{0.25} \quad (1)$$

bu yerda V_{cr} — kritik gaz tezligi, σ — suyuqlik yuza tarangligi, ρ_l va ρ_g — mos ravishda suyuqlik va gaz zichliklari, C — empirik koeffitsiyentdir. Agar quduqdagi gaz tezligi ushbu kritik qiymatdan past bo'lsa, suyuqlik tomchilari gaz oqimi bilan birga harakatlana olmaydi va quduq tubida to'planadi.

Mazkur tadqiqotda suyuqlik yig'ilishi muammosini hal qilishning asosiy yo'nalishi sifatida suyuqlikning effektiv zichligini kamaytirish usuli tanlandi. Ko'pik hosil bo'lishi natijasida suyuqlik zichligi kamayadi va bu gaz oqimining suyuqlikni yuqoriga ko'tarish qobiliyatini oshiradi. Ko'pik holatidagi suyuqlikning effektiv zichligi quyidagi ifoda orqali baholandi:

$$\rho_{eff} = \rho_l(1 - \phi) \quad (2)$$

bu yerda ϕ — ko'pik tarkibidagi gaz ulushini ifodalaydi. Ko'pik hosil bo'lishi natijasida gidrostatik bosim kamayadi va gaz oqimi suyuqlikni osonlik bilan quduq bo'ylab yuqoriga ko'tara oladi.

Tadqiqot doirasida ko'pik hosil qiluvchi reagentning qattiq shakli — shashka ishlab chiqildi. Ushbu reagent quduqqa tushirilgandan so'ng quduq ichidagi suyuqlik bilan reaksiyaga kirishib ko'pik hosil qiladi. Hosil bo'lgan ko'pik gaz va suyuqlik fazalarining aralashmasidan tashkil topgan bo'lib,

suyuqlikning effektiv zichligini kamaytiradi va uning harakatlanishini yengillashtiradi.

Laboratoriya tadqiqotlari jarayonida ishlab chiqilgan shashka tarkibining ko'pik hosil qilish xususiyatlari o'rganildi. Jumladan, ko'pik hosil bo'lish vaqti, uning barqarorligi, suyuqlik zichligining o'zgarishi va yuqori minerallashtirish muhitdagi samaradorligi baholandi. Tajribalar natijasida ko'pikning barqarorligi va uning uzoq vaqt saqlanishi texnologiya samaradorligida muhim omil ekanligi aniqlandi.

Dala sinovlari gaz quduqlarida amalga oshirilib, texnologiyaning amaliy samaradorligi baholandi. Sinov jarayonida quduqning boshlang'ich debiti aniqlandi, so'ngra shashka quduqqa tushirilib, ma'lum vaqtdan keyin qayta o'lchash ishlari olib borildi. Quduq mahsuldorligining o'zgarishi orqali texnologiya samaradorligi baholandi.

Texnologiya samaradorligi quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\% \quad (3)$$

bu yerda Q_1 — boshlang'ich debit, Q_2 — texnologiya qo'llanilgandan keyingi debit hisoblanadi. Ushbu ko'rsatkich texnologiyaning amaliy samaradorligini baholash imkonini beradi.

Shu tariqa, tadqiqot metodologiyasi nazariy gidrodinamik modellar, laboratoriya tajribalari va dala sinovlarini birlashtirgan holda gaz quduqlarida suyuqlik chiqarish jarayonini samarali tashkil etishga qaratilgan kompleks yondashuvni o'z ichiga oladi.

Muhokama. Ushbu tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasining samaradorligi laboratoriya va dala sharoitida baholandi. Olingan natijalar gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosini bartaraf etishda ushbu texnologiyaning yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi.

Laboratoriya tadqiqotlari jarayonida ishlab chiqilgan reagent tarkibining ko'pik hosil qilish xususiyatlari aniqlandi. Tajribalar natijasida ko'pik hosil bo'lish vaqti, uning barqarorligi va suyuqlik zichligiga ta'siri baholandi. Olingan natijalarga ko'ra, taklif etilgan reagent yuqori minerallashtirish muhitda ham barqaror ko'pik hosil qilish qobiliyatiga ega ekanligi aniqlandi.

Ko'pik hosil bo'lishi natijasida suyuqlikning

effektiv zichligi sezilarli darajada kamaydi. Laboratoriya natijalari shuni ko'rsatdiki, suyuqlikning boshlang'ich zichligi 1000 kg/m³ bo'lgan holda ko'pik hosil bo'lgandan keyin uning effektiv zichligi 550–650 kg/m³ gacha kamaydi. Bu esa gidrostatik bosimning pasayishiga va gaz oqimining suyuqlikni yuqoriga ko'tarish qobiliyatining oshishiga olib keldi.

Quyida laboratoriya tadqiqotlari natijalari jadval ko'rinishida keltirilgan:

1-jadval

Ko'pik parametrlari va suyuqlik zichligi o'zgarishi

Ko'rsatkich	Qiymat (boshlang'ich)	Qiymat (shashkadan keyin)
Suyuqlik zichligi, kg/m ³	1000	550–650
Ko'pik hosil bo'lish vaqti, sek	–	20–35
Ko'pik barqarorligi, min	–	15–25
Gaz ulushi (φ)	–	0.35–0.45

Jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, ko'pik hosil bo'lishi natijasida suyuqlikning zichligi qariyb 40–45% ga kamaygan. Bu esa Turner modeliga muvofiq kritik gaz tezligining pasayishiga olib keladi va suyuqlikning quduq bo'ylab yuqoriga harakatlanishini osonlashtiradi.

Dala sinovlari bir nechta gaz quduqlarida amalga oshirildi. Sinovlar natijasida quduqlarning debitida sezilarli o'zgarish kuzatildi. Texnologiya qo'llanilishidan oldin va keyingi debit ko'rsatkichlari quyida keltirilgan:

2-jadval

Quduq mahsuldorligi o'zgarishi

Quduq №	Boshlang'ich debit (m ³ /sut)	Keyingi debit (m ³ /sut)	Oshish (%)
1	18 000	22 500	25%
2	12 500	15 800	26%
3	9 800	12 100	23%
4	15 200	19 000	25%

Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki, quduqlar mahsuldorligi o'rtacha 18–27% ga oshgan. Bu esa shashka texnologiyasining amaliy samaradorligini tasdiqlaydi.

Tadqiqot natijalarini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, ko'pik hosil qilish orqali suyuqlik zichligini kamaytirish gaz quduqlarida liquid loading muammosini hal qilishda eng samarali usullardan biri hisoblanadi. Bu holat gaz oqimining gidrodinamik parametrlarini yaxshilaydi va quduqning barqaror ishlashini ta'minlaydi.

Shuningdek, taklif etilgan texnologiya

mexanik usullarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega:

- quduq konstruksiyasini o'zgartirish talab etilmaydi;
- ekspluatatsion xarajatlar past;
- qo'llash soda;
- past debitli quduqlarda ham samarali.

Biroq texnologiyaning ayrim cheklovlari ham mavjud. Jumladan, reagentni muntazam ravishda quduqqa kiritish talab etiladi va yuqori harorat sharoitida ko'pik barqarorligi pasayishi mumkin.

Shu tariqa, tadqiqot natijalari ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasi gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi muammosini samarali hal qilishga qodir ekanligini ko'rsatdi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi (liquid loading) muammosini bartaraf etishga qaratilgan ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasi takomillashtirildi va uning samaradorligi nazariy, laboratoriya hamda dala tadqiqotlari asosida baholandi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishi asosan gaz oqimining tezligi kritik qiymatdan past bo'lgan sharoitlarda yuzaga keladi va bu holat quduq mahsuldorligining pasayishiga olib keladi. Turner modeli asosida olib borilgan tahlillar suyuqlikni samarali chiqarish uchun gaz oqimining minimal tezligini ta'minlash muhim ekanligini tasdiqladi.

Ishlab chiqilgan ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasi suyuqlikning effektiv zichligini kamaytirish orqali ushbu muammoni hal qilish imkonini berdi. Laboratoriya tadqiqotlari natijasida suyuqlik zichligi 35–45% ga kamayishi, ko'pik barqarorligining yuqori ekanligi va minerallashtirish muhitda ham samaradorlik saqlanishi aniqlandi.

Dala sinovlari natijalari esa texnologiyaning amaliy samaradorligini tasdiqladi. Quduq mahsuldorligi o'rtacha 18–27% ga oshganligi qayd etildi. Bu ko'rsatkichlar taklif etilgan texnologiyaning yuqori samaradorligini va uni amaliyotga joriy etish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi.

Tadqiqot natijalari gaz quduqlarida suyuqlik to'planishi quduq mahsuldorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri ekanligini ko'rsatdi. Suyuqlik zichligini kamaytirish va ko'pik hosil qiluvchi reagentlardan foydalanish gaz oqimining suyuqlikni ko'tarish qobiliyatini oshirib, quduqning samarali

ishlashini ta'minlaydi. O'tkazilgan tajribalar ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasining ayniqsa past debitli quduqlarda yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqladi. Shuningdek, mazkur usul iqtisodiy jihatdan maqbulligi, amaliy qo'llashning soddaligi va gaz quduqlarining barqaror ishlashini

ta'minlashi bilan ajralib turadi. Kelgusida texnologiyani yuqori harorat va bosim sharoitlarida qo'llash hamda reagent tarkibini yanada takomillashtirish bo'yicha tadqiqotlarni davom ettirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ahmed, T. (2010). Reservoir engineering handbook (4th ed.). Gulf Publishing Company.
- [2] Guo, B., Lyons, W., & Ghalambor, A. (2007). Petroleum production engineering. Elsevier.
- [3] Beggs, H. D., & Brill, J. P. (1991). Two-phase flow in pipes. PennWell Publishing.
- [4] Turner, R. G., Hubbard, M. G., & Dukler, A. E. (1969). Analysis and prediction of minimum flow rate for continuous removal of liquids from gas wells. *Journal of Petroleum Technology*, 21(11), 1475–1482.
- [5] Takács, G. (2005). Gas lift manual. PennWell Books.
- [6] Brown, K. E. (1984). The technology of artificial lift methods. PennWell Publishing.
- [7] Lea, J. F., Nickens, H. V., & Wells, M. R. (2008). Gas well deliquification. Gulf Professional Publishing.
- [8] Economides, M. J., & Hill, A. D. (1994). Petroleum production systems. Prentice Hall.
- [9] Schramm, L. L. (1994). Foams: Fundamentals and applications in the petroleum industry. American Chemical Society.
- [10] Khatib, Z. I., & Hirasaki, G. J. (1988). Foam flow in porous media. *SPE Journal*, 28(6), 919–927.
- [11] Coleman, S. B., Clay, H. B., & McCurdy, D. G. (1991). A new look at predicting gas well load-up. *Journal of Petroleum Technology*, 43(3), 329–333.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Rustamov, M. M. (2026). Gaz quduqlarida suyuqlik yig'ilishini kamaytirish uchun ko'pik hosil qiluvchi shashka texnologiyasini takomillashtirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.21>

UO‘K: 532.57

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.3

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SMART CHANNEL QURILMASINING SEZUVCHANLIGI VA MINIMAL SUV SARFINI EKSPERIMENTAL BAHOLASH



**Otaxonov Maqsud
Yusufovich**

“Smart Solution System” MCHJ
laboratoriya mudiri, dotsent,
Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: maksud.otakhonov@bk.ru
ORCID ID: 0000-0003-3969-4436
Science ID: FJZ-0525-0015



**Zokirov Ilhomjon
Bahtiyor o‘g‘li**

PhD doktorant, TIQXMMI Milliy
tadqiqot universiteti, Toshkent,
O‘zbekiston
E-mail:
ilhomjonzokirov1@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9672-3987
Science ID: MNM-0525-0011



**Arifjanov Alisher
Abdullayevich**

Mustaqil izlanuvchi, “O‘zbekiston
Milliy Metrologiya Instituti” Davlat
Muassasasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: alisher@nim.uz
ORCID ID: 0009-0003-9552-050X
Science ID: FTN-0426-0086



**Azizov Khurshid
Abduxamidovich**

Mustaqil izlanuvchi, “O‘zbekiston
Milliy Metrologiya Instituti” Davlat
Muassasasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail:
xurshidazizov002@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-9290-2533
Science ID: MTN-0426-0047

Annotatsiya. Ushbu maqolada ochiq o‘zanlarda suv sarfini o‘lchash uchun mo‘ljallangan “Smart Channel” qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfi eksperimental usulda baholangan. Tadqiqotning dolzarbligi sug‘orish tizimlarida suv resurslarini oqilona boshqarish, suv hisobini aniq yuritish va kichik sarflarni ishonchli qayd etish zarurati bilan izohlanadi. Tajribalar Toshkent viloyati Quyichirchiq tumanida joylashgan “Smart Solution System” MCHJning “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida olib borildi. Tadqiqot obyekti sifatida 60×60 sm o‘lchamdagi “Smart Channel” qurilmasi namunasi qabul qilindi. Qurilmaning ishlash prinsipi tezlik–maydon usuliga asoslangan bo‘lib, suv sarfi oqimning o‘rtacha tezligi va tirik kesim yuzi orqali aniqlanadi. Tajriba natijalari 60×60 sm o‘lchamdagi “Smart Channel” qurilmasi namunasi uchun o‘rtacha sezuvchanlik chegarasi 0,45 sm/s ga teng ekanini, minimal qayd etilgan suv sarfi esa 0,269 l/s ni tashkil etganini ko‘rsatdi. Qurilmaning o‘lchash aniqligi namunaviy elektromagnit sarf o‘lchagich hamda hajmiy usul bilan taqqoslash orqali baholandi. Natijalarga ko‘ra, “Smart Channel” qurilmasining xatoligi namunaviy sarf o‘lchash vositasiga nisbatan +2,47 % dan -2,48 % gacha, hajmiy usulga nisbatan esa +2,43 % dan -2,47 % gacha oraliqda o‘zgargan. Olingan ma‘lumotlar “Smart Channel” qurilmasi kichik suv sarflarini qayd etish va ochiq o‘zanlarda suv hisobini yuritishda amaliy jihatdan qo‘llash mumkin bo‘lgan qurilma ekanini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari qurilmaning minimal suv sarfini asoslash, sezuvchanlik chegarasini aniqlash va qiyoslash metodikasini takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: Smart Channel, ochiq o‘zan, suv sarfi, minimal suv sarfi, sezuvchanlik, tezlik–maydon usuli, qiyoslash, elektromagnit sarf o‘lchagich, hajmiy usul, o‘lchash xatoligi.

Received: 05.04.2026

Accepted: 11.04.2026

Published: 29.06.2026

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВА SMART CHANNEL И МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ВОДЫ

**Отахонов Максуд
Юсуфович**

ООО «Smart Solution System»,
заведующий лабораторией,
доцент, Ташкент, Узбекистан

**Зокиров Илхомжон
Бахтиёр угли**

PhD докторант, Национальный
исследовательский университет
ТИИМХ, Ташкент, Узбекистан

**Арифжанов Алишер
Абдуллаевич**

Независимый исследователь,
Государственное учреждение
«Национальный институт
метрологии Узбекистана»,
Ташкент, Узбекистан

**Азизов Хуршид
Абдухамидович**

Независимый исследователь,
Государственное учреждение
«Национальный институт
метрологии Узбекистана»,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье экспериментальным методом оценены чувствительность и минимальный расход воды устройства «Smart Channel», предназначенного для измерения расхода воды в открытых руслах. Актуальность исследования обусловлена необходимостью рационального управления водными ресурсами в оросительных системах, обеспечения точного учёта воды и надёжной регистрации малых расходов. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Гидравлика и гидрометрия» ООО «Smart Solution System», расположенной в Куйичирчикском районе Ташкентской области. В качестве объекта исследования был выбран образец устройства «Smart Channel» с размерами 60×60 см. Принцип работы устройства основан на методе «скорость–площадь», при котором расход воды определяется через среднюю скорость потока и площадь живого сечения. Результаты экспериментов показали, что для образца устройства «Smart Channel» размером 60×60 см средний порог чувствительности составляет 0,45 см/с, а минимально зарегистрированный расход воды — 0,269 л/с. Точность измерений устройства оценивалась путём сравнения с эталонным электромагнитным расходомером, а также объёмным методом. Согласно полученным результатам, погрешность устройства «Smart Channel» относительно эталонного расходомера составляет от +2,47 % до -2,48 %, а относительно объёмного метода — от +2,43 % до -2,47 %. Полученные данные подтверждают, что устройство «Smart Channel» может быть эффективно использовано для регистрации малых расходов воды и ведения учёта воды в открытых руслах. Результаты исследования создают научную основу для обоснования минимального расхода воды, определения порога чувствительности и совершенствования методики калибровки устройства.

Ключевые слова: Smart Channel, открытое русло, расход воды, минимальный расход воды, чувствительность, метод «скорость–площадь», сравнение, электромагнитный расходомер, объёмный метод, погрешность измерения.

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE SENSITIVITY OF THE SMART CHANNEL DEVICE AND THE MINIMUM WATER DISCHARGE

**Otakhonov Maqsud
Yusufovich**

“Smart Solution System” LLC,
Head of Laboratory, Associate
Professor, Tashkent, Uzbekistan

**Zokirov Ilhomjon
Bakhtiyor ugli**

PhD Doctoral Student, TIAME
National Research University,
Tashkent, Uzbekistan

**Arifjanov Alisher
Abdullayevich**

Independent Researcher, “National
Institute of Metrology of
Uzbekistan”, Tashkent, Uzbekistan

**Azizov Khurshid
Abduxamidovich**

Independent Researcher, “National
Institute of Metrology of
Uzbekistan”, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. In this study, the sensitivity and minimum water discharge of the “Smart Channel” device, designed for measuring flow in open channels, were experimentally evaluated. The relevance of the research is justified by the need for rational water resource management in irrigation systems, accurate water accounting, and reliable detection of low discharges. The experiments were conducted in the “Hydraulics and Hydrometry” laboratory of “Smart Solution System” LLC, located in the Kuyichirchik district of the Tashkent region. A 60×60 sm prototype of the “Smart Channel” device was selected as the research object. The operating principle of the device is based on the velocity–area method, where discharge is determined using the average flow velocity and the cross-sectional area. The experimental results showed that for the 60×60 sm “Smart Channel” device, the average sensitivity threshold is 0.45 sm/s, while the minimum recorded discharge is 0.269 L/s. The measurement accuracy of the device was

evaluated by comparison with a reference electromagnetic flow meter and the volumetric method. According to the results, the error of the "Smart Channel" device ranged from +2.47% to -2.48% relative to the reference flow meter, and from +2.43% to -2.47% relative to the volumetric method. The obtained results confirm that the "Smart Channel" device can be effectively applied for measuring low discharges and maintaining water accounting in open channels. The findings provide a scientific basis for determining the minimum measurable discharge, defining the sensitivity threshold, and improving calibration methodologies.

Keywords: Smart Channel, open channel, water discharge, minimum discharge, sensitivity, velocity–area method, comparison, electromagnetic flowmeter, volumetric method, measurement error.

Kirish. Suv inson hayoti, sog‘liqni saqlash, sanitariya, iqtisodiy faoliyat va oziq-ovqat mahsulotlarini yetishtirishning asosiy tabiiy resurslaridan biridir. BMT ma‘lumotlariga ko‘ra, suv barqaror rivojlanishning markazida turadi hamda oziq-ovqat va energiya ishlab chiqarish, sog‘lom ekotizimlar va ijtimoiy-iqtisodiy taraqqiyot uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Suv yetarli bo‘lmagan sharoitda aholi salomatligi, ishlab chiqarish jarayonlari va oziq-ovqat xavfsizligi izdan chiqadi. Ayniqsa, qishloq xo‘jaligida suv ekinlarning o‘sishi, hosildorlik darajasi va mahsulot sifatini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. FAO va HLPE materiallarida suv oziq-ovqat xavfsizligi va ovqatlanishning tayanch omili ekani alohida ta‘kidlanadi. So‘nggi o‘n yilliklarda dunyoda suv resurslariga bosim kuchayib bormoqda. UN-Water ma‘lumotiga ko‘ra, suv tanqisligi barcha qit‘alarda ortib borayotgan muammo bo‘lib, bunga aholi sonining ko‘payishi, iqlim o‘zgarishi, suvga talabning oshishi va mavjud resurslarning cheklanganligi sabab bo‘lmoqda. FAO hisobotida 3,2 milliard kishi yuqori yoki juda yuqori suv tanqisligi kuzatiladigan qishloq xo‘jaligi hududlarida yashashi qayd etilgan. Bunday sharoitda suvdan samarasiz foydalanish nafaqat tabiatga, balki global oziq-ovqat ta‘minotiga ham bevosita xavf tug‘diradi [1,2].

Sug‘oriladigan dehqonchilik suv resurslarining eng yirik iste‘molchilaridan biri bo‘lib, aynan shu tarmoqda suvni oqilona boshqarish masalasi eng dolzarb hisoblanadi. FAO suv tanqisligi sharoitida qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat xavfsizligini ta‘minlash uchun suv boshqaruvini takomillashtirish, samaradorlikni oshirish va monitoringni kuchaytirish zarurligini qayd etadi. Suvni aniq o‘lchamasdan turib uni adolatli taqsimlash, yo‘qotishlarni aniqlash, ortiqcha sarfni kamaytirish va samarali boshqaruv qarorlarini qabul

qilish qiyin. Shu sababli sug‘orish tizimlari, suv olish nuqtalari va ochiq o‘zanlarda suv sarfini o‘lchash qurilmalarini o‘rnatish bugungi kunda zaruratga aylanmoqda [3,4].

Bunday qurilmalar suv sarfini real vaqt rejimida nazorat qilish, suv taqsimotidagi nomutanosibliklarni aniqlash, yo‘qotishlarni kamaytirish va suvdan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Ayniqsa, ochiq o‘zanlarda qo‘llaniladigan zamonaviy raqamli qurilmalar suv resurslarini tejash, qishloq xo‘jaligida barqaror hosildorlikni ta‘minlash va oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashda muhim vosita bo‘lib xizmat qiladi. Shuning uchun ochiq o‘zanlarda suv sarfini aniq o‘lchashga xizmat qiluvchi qurilmalarni ishlab chiqish, joriy etish va ularning qiyoslash metodikasini takomillashtirish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb vazifa hisoblanadi.

Ochiq o‘zanlarda suv sarfini o‘lchashga oid adabiyotlar va normativ hujjatlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, mavjud yondashuvlarni shartli ravishda ikki katta guruhga ajratish mumkin. Birinchi guruhga Parshall, SANIIRI, Tomson, Chipoletti va shunga o‘xshash gidravlik inshootlar asosidagi o‘lchash vositalari kiradi. Ikkinchi guruhga esa ichimlik suvi uchun ishlab chiqilgan, yopiq quvurlarda ishlovchi suv hisoblagichlari kiradi. Birinchi guruhdagi qurilmalarda sarf odatda inshoot geometriyasi va napor balandligi asosida aniqlansa, ikkinchi guruhdagi hujjatlar minimal, o‘tuvchi, nominal va maksimal sarflarni aniq metrologik ko‘rsatkichlar sifatida Q_1 , Q_2 , Q_3 va Q_4 ko‘rinishida belgilaydi [5,6].

Parshall va SANIIRI lotoklari bo‘yicha asosiy xalqaro hujjatlardan biri ISO 9826:1992 bo‘lib, u ochiq kanallarda Parshall va SANIIRI lotoklari yordamida suyuqlik sarfini o‘lchash usullarini belgilaydi. Mazkur standartda lotok turini tanlashda sarf diapazoni, mavjud napor, modul chegarasi,

maksimal ko‘milish darajasi, kanal tavsifi, ruxsat etilgan energiya yo‘qotishi va talab etilgan aniqlik kabi omillar hisobga olinishi ko‘rsatilgan. Demak, Parshall va SANIIRI turidagi qurilmalarda sarfni aniqlashning asosiy mantig‘i standartlashtirilgan geometriya va bosh o‘lchoviga tayangan reyting bog‘lanishiga asoslanadi [7,8,9].

Parshall lotogi bo‘yicha amaliy qo‘llanmalarda ham minimal sarf masalasi boshni o‘lchashdagi ishonchlilik bilan bog‘langan. Amaliy jadvallar odatda ma‘lum eng kichik bosh qiymatlaridan boshlab beriladi; bu kichik bosh zonalarida o‘lchash noaniqligi ortishini anglatadi. Shu bois klassik napor-asosli qurilmalarda minimal sarf ko‘pincha nazariy nolga yaqin oqim emas, balki ruxsat etilgan xatolik bilan ishonchli qayd etiladigan eng kichik sarf sifatida talqin qilinadi [10,11].

Tomson va boshqa yupqa devorli suv o‘tkazgichlar bo‘yicha asosiy xalqaro tayanch hujjat ISO 1438:2017 hisoblanadi. Ushbu standart ochiq o‘zanlarda to‘g‘ri to‘rtburchak va uchburchak yupqa devorli suv o‘tkazgichlar yordamida tiniq suv sarfini o‘lchash talablarini belgilaydi. Standart erkin oqim sharoitiga, ventilatsiyaga, boshni o‘lchash nuqtasining to‘g‘ri tanlanishiga va o‘lchash aniqligiga alohida talab qo‘yadi. Tomson suv o‘tkazgichi amalda uchburchak notchli yupqa devorli suv o‘tkazgichlar sinfiga kirgani uchun uning metrologik tavsifi ham bosh o‘lchovi aniqligiga bevosita bog‘liqdir [12,13].

Chipoletti suv o‘tkazgichi bo‘yicha alohida ISO standarti keng tarqalmagan bo‘lsa-da, amaliy qo‘llanmalarda u yupqa devorli suv o‘tkazgichlar nazariyasi doirasida ko‘riladi. Bunday qurilmalarda ham minimal sarf va sezuvchanlik masalasi kichik boshlarni o‘lchash, erkin oqimni saqlash va geometrik shartlarni bajarish bilan belgilanadi. Shuning uchun Tomson va Chipoletti turidagi inshootlarda minimal sarfning quyi chegarasi asosan naporni ishonchli o‘lchash imkoniyati bilan aniqlanadi.

MDH amaliyotida ochiq o‘zan o‘lchovlari uchun MI 2406-97 tavsiyasi muhim o‘rin tutadi. Mazkur hujjat Venturi, lotok va boshqa standart suv o‘lchash inshootlari uchun Q_{max} va Q_{min} kabi ko‘rsatkichlardan foydalanilishini nazarda tutadi. Hujjatning metodologik ahamiyati shundaki, unda ochiq o‘zanlar uchun ham yuqori va pastki ishchi sarf chegaralarini alohida metrologik parametrlar

sifatida ko‘rish zarurligi aks etadi [14].

Ichimlik suvi hisoblagichlari bo‘yicha yondashuv esa ancha formalashgan. OIML R 49-1:2024 va ISO 4064-1:2014 hujjatlarida suv hisoblagichning oqim tavsifi Q_1 , Q_2 , Q_3 va Q_4 qiymatlari bilan belgilanishi ko‘rsatilgan. Bu yerda Q_1 -minimal sarf, Q_2 -o‘tuvchi sarf, Q_3 - doimiy yoki nominal ishga yaqin sarf, Q_4 -ortiqcha yuklama sarfi hisoblanadi. Ushbu hujjatlar odatda $Q_2 = 1.6Q_1$ va $Q_4 = 1.25Q_3$ nisbatlarini belgilaydi. Shu bilan birga, suv hisoblagichining metrologik tavsifi ko‘pincha Q_3/Q_1 nisbati orqali ifodalanadi. GOST tizimidagi ichimlik suvi hujjatlari ham shu yondashuvga yaqin. GOST R 50193.1-92 sovuq ichimlik suvi hisoblagichlari uchun texnik va metrologik tavsiflarni, GOST R 50193.2-92 esa o‘rnatish talablarini belgilaydi. GOST 8.156-83 hujjatida esa sovuq suv hisoblagichlarini qiyoslash usullari va vositalari ko‘rsatilgan. Garchi bu hujjatlar “Smart Channel” qurilmasiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri tatbiq etilmasa ham, ulardagi asosiy metodologik g‘oya — qurilmani minimal, o‘tuvchi, nominal va maksimal ish nuqtalarida tekshirish — “Smart Channel” qiyoslash metodikasiga moslashtirilishi mumkin.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, ochiq o‘zanlardagi klassik qurilmalarning katta qismi — Parshall, SANIIRI, Tomson, Chipoletti va ularga o‘xshash inshootlar — asosan naporni o‘lchash orqali suv sarfini aniqlaydi. Bunday yondashuvda erkin oqim, standart geometriya, yuqori va quyi sathlar nisbati hamda boshni yetarli aniqlikda o‘lchash imkoniyati hal qiluvchi ahamiyatga ega. Shu sababli bunday qurilmalar ko‘milgan rejim, naporning yetishmasligi, erkin oqimning buzilishi yoki o‘zan geometrik sharoitlari o‘zgaradigan holatlarda cheklanishlarga duch kelishi mumkin.

“Smart Channel” qurilmasining asosiy farqi shundaki, unda suv sarfi napor bo‘yicha emas, balki tezlik va tirik kesim yuzi asosida aniqlanadi, ya‘ni $Q = \omega \cdot \vartheta$. Bu yondashuv napor-asosli klassik inshootlarga qaraganda boshqacha metrologik asos yaratadi: qurilmaning sezuvchanligi bosh o‘lchovining quyi chegarasiga emas, balki minimal o‘lchanadigan tezlik, minimal ishchi sath va kesimni aniqlash aniqligiga bog‘lanadi. Shu sababli “Smart Channel” uchun qiyoslash metodikasida minimal suv sarfi ikkita darajada qaralishi kerak: birinchisi — minimal tezlik va minimal sathdan kelib chiqadigan nazariy pastki chegara, ikkinchisi

— etalon bilan taqqoslash natijasida ruxsat etilgan xatolik doirasida aniqlanadigan metrologik minimal sarf.

Shunday qilib, adabiyotlar va normativ hujjatlar tahlili “Smart Channel” qurilmasining minimal suv sarfi va sezuvchanligini asoslash uchun quyidagi metodologik zaminni beradi: klassik napor-asosli qurilmalardan-pastki ishonchli o‘lchash chegarasi tushunchasi, ichimlik suvi hisoblagichlaridan esa minimal, o‘tuvchi, nominal va maksimal ish nuqtalarida qiyoslash tamoyili olinishi lozim. Aynan shu yondashuv “Smart Channel” qurilmasi uchun ilmiy asoslangan qiyoslash metodikasini ishlab chiqish va uning minimal suv sarfini aniqlashga xizmat qiladi.

Material va metodlar. Tadqiqotlar Toshkent viloyati quyichirchiq tumanida joylashgan “Smart Solution System” MCHJ ning “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida olib borildi. Laboratoriya asosan 5 ta qismdan iborat bo‘lib, 1-zaxira suv rezervuaru, 2-nasos, 3-naporli suv rezervuari, 4-taqsimlash kanali, 5-“Smart Channel” qurilmasi o‘rnatish joyi, 6-suv hajmini aniqlash rezervuaridan iborat. Ushbu laboratoriya asosan gidravlik tajribalar o‘tkazish uchun mo‘ljallangan bo‘lib, “Smart Channel” suv sarfini olchash qurilmasini sinashda va qiyoslashda foydalaniladi (1-rasm).



1-rasm. Laboratoriyadagi kanallarining sxematik ko‘rinishi.

Laboratoriyaning 3-naporli suv rezervuaridan 4-taqsimlash kanaliga suv diametri $d=600$ mm bo‘lgan dyuker orqali oqib o‘tadi. Aynan ushbu dyukerga DN=600 bo‘lgan elektromagnitli sarf o‘lchagich o‘rnatilgan. Elektromagnitli sarf

o‘lchagichning xatoligi $\pm 0,5\%$ ni tashkil etadi. Ushbu elektromagnitli sarf o‘lchagichdan namunaviy sarf o‘lchash vositasi sifatida foydalaniladi. Ya’ni, namunaviy sarf o‘lchash vositasidan suv miqdori o‘zgarmsdan “Smart Channel” qurilmasidan ham oqib o‘tadi. Ikkala suv sarfi qiyoslanib xatoligi aniqlanadi.

Tadqiqotlarning ishonchliligini oshirish maqsadida, laboratoriyaga 6-suv hajmini aniqlash rezervuari qurilgan. “Smart Channel” qurilmasidan oqib o‘tgan suv miqdori o‘zgarmsdan rezervuarga quyiladi. Ushbu rezervuar yordamida, hajmiy usulda suv sarfi aniqlanadi. Rezervuar prizmatik shaklida bo‘lib, ishchi hajmi 200 m^3 ni tashkol etadi. Rezervuarga suv sathini yuqori aniqlikda o‘lchovchi ultratovushli sath o‘lchash datchiklari qo‘yilgan. Sath o‘lchash datchiklari yuborgan ma’lumotlar, yaratilgan algoritim va dasturiy ta’minot asosida, rezervuardagi suv hajmi avtomatik ravishda aniqlanadi.

Tajriba obyekti. Tajriba obyekti sifatida “Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasining balandligi va eni 60×60 sm bo‘lgan namunasi tanlab olindi (2-rasm).



a) Old ko‘rinishi

b) Orqa ko‘rinishi

2-rasm. “Smart Channel” qurilmasining umumiy ko‘rinishi.

“Smart Channel” qurilmalari ochiq ozanlardagi suv sarfini o‘lchash uchun mo‘ljallangan. Undan asosan sug‘orma dehqonchilik va baliqchilik bilan shug‘ullanuvchi Fermer xo‘jaliklarining suv olish nuqtalariga o‘rnatiladi. Shu bilan bir qatorda kichik irrigatsiya kanallariga ham o‘rnatiladi. Sanoat korxonalaridan oqib chiqayotgan oqava suvlarni ham hisobini yuritishda foydalaniladi. “Smart Channel” qurilmasi asosan suv o‘tkazish korpusi va saqlovchi shkafdan iborat. Suv o‘tkazish korpusi materiali po‘latdan bolib, zanglashga qarshi

ishlov berilgan. Suv o'tkazish korpusiga suv tezligi, sathini o'lchash uchun ultratovushli datchiklari va suv sarfini boshqarish zatvori o'rnatilgan. Qurilmaning saqlovchi shkafi ishiga ma'lumotlarni saqlash, qayta ishlash, masofadan yuborish datchik va chiplar, elektr energiyasi uchun akkumlyator o'rnatilgan. Yuqori qismiga quyosh paneli o'rnatilgan. "Smart Channel" qurilmasiga o'rnatilgan akkumlyator va uni elektr energiyasi bilan to'yintiruvchi quyosh panelining o'rnatilishi natijasida markaziy elektr tarmog'iga umuman ehtiyoj sezilmaydi.

Tajriba olib borish uslubi. Tajribalarni olib borishda gidravlika va gidrometriyada yo'nalishida umumqabul qilingan uslublardan foydalanildi. Tajriba olib borish jarayonida, "Smart Channel" qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfini baholash asosiy maqsad qilib olindi. Laboratoriyada olib borilgan tajribalar quyidagi ketma-ketlikda olib borildi:

1) Tanlab olingan "Smart Channel" qurilmasi laboratoriyaning sinov uchun o'rnatish joyiga (5) ga o'rnatildi;

2) Nasos tizimi (2) ishga tushirildi;

3) Namunaviy suv o'lchash vositasi ishga tushirildi;

4) Suv hajmini aniqlash rezervuari (6) ishga tushirildi.

Tajribalarning har bir bosqichida suv sathi va sarfining o'zgarishligi boshqaruv zatvorlari yordamida ta'minlandi. Tajribalarning dastlabki bosqichida "Smart Channel" qurilmasi sezuvchanligi aniqlandi. Keyingi bosqichida minimal suv sarfini aniqlash imkoniyti baholandi.

"Smart Channel" suv sarfini o'lchash qurilmasi tezlik maydon usulida ishlaydi va suv sarfini hisoblaydi. Suv tezligini o'lchash datchiklari minimal tezlik $v_{\min}=0,5$ sm/s va maksimal tezlik $v_{\max}=500$ sm/s qiymatlarida yuqori aniqlikda ishlaydi deb hisoblanadi. "Smart Channel" suv sarfini o'lchash qurilmasi kengligi b , suv chuqurligi h_w , maksimal suv chuqurligi h_{\max} va uzunligi L deb belgilab olindi. Qurilmaga o'rnatilgan tezlik datchiklarning har biri 10-13 sm chuqurlikni qamrab oladi. Shunga ko'ra minimal suv sarfiga to'g'ri keladigan suv chuqurligi $h_w=10-13$ sm oralig'ida qabul qilindi. Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$Q_s = \omega_s \cdot v_s \quad (1)$$

$$\omega_s = b \cdot h_w \quad (2)$$

$$h_w = 10 - 13 \text{ cm} \quad (3)$$

bu yerda: Q_s - "Smart Channel" qurilmasidan o'tayotgan suv sarfi, ω_s - "Smart Channel" qurilmasidan o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi, h_w - "Smart Channel" qurilmasidan o'tayotgan suv oqimining chuqurligi.

"Smart Channel" qurilmasi yuqorida keltirilgan (1) va (2) formulalar yordamida suv sarfini aniqlaydi. Buning uchun dasturiy ta'minot yaratilgan bo'lib ma'lumotlar avtomatik ko'rsatib boriladi.

Namunaviy suv sarfini o'lchash vositasidan o'tayotgan suv sarfi ham tezlik maydon usuliga asoslangan bo'lib, quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$Q_n = \omega_n \cdot v_n \quad (4)$$

$$\omega_n = \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

bu yerda: Q_n -namunaviy suv sarfini o'lchash vositasidan o'tayotgan suv sarfi, ω_n -namunaviy suv sarfini o'lchash vositasidan oqib o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi, D - namunaviy suv sarfini o'lchash vositasining ichki diametri ($D = 600$ mm).

Suv saqlash rezervuariga quyilgan suv hajmidan kelib chiqib suv sarfi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q_r = \frac{V}{t} \quad (6)$$

$$V = \Omega_r \cdot h_r \quad (7)$$

$$\Omega_r = B \cdot S \quad (8)$$

bu yerda: Q_r -rezervuarga tushayotgan suv sarfi, V -rezervuardagi suv hajmi, Ω_r -rezervuar asosining yuzasi, h_r -rezervuardagi suv chuqurligi, B va S rezervuar asosining tomonlari.

"Smart Channel" qurilmasi ko'rsatgan suv sarfi va namunaviy sarf o'lchash vositasidan o'tayotgan suv sarfi xatoligi quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$\Delta Q_{sn} = \frac{Q_s - Q_n}{Q_s} \cdot 100\% \quad (9)$$

"Smart Channel" qurilmasi ko'rsatgan suv sarfi va suv hajmini aniqlash rezervuariga tushayotgan suv sarflari orasidagi xatoligi quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$\Delta Q_{sr} = \frac{Q_s - Q_r}{Q_s} \cdot 100\% \quad (10)$$

Natija va muhokama. Tajribaning dastlabki bosqichida "Smart Channel" qurilmasining sezuv-

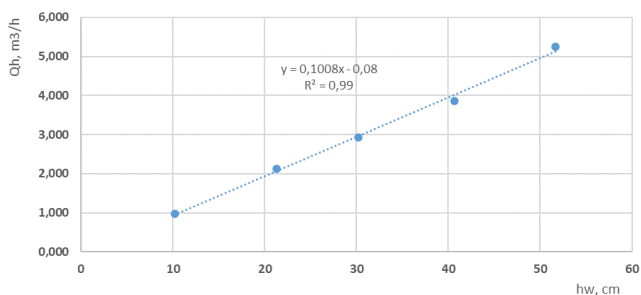
chanligini aniqlash masalasida tadqiqotlar olib borildi. Suv chuqurligi 10 dan 50 sm gacha hamda tezlikning 0,1 dan 0,5 sm/s gacha bo'lgan qiymatlarida tajribalar olib borildi. Olib borilgan tajriba natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (1-jadval).

Olib borilgan tajribalar davomida "Smart Channel" qurilmasida suv chuqurligi 10,2 sm bo'lganda, tezlik 0,44 sm/s, suv chuqurligi 21,3 sm bo'lganda, tezlik 0,46 sm/s, suv chuqurligi 30,2 sm bo'lganda, tezlik 0,45 sm/s, suv chuqurligi 40,7 sm bo'lganda, tezlik 0,44 sm/s, suv chuqurligi 51,7 sm bo'lganda, tezlik 0,47 sm/s qiymatlarini ko'rsatdi. Undan kichik tezliklarni ko'rsatmadi va suv sarfi aniqlanmadi. Chuqurliklar bo'yicha o'rtacha tezlik qiymati 0,45 sm/s ni tashkil etdi. Hisoblash natijalariga ko'ra bir soatdagi suv sarfi har bir chuqurli uchun aniqlandi va quyidagi chiziqli bog'lanish olindi (3-rasm).

1-jadval

Smart Channel qurilmasining sezuvchanligini aniqlash bo'yicha eksperimental natijalar

№	Qurilmaning o'lchamlari va suv chuqurligi			Qurilmadan oqib o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi ω_n, sm^2	Qurilmadan oqib o'tayotgan suv oqimining o'rtacha tezligi $\vartheta_n, \text{sm/s}$	Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi $Q_n, \text{l/s}$	Bir soatdagi qurilmadan oqib o'tgan suv sarfi $Q_h, \text{m}^3/\text{s}$
	b	h	h_w				
1	60	60	10,2	612	0,44	0,269	0,969
2	60	60	21,3	1278	0,46	0,588	2,116
3	60	60	30,2	1812	0,45	0,815	2,935
4	60	60	40,7	2442	0,44	1,074	3,868
5	60	60	51,7	3102	0,47	1,458	5,249
O'rtacha qiymat					0,45		



3-rasm. "Smart Channel" qurilmasining chuqurliklar bo'yicha sezuvchanlik sarfi qiymatining o'zgarishi garfigi.

Olingan natijalar matematika va ststistika uslublarida tahlil qilinib, "Smart Channel" qurilmasining 60x60 sm o'lchamidagi sezuvchanlik sarfini aniqlash bo'yicha quyidagi formula ishlab chiqildi.

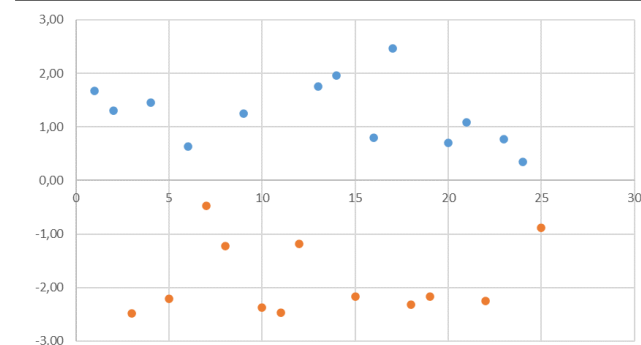
$$Q_h = 10,008h_w - 0,008 \quad (11)$$

Tadqiqotlarning keying bosqichida "Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini aniqlash bo'yicha tajribalar olib borildi. Qurilmadan o'tayotgan suv chuqurligining 10,1 dan 53,3 sm gacha, oqim tezligining 0,50 dan 0,59 sm/s gacha bo'lgan qiymatlarida tajribalar olib borildi. Qurilmaning o'lchash imkoniyati namunaviy o'lchash qurilmasi sarfi bilan taqqoslandi. Olib borilgan tadqiqot natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (2-jadval):

2-jadval

"Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini aniqlash jadvali

№	Qurilmaning o'lchamlari va suv chuqurligi			Qurilmadan oqib o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi ω_n, sm^2	Qurilmadan oqib o'tayotgan suv oqimining o'rtacha tezligi $\vartheta_n, \text{sm/s}$	Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi $Q_n, \text{l/s}$	Namunaviy suv sarfini o'lchash vositasi ko'rsatkichi $Q_n, \text{l/s}$	Xatolik qiymati $\Delta Q_n, \%$
	b	h	h_w					
1	60	60	11,3	678	0,51	0,346	0,340	1,67
2	60	60	10,1	606	0,52	0,315	0,311	1,31
3	60	60	12,5	750	0,51	0,383	0,392	-2,48
4	60	60	11,2	672	0,53	0,356	0,351	1,45
5	60	60	10,7	642	0,57	0,366	0,374	-2,20
6	60	60	20,1	1206	0,58	0,699	0,695	0,64
7	60	60	20,3	1218	0,59	0,719	0,722	-0,47
8	60	60	20,5	1230	0,51	0,627	0,635	-1,23
9	60	60	21,4	1284	0,53	0,681	0,672	1,25
10	60	60	22,7	1362	0,52	0,708	0,725	-2,37
11	60	60	29,8	1788	0,56	1,001	1,026	-2,47
12	60	60	30,2	1812	0,51	0,924	0,935	-1,18
13	60	60	30,7	1842	0,52	0,958	0,941	1,76
14	61	61	31,5	1921,5	0,56	1,076	1,055	1,96
15	62	62	30,9	1915,8	0,54	1,035	1,057	-2,17
16	63	63	39,8	2507,4	0,55	1,379	1,368	0,80
17	64	64	40,5	2592	0,57	1,477	1,441	2,47
18	65	65	40,3	2619,5	0,51	1,336	1,367	-2,32
19	66	66	40,9	2699,4	0,50	1,350	1,379	-2,17
20	67	67	41,8	2800,6	0,58	1,624	1,613	0,70
21	68	68	49,7	3379,6	0,51	1,724	1,705	1,08
22	69	69	50,6	3491,4	0,50	1,746	1,785	-2,25
23	70	70	50,3	3521	0,50	1,761	1,747	0,77
24	71	71	50,2	3564,2	0,52	1,853	1,847	0,34
25	72	72	51,3	3693,6	0,53	1,958	1,975	-0,89



4-rasm. "Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini ko'rsatuvchi grafik.

Olib borilgan tajribalar natijalari tahlil etildi. Tahlilga ko'ra, "Smart Channel" qurilmasi va namunaviy sarf o'lchash qurilmasi o'rtasidagi xatoliklar + va - ishoralarda qayd etildi. Bu shuni anglatadiki + ishorali xatoliklarda "Smart Channel" qurilmasi sarfi ko'proq, - ishorali xatoliklarda esa

kamroq suv sarfini ko'rsatmoqda. Xatolikning eng kichik qiymati 0,34% bo'lgan bo'lsa, eng yuqori qiymati -2,48% ni tashkil etdi. Suv chuqurligi bo'yicha xatolik qiymatlari tahlil etildi va quyidagi bog'lanish olindi (4-rasm).

Tadqiqotlarning ishonchliligini ortirish maqsadida hajmiy usulda ham tajribalar olib borildi. "Smart Channel" qurilmasi ustida olib borilayotgan tajribalar davomida namunaviy sarf o'lchash vositasi bilan bir vaqtda hajmiy usulda ham tajribalar olib borildi. Yuqorida ta'kidlaganimizdek, namunaviy sarf o'lchash vositasidan o'tayotgan suv sarfi o'zgarimasdan "Smart Channel" qurilmasi o'tadi va suv hajmini aniqlash rezervuariga quyiladi. Suv saqlash rezervuariga tushayotgan suv sarfi hajmiy usulda aniqlanadi. Hajmiy usulda aniqlanadigan suv sarfi formulalari yuqorida (6), (7), (8) keltirilgan bo'lib, yaratilgan dasturiy ta'minot yordamida avtomatik hisoblab boriladi. Hajmiy usulda olib borilgan tadqiqot natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (3-jadval).

3-jadval

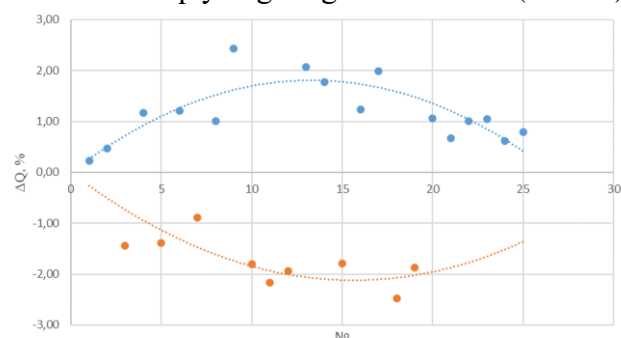
"Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini aniqlash jadvali

№	Qurilmaning o'lchamlari va suv chuqurligi			Qurilmadan oqib o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi	Qurilmadan oqib o'tayotgan suv oqimining o'rtacha tezligi	Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi	Hajmiy usulda aniqlangan suv sarfi	Xatolik qiymati
	b	ω_1 , cm ²	θ_1 , cm/s					
1	60	60	11,3	678	0,51	0,346	0,345	0,23
2	60	60	10,1	606	0,52	0,315	0,313	0,47
3	60	60	12,5	750	0,51	0,383	0,388	-1,44
4	60	60	11,2	672	0,53	0,356	0,352	1,17
5	60	60	10,7	642	0,57	0,366	0,371	-1,38
6	60	60	20,1	1206	0,58	0,699	0,691	1,21
7	60	60	20,3	1218	0,59	0,719	0,725	-0,89
8	60	60	20,5	1230	0,51	0,627	0,621	1,00
9	60	60	21,4	1284	0,53	0,681	0,664	2,43
10	60	60	22,7	1362	0,52	0,708	0,721	-1,80
11	60	60	29,8	1788	0,56	1,001	1,023	-2,17
12	60	60	30,2	1812	0,51	0,924	0,942	-1,93
13	60	60	30,7	1842	0,52	0,958	0,938	2,07
14	61	61	31,5	1921,5	0,56	1,076	1,057	1,77
15	62	62	30,9	1915,8	0,54	1,035	1,053	-1,79
16	63	63	39,8	2507,4	0,55	1,379	1,362	1,24
17	64	64	40,5	2592	0,57	1,477	1,448	1,99
18	65	65	40,3	2619,5	0,51	1,336	1,369	-2,47
19	66	66	40,9	2699,4	0,50	1,350	1,375	-1,87
20	67	67	41,8	2800,6	0,58	1,624	1,607	1,07
21	68	68	49,7	3379,6	0,51	1,724	1,712	0,67
22	69	69	50,6	3491,4	0,50	1,746	1,728	1,01
23	70	70	50,3	3521	0,50	1,761	1,742	1,05
24	71	71	50,2	3564,2	0,52	1,853	1,842	0,61
25	72	72	51,3	3693,6	0,53	1,958	1,942	0,80

Hajmiy usulda ham "Smart Channel" qurilmasi sarf o'lchash xatoliklari + va - ishoralarda qayd etildi. Bu shuni anglatadiki + ishorali xatoliklarda "Smart Channel" qurilmasi sarfi ko'proq, - ishorali xatoliklarda esa kamroq suv sarfini ko'rsatmoqda.

Xatolikning eng kichik qiymati 0,23% bo'lgan bo'lsa, eng yuqori qiymati -2,47% ni tashkil etdi. Suv chuqurligi bo'yicha xatolik qiymatlari

tahlil etildi va quyidagi bog'lanish olindi (5-rasm).



5-rasm. "Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini ko'rsatuvchi grafik.

Xatolikning eng kichik qiymati 0,23% bo'lgan bo'lsa, eng yuqori qiymati -2,47% ni tashkil etdi. Suv chuqurligi bo'yicha xatolik qiymatlari tahlil etildi va quyidagi bog'lanish olindi (5-rasm).

Ma'lumki Parshal, Saniiri, Tomson, Chipoletti va shu kabi suv sarfini o'lchash qurilmalarining xatoligining maksimal qiymati ±5 % deb qabul qilingan. Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijasida "Smart Channel" qurilmasining 60x60 cm o'lchami uchun xatolikning maksimal chegarasi ±2,48% yoki ±2,50% qiymatlarda qabul qilish maqsadga muvofiqdir.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida "Smart Channel" qurilmasining 60x60 sm o'lchamdagi namunasi uchun sezuvchanlik va minimal suv sarfi laboratoriya sharoitida eksperimental ravishda baholandi. Olingan natijalar qurilmaning kichik suv sarflarini qayd etish imkoniyatini amaliy jihatdan asoslashga xizmat qiladi. Tajribalar davomida qurilmaning o'rtacha sezuvchanlik chegarasi 0,45 cm/s ekani aniqlandi va aynan shu tezlik oralig'ida suv sarfi barqaror qayd etilgani sababli ushbu qiymat qurilmaning amaliy sezuvchanlik chegarasi sifatida qaralishi mumkin. Tadqiqot natijalariga ko'ra, qurilmaning minimal qayd etilgan suv sarfi 0,269 l/s, bir soatlik ekvivalent sarf esa 0,969 m³/soat ni tashkil etdi. Demak, 60x60 sm o'lchamdagi namuna uchun minimal suv sarfi eksperimental tarzda asoslandi va u qurilmaning muhim metrologik tavsiflaridan biri sifatida qabul qilinishi mumkin. Shuningdek, sezuvchanlik bilan suv chuqurligi o'rtasida chiziqli bog'lanish mavjudligi aniqlanib, maxsus empirik formula ishlab chiqildi. Ushbu formula qurilmaning sezuvchanlik sarfini oldindan baholash va qiyoslash

nuqtalarini tanlashda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Qurilmaning o'lchash aniqligi namunaviy elektromagnit sarf o'lchagich hamda hajmiy usul bilan taqqoslash orqali baholandi. Natijalarga ko'ra, "Smart Channel" qurilmasining xatoligi elektromagnit sarf o'lchagichga nisbatan +2,47 % dan -2,48 % gacha, hajmiy usulga nisbatan esa +2,43 % dan -2,47 % gacha oraliqda qayd etildi. Bu esa qurilmaning turli chuqurlik va sarf rejimlarida qoniqarli aniqlik bilan ishlashini hamda natijalarning ikki mustaqil usul bilan tasdiqlanganini ko'rsatadi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, "Smart Channel" qurilmasining minimal suv sarfini asoslashda faqat nazariy sezuvchanlik chegarasi emas, balki etalon vositalar bilan taqqoslash orqali aniqlangan metrologik minimal sarf ham inobatga olinishi zarur. Mazkur tadqiqotda aynan shu yondashuv eksperimental ravishda tasdiqlandi. Qurilmaning ilmiy-amaliy afzalligi shundaki, u klassik napor-asosli qurilmalardan farqli ravishda suv sarfini tezlik va tirik kesim yuzi asosida

aniqlaydi. Shu sababli uning sezuvchanligi minimal o'lchanadigan tezlik, minimal ishchi sath va oqim geometriyasiga bog'liq bo'ladi, bu esa uni kichik sarfli va murakkab gidravlik sharoitlarda qo'llash imkoniyatini kengaytiradi.

Shu bilan birga, 60×60 sm o'lchamdagi namunada olingan natijalar qurilmaning laboratoriya sharoitida kichik suv sarflarini aniqlash va ularni qoniqarli aniqlik bilan qayd etish imkoniyatiga ega ekanini ko'rsatdi. Biroq qurilmaning minimal suv sarfi va sezuvchanlik ko'rsatkichlari konstruktsiya o'lchamlari hamda oqim sharoitiga bog'liq bo'lganligi sababli, boshqa o'lchamdagi modellar uchun alohida eksperimental tadqiqotlar o'tkazish zarur. Umuman olganda, mazkur tadqiqot "Smart Channel" qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfi bo'yicha eksperimental asoslangan natijalarni shakllantirib, kelgusida qurilmaning qiyoslash metodikasini ishlab chiqish, texnik hujjatlarni takomillashtirish hamda suv xo'jaligi amaliyotiga joriy etish uchun muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Water and food security. FAO.
- [2] High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. (2015). Water for food security and nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [3] Karimov, S., Akbarov, A., & Jonqobilov, U. (2004). Gidrologiya, gidrometriya va oqim hajmini rostdash (pp. 80–87). Toshkent.
- [4] Otakhonov, M., Atakulov, D., Zokirov, I., & Xudoyshukurov, Q. (2024). Parameter of a parabola-shaped canal method of determination. E3S Web of Conferences, 587, 01005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458701005>
- [5] United Nations. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. UNESCO World Water Assessment Programme.
- [6] Universal Current Meter. (2017). User manual. Turkey.
- [7] Xikmatov, F., Yunusov, G. X., Sagdeyev, N. Z., Turgunov, D. M., & Ziyayev, R. R. (2014). Gidrometriya (pp. 90–93). Toshkent.
- [8] International Organization for Standardization. (1992). ISO 9826: Measurement of liquid flow in open channels — Parshall and SANIIRI flumes.
- [9] Muste, M., Yu, K., Gonzalez, J., & Ansar, M. (2004). Methodology for estimating ADCP measurement uncertainty in open-channel flows. In World Water and Environmental Resources Congress 2004. [https://doi.org/10.1061/40737\(2004\)268](https://doi.org/10.1061/40737(2004)268)
- [10] Chow, V. T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
- [11] American Society of Mechanical Engineers. (2009). Standard for verification and validation in computational fluid dynamics and heat transfer (ASME V&V 20-2009).
- [12] Otakhonov, M., Abduraimova, D., Allayorov, D., & Zokirov, I. (2026). Evaluation of velocity distribution in earthen irrigation canals. AIP Conference Proceedings, 3390, 030027. <https://doi.org/10.1063/5.0322728>

- [13] Ali, G., & Maghrebi, M. F. (2023). Modifications to the single-point velocity measurement method for estimating river discharge in low-resource environments. HydroShare. <https://doi.org/10.4211/hs.d8df4d9fdd874cb6a66fa2495e61ab09>
- [14] Petrov, A. A., Kabilov, K. I., Sabirov, M. R., & Jurayev, B. B. (2023). Supplying long-term workability of the old elements of hydraulic facilities by using cold compositions. E3S Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339201038>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Otaxonov, M. Y., Zokirov, I. B., Arifjanov, A. A., & Azizov, K. A. (2026). Smart channel qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfini eksperimental baholash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.3>

UO‘K: 551.24:552.321

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.16

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

BURMACHAN KAMARNING POSTKOLLIZION BOSQICHINING RIVOJLANISHI VA POSTKOLLIZION GRANITOIDLARNING SHAKLLANISHI



Axmedov Xolxo'ja Raxmatullayevich

(PhD) Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

E-mail: axmedov-x-68@mail.ru

ORCID ID: 0009-0007-7715-7240

Science ID: FQD-0426-0008



Abdusalomova Moxinur Musurmon qizi

Magistrant, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada burmali kamarlarning postkollizion bosqichdagi rivojlanishi hamda postkollizion granitoidlarning shakllanish mexanizmlari tahlil qilingan. Wilson sikli doirasida kontinental kolliziyadan keyingi geodinamik jarayonlar, jumladan litosfera delaminatsiyasi, gravitatsion kollaps, rifting va transkorov siljishlarning magmatizmga ta'siri ko'rib chiqilgan. Shuningdek, postkollizion magmatizmning tarkibiy xususiyatlari, manbalari va granitoidlar hosil bo'lishining geodinamik modellari umumlashtirilgan.

Kalit so'zlar: postkollizion bosqich, granitoidlar, magmatizm, Wilson sikli, litosfera, delaminatsiya, orogen, geodinamika, kolliziya, rifting.

Received: 19.04.2026

Accepted: 11.06.2026

Published: 29.06.2026

РАЗВИТИЕ ПОСТКОЛЛИЗИОННОЙ СТАДИИ СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСОВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОСТКОЛЛИЗИОННЫХ ГРАНИТОИДОВ

Ахмедов Холхужа Рахматуллаевич

Каршинский государственный технический университет,
доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим
наукам, доцент, Карши, Узбекистан

Абдусаломова Мохинур Мусурмон кизи

Каршинский государственный технический университет,
магистрант кафедры геологии и горного дела, Карши,
Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрены особенности развития постколлизиионной стадии складчатых поясов и механизмы формирования постколлизиионных гранитоидов. В рамках цикла Уилсона проанализированы геодинамические процессы, возникающие после континентальной коллизии, включая деламинацию литосферы, гравитационный коллапс, рифтогенез и трансформные смещения. Обобщены составные особенности постколлизиионного магматизма, его источники и основные геодинамические модели образования гранитоидов.

Ключевые слова: постколлизиионная стадия, гранитоиды, магматизм, цикл Уилсона, литосфера, деламинация, ороеген, геодинамика, коллизия, рифтинг.

DEVELOPMENT OF THE POST-COLLISIONAL STAGE OF FOLD BELTS AND THE ORIGIN OF POST-COLLISIONAL GRANITOIDS

Akhmedov Xolkhuja Rakhmatullaevich

Karshi State Technical University, PhD in Geological and
Mineralogical Sciences, Associate Professor, Karshi, Uzbekistan

Abdusalomova Mokhinur Musurmon kizi

Karshi State Technical University, Master's Student of the
Department of Geology and Mining Engineering, Karshi,
Uzbekistan

Abstract. This article examines the evolution of fold belts during the post-collisional stage and the mechanisms responsible for the formation of post-collisional granitoids. Within the framework of the Wilson cycle, geodynamic processes following continental collision, including lithospheric delamination, gravitational collapse, rifting, and transcurrent faulting, are analyzed. The compositional characteristics, source regions, and geodynamic models of post-collisional magmatism and granitoid formation are also summarized.

Keywords: post-collisional stage, granitoids, magmatism, Wilson cycle, lithosphere, delamination, orogen, geodynamics, collision, rifting.

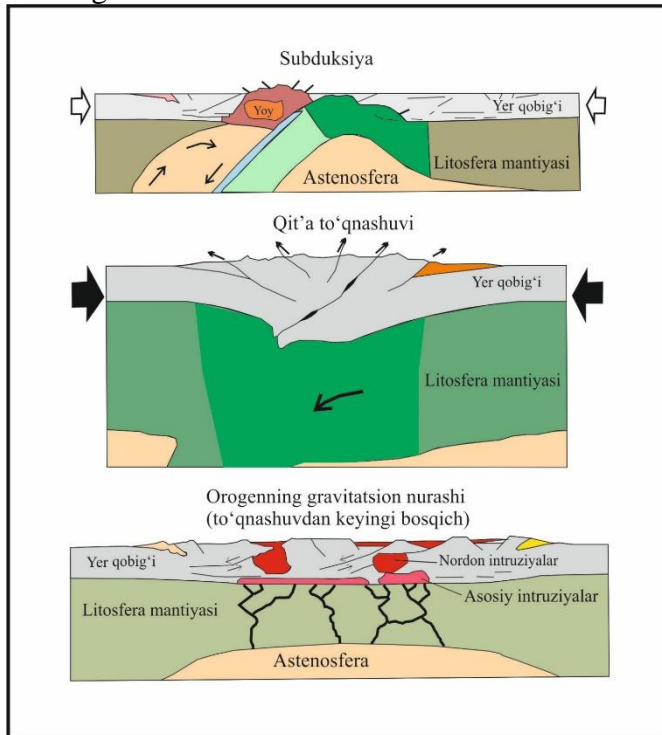
Kirish. Litosfera plitalarining tektonikasi nuqtayi nazaridan kontinental chekkalarning evolyutsiyasi Wilson cycle (John Tuzo Wilson, 1966) tomonidan ta'riflangan [1]. U zamonaviy Yer tektonik tuzilmalarining kelib chiqishini okeanlarning ochilishi va yopilishi bilan izohlaydi. Ushbu davr, jumladan, kollizion bosqichni (kontinent–kontinent yoki kontinent–yoy) o'z ichiga oladi va bu bosqich yer qobig'i qalinligining ortishi bilan kechadi (John Frederick Dewey va John Bird, 1970; Dewey va William R. Burke, 1973; Dewey, 1988). Kontinental kolliziyadan keyin, ammo barqaror plita yoki kraton shakllanishidan oldin rivojlanadigan Wilson cyclening o'ziga xos bosqichi postkollizion bosqich deb ataladi. Wilson cyclening yakuniy bosqichlari, jumladan subduksiya, kontinental kolliziya va postkollizion bosqichda orogenning gravitatsion kollapsi 1-rasmda sxemaviy tarzda ko'rsatilgan.

Adabiyot tahlili va usullari. Postkollizion magmatik seriyalarni mustaqil guruh sifatida qarashga asoslangan eng ilk klassifikatsiyalardan biri Sederxolma (Sederholm, 1934) tomonidan taklif etilgan sxema hisoblanadi. Ushbu sxemaga ko'ra, Janubiy Finlyandiya granitoidlari to'rt guruhga ajratiladi: sinorogen, kechki orogen, postorogen va anorogen. Bonin va hammualliflar (1998), shuningdek Liégeois va hammualliflar (1998) Sederxolm tomonidan ilgari surilgan tamoyillarga tayanib, kollizion burmalanish tuzilmalarining evolyutsiyasida uchta asosiy bosqichni ajratishni taklif etganlar: orogen, postorogen va anorogen rivojlanish bosqichlari. Ushbu bosqichlar turli geodinamik sharoitlarga mos keladi, jumladan: faol kontinental chet, kollizion, postkollizion va plita ichi muhitlar (2-rasm). Zamonaviy Yevropa geologik adabiyotlarda

orogenik kamarlarning postkollizion rivojlanish bosqichi Liégeois (1998) tomonidan shunday ta'riflanadi: bu davrda kolliziya jarayonida birlashgan terreymlar hali umumiy aylanish qutbiga ega emas va ular mintaqaviy siljish zonalarini bo'ylab bir-biriga nisbatan ko'chib harakatlanadi. Bunday geodinamik muhitga misol sifatida, miotsen davri boshidan buyon davom etayotgan Arab plitasining Yevrosiyo bilan kolliziyasini keltirilishi mumkin. Ushbu jarayon Anatoli, Zakavkaziya va Eron nagorye plitalarini tashkil etuvchi alohida terreymlar yoki bloklarning gorizontaal siljishlari natijasida yuzaga kelgan ko'plab siqilish, cho'zilish va yirik mintaqaviy siljish zonalarining shakllanishiga olib kelgan [2]. Sharqiy O'rta Yer dengizi hududining tektonik sxemasida (3-rasm) plitalarning harakat tezliklari va yo'nalishlari, shuningdek, miotsen–to'rtlamchi davr vulqon markazlarining joylashuv sxemasi (4-rasm) ko'rsatilgan bo'lib, ular postkollizion magmatizmning namoyon bo'lishi va tarqalishini yaqqol ifodalaydi.

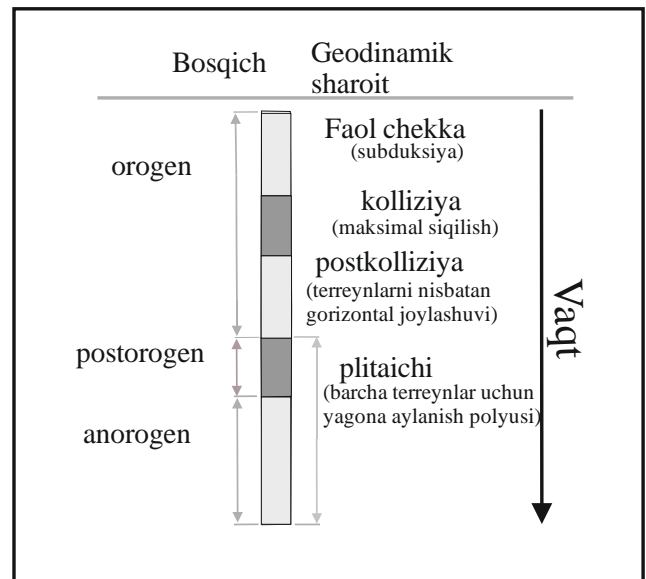
Shimoliy Amerika mamlakatlarida mintaqaviy geologik tadqiqotlar va xarita tuzish ishlarida qo'llaniladigan terreymlar tahlili konsepsiyasi postkollizion bosqichni tavsiflashda Yevropa an'alaridan farq qiluvchi atamalardan foydalanadi. Mintaqaviy darajada geologik tuzilishni ifodalashning asosiy birliklari sifatida «tektonostratigrafik terreymlar» qaraladi — ular uzilishlar bilan chegaralangan geobloklar bo'lib, qo'shni terreymlardan farq qiluvchi o'ziga xos geologik tarix bilan tavsiflanadi (Howell, 1985, 1989; Howell va boshq., 1985; Jones va boshq., 1983, 1987). Kollizion jarayonlarni tavsiflashda “akkretsiya” atamasi qo'llaniladi, ya'ni ikki yoki undan ortiq terreymlarning o'zaro yoki kraton chekkasi bilan tektonik jihatdan birikishi tushuniladi. Postkollizion

hosilalar “post-akkretsiyon tog‘ jinslari komplekslari” sifatida ta’riflanadi — bular akkretsiyadan keyin terreyn rivojlanishining kech bosqichlarida shakllangan cho‘kindi, vulqon yoki plutonik jinslar majmuasidir. Atamalarining yanada to‘liq lug‘ati Howell va boshq. (1985) ishlarida keltirilgan.



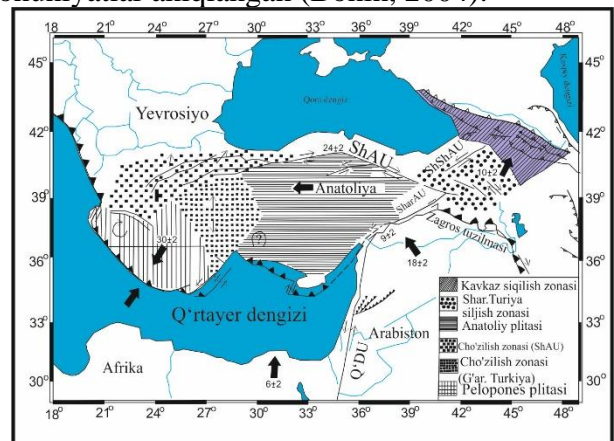
1-rasm. Uilson siklining yakuniy bosqichlarining sxematik tasviri, jumladan subduksiya, kontinental kolliziya va postkollizion bosqichda orogenning gravitatsion kollapsini o‘z ichiga olgan (Chenin et al. bo‘yicha, 2018).

Postkollizion bosqich plita tektonikasi nazariyasiga to‘liq integratsiya qilinmagan, chunki mazkur nazariya litosfera plitalarini nisbatan qattiq deb hisoblaydi va ularning o‘zaro siljishi asosan plitalar chegaralaridagi tor zonalarda jamlangan deb ta’kidlaydi (Atwater, 1970; Isacks va boshq., 1968; Le Pichon, 1968; McKenzie, 1969) [3]. Garchi ushbu yondashuv plitalar chegaralarida kechadigan ko‘plab jarayonlarni izohlab bersa-da, kontinent ichidagi deformatsiyalar, odatda, plitalar chegaralaridagi tor zonalar bilan cheklanib qolmaydi (Molnar, 1988). Kontinental kolliziya zonalarida tog‘ hosil bo‘lishi (orogenez) hamda deformatsiya, metamorfizm va magmatizmning keng hududlarda rivojlanishi bilan tavsiflanadi.



2-rasm. Orogenezning bosqichlari va geodinamik sharoiti (Liégeois bo‘yicha, 1998).

Postkollizion muhit — bu murakkab davr bo‘lib, u transkorov siljish zonalarini bo‘ylab katta amplitudali siljishlarni, terreynlarning nisbatan osoyishta birikishini (docking, qiya kolliziya), litosferaning delaminatsiyasini hamda rifting jarayonlarini o‘z ichiga olishi mumkin. Bunday sharoitlarda magmatizmning turli xillari yuzaga kelishi mumkin bo‘lib, ular uchun quyidagi asosiy qonuniyatlar aniqlangan (Bonin, 2004):



3-rasm. Sharqiy O‘rta Yer dengizida Yevroosiyoga nisbatan 1988–1997 yillarda plitalarning tektonik tuzilishi va gorizontall siljish tezliklari (qora strelkalar, mm/yil) (Taymaz et al. ma’lumotlari bo‘yicha, 2007). Qisqartmalar: ShAU – shimoliy Anatoliy uzilmasi, SharAU – sharqiy Anatoliy uzilmasi, ShShAU – shimoliy-sharqiy Anatoliy uzilmasi, O‘DU – O‘lik dengiz uzilmasi.

1. Postkollizion magmatizm, qoida tariqasida, nisbatan qisqa (15–20 mln yil) davom etuvchi intensiv granitoid magmatizm davrini ifodalaydi. Postkollizion intruziyalar odatda deformatsiyaga uchramagan bo‘ladi va posttektonik deb qaraladi;

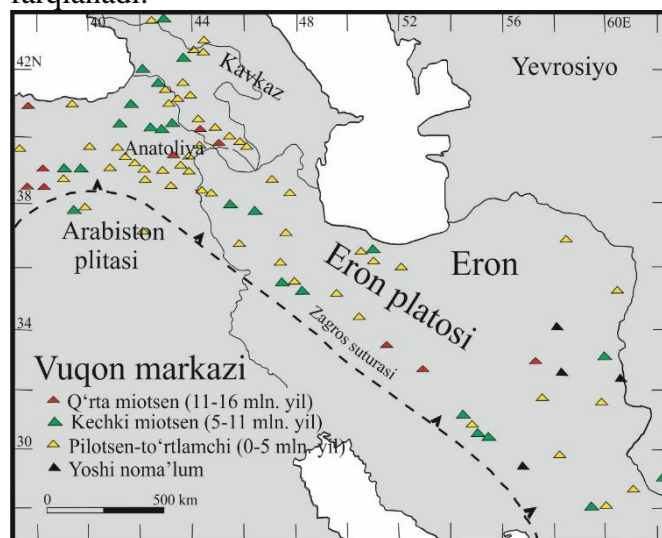
2. Postkollizion magmatik komplekslar (vulkanik va plutonik) tarkibi jihatidan asosan kaliyli bo‘lib, ultrakaliyli turlarni ham o‘z ichiga oladi (Conticelli and Peccerillo, 1992; Liégeois et al., 1998). Alyuminiy oksidiga ortiqcha to‘yingan granitoidlar esa yer po‘sti protolitlarining degidratatsiyasi va erishi natijasida hosil bo‘ladi (Nabelek et al., 1992; Sylvester, 1998). Shuningdek, ma‘lum darajada yuvenil xususiyatga ega bo‘lgan natriyli ishqoriy granitoidlar ham (Bonin, 1988, 1990; Liégeois and Black, 1987) ayrim hollarda katta hajmlarni tashkil etishi mumkin, biroq umumiy holda nisbatan kam uchraydi;

3. Postkollizion granitoidlarning manbalari oldingi subduksiya yoki kolliziya bosqichlari davomida shakllangan bo‘lib, ularning qit‘a qobig‘i yoki litosfera mantiyasi doirasida joylashganligiga bog‘liq emas. Izotop ma‘lumotlari bir ma‘noli emas va, odatda, manba tarkibida qit‘a qobig‘iga xos komponent mavjudligini ko‘rsatadi.

Postkollizion magmatizm alohida intruziyalar, shtoklar hamda keng hududlarda rivojlangan vulkanit qatlamlarini o‘z ichiga olishi mumkin va bu jarayonlar kollizion suturalar joylashuvi yoki nadseymofokal magmatizm zonalarining taqsimlanishidan mustaqil holda namoyon bo‘ladi (masalan, Seltnann et al., 2011). Shu bilan birga, postkollizion intruziyalarning katta qismi yirik transkoroviy siljishlar va/yoki pul-apart turidagi tektonik strukturalar bilan bog‘liq holda joylashgan (masalan, Konopelko va boshq., 2011). Ko‘plab mintaqalarda postkollizion magmatizm hozirgi erozion kesimda 60–70 % ni egallagan ko‘p sonli granitoid massivlarini shakllantirgan.

Postkollizion magmatizm ayrim hududlarda kontinental kolliziyadan so‘ng darhol rivojlansa, boshqa hollarda uning namoyon bo‘lishi asosiy kollizion jarayondan 20–30 million yil keyin kuzatilishi mumkin [5]. Uzoq vaqt davom etgan subduksion magmatizm bilan tavsiflanadigan andiy va orol-yoyi tipidagi geodinamik muhitlarda postkollizion magmatik komplekslar vaqt jihatidan uzluksiz ravishda nadsubduksion granitoidlar evolyutsiyasining davomi sifatida shakllanadi.

Kontinental kolliziya zonalarida esa postkollizion intruziyalar ko‘pincha uzoq muddat davom etgan anatektik granitlar hosil bo‘lish jarayonining yakuniy bosqichini ifodalasa-da, mineralogik va geokimyoviy tarkibi bilan ulardan sezilarli darajada farqlanadi.



4-rasm. Sharqiy Anatoliya, Kavkaz va Eron tog‘li hududlarida miotsen–to‘rtlamchi davrlarda shakllangan vulqon markazlarining joylashuvi. Rasmda Arab plitasining miotsen davridan buyon Yevrosiyo plitasi bilan davom etayotgan kolliziyasi natijasida rivojlangan postkollizion magmatizmning keng tarqalishi aks ettirilgan (Kaislaniemi ma‘lumotlari asosida, 2015).

Postkollizion magmatizm odatda keng hududlarda magmatik faollikning keskin susayishi yoki to‘xtashi bilan yakunlanadi. Ushbu bosqichdan so‘ng ko‘plab hollarda ma‘lum muddat davom etuvchi amagmatik davr kuzatiladi, keyinchalik esa u plitaichi magmatizmi rivojlanishi bilan almashishi mumkin. Biroq bunday ketma-ketlik barcha geodinamik hududlar uchun xos emas, chunki magmatizmning davomiyligi va xarakteri mintaqaning tektonik rivojlanish xususiyatlariga bog‘liq bo‘ladi.

Kollizion sharoitda shakllangan magmatik jinslar tarkibi va genezisi jihatidan faol subduksiya zonalariga mansub magmatik seriyalardan sezilarli darajada farqlanadi. Bunga sabab kollizion bosqichning kuchli siqilish muhiti bilan tavsiflanishi bo‘lib, bunday sharoit magmaning yuqoriga ko‘tarilishi va intruziyalanishini ma‘lum darajada cheklaydi. Plitaichi magmatizm esa,

odatda, yirik hajmdagi magmatik massivlarning hosil bo'lishi bilan xarakterlanmaydi. Shu sababli hozirgi erozion kesimlarda uchraydigan granitoid intruziyalarning katta qismi aynan postkollizion magmatik faoliyat mahsuli hisoblanadi.

Postkollizion magmatizmning tarkibiy va geodinamik jihatdan xilma-xilligini izohlash maqsadida turli orogenik kamarlarda kuzatilgan jarayonlarga asoslangan bir qator nazariy modellar ishlab chiqilgan. Ushbu modellar postkollizion granitoidlarning shakllanish mexanizmlarini tushuntirishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Natija. Postkollizion bosqichda qit'a qavatli (qobiq) jinslarining erishi va yuqori qavatlariga ko'tarilishi mumkin bo'lgan eritmalarning hosil bo'lishi katta miqdorda issiqlikni talab qiladi. Bu issiqlik manbalari quyidagilar bo'lishi mumkin: qalinlashgan qit'a qavatida to'planadigan radiogen issiqlik va astenosferaning issiq moddasi ko'tarilishi natijasida qit'a qavatiga uzatiladigan mantiy issiqlik. Astenosferaning issiq moddasining ko'tarilishi va uning qit'a qavatli bilan o'zaro ta'siri postkollizion bosqichda turli geodinamik jarayonlar natijasida amalga oshishi mumkin:

1. Subduksiya zonasi tik qiyalik bilan cho'kayotgan sharoitda postkollizion bosqichda slebning uzilishi yuz beradi. Bu jarayon astenosfera moddasining yuqoriga ko'tarilishiga sabab bo'ladi va orogenning tub qismidagi qovushqoqligi past litosferada, ya'ni issiqlik chegara qatlamida (*thermal boundary layer*), nisbatan kichik chuqurliklarda erish jarayonlarini vujudga keltiradi. So'ngan kaliyli ohakli-ishqoriy magmalar amfibolli peridotitlarning erishi natijasida hosil bo'ladi. Yuqori kaliyli ohakli-ishqoriy va shoshonitli magmalar esa yanada chuqurroqda joylashgan flogopit-granatli peridotitlar erishi hisobiga shakllanadi. Mantiya magmalarining tarkibi bir necha omillar ta'sirida o'zgarishi mumkin. Jumladan, subduksiyalanayotgan plitada hosil bo'lgan adakitli eritmalarning qo'shilishi, degidratatsiya (suvsizlanish) jarayonida ajralib chiqqan flyuidlar ta'siri, shuningdek yuqorida joylashgan litosfera moddalari bilan assimilyatsiya-kontaminatsiya jarayonlari bunga sabab bo'ladi;

2. Kollizion orogenlarda kuchli siqilish tezkor aplift (ya'ni yer qirtishi va tog' jinslarining ko'tarilishi) hamda gravitatsion kollapsning rivojlanishiga olib keladi. Bunda bir necha million

yil ichida siqilish jarayoni litosfera mantiyasining delaminatsiyasi (ajralib tushishi) va uning o'rnini qisman astenosfera moddasi egallashi natijasida cho'zilish (rastyajeniye) bilan almashadi (Black and Liégeois, 1993; Liégeois, 1998; Lobkovskiy va boshq., 2004; Larin, 2011). Marotta va hammualliflar (1998) bunday orogenlarning rivojlanishini to'rt bosqichga ajratadi:

3. Aplift va tog' hosil bo'lishi (goroobrazovaniye);

4. Orogenning gravitatsion kollapsi;

5. Litosfera mantiyasining delaminatsiyasi va uning cho'kishi;

6. Tizimning muvozanat holatiga qayta tiklanishi.

Ushbu bosqichlar geodinamik rivojlanishning kollizion, postkollizion va yakuniy plitaichi bosqichlariga mos keladi. Postkollizion davrda subduksiyalangan qit'a materiali bilan boyigan litosfera mantiyasining qisman erishi natijasida kaliyga boy magmalar hosil bo'ladi. Bular qatoriga yuqori kaliyli ohakli-ishqoriy, shoshonitli va ultrakaliyli magmatik seriyalar kiradi. Keyinchalik ushbu magmalarining yer po'stiga intruziyalanishi cho'kindi jinslarning degidratatsiyasi va qisman erishini keltirib chiqarib, alyuminiyga boy eritmalar shakllanishiga sabab bo'ladi. Natijada kaliyli va yuqori alyuminiyli postkollizion magmatik seriyalar bir vaqtning o'zida rivojlanib, ko'pincha o'zaro aralashish belgilarini namoyon etadi.

Postkollizion bosqichning so'nggi davrlarida litosfera mantiyasining delaminatsiyasi natijasida kontinental litosfera qalinligi kamayadi. Shu bilan bog'liq holda issiq astenosfera moddasi yuqoriga ko'tarilib, mantiyaning qisman erishiga va katta hajmdagi bazitli magmalar hosil bo'lishiga olib keladi [6]. Ushbu magmalar yer po'stining quyi qismida to'planib, anderpleyting jarayonini yuzaga keltiradi. Anderpleyting ta'sirida yuqori kaliyli ohakli-ishqoriy seriyalardan haqiqiy ishqoriy seriyalarga o'tish jarayoni tezlashadi. Keyingi plitaichi bosqichda litosfera sovishi va magmatik moddalarning qo'shimcha to'planishi hisobiga yana qalinlashadi. Bunday sharoitda erish jarayonlari chuqurroq sathlarda sodir bo'lib, natijada kremnezyomga to'yingan ishqoriy magmalardan kremnezyomga to'yinmagan ishqoriy magmalarga o'tish kuzatiladi. Mazkur model ayrim A-tip granitlar, rapakivi granitlari hamda anortozit-

charnokit komplekslarining kelib chiqishini izohlashda qo'llaniladi.

Postkollizion sharoitda rivojlanadigan yirik mintaqaviy siljish zonalari nafaqat yer qobig'ida, balki mantiyada ham deformatsiyalarni yuzaga keltirishi mumkin. Transtension sharoitlarda astenosfera moddasi yuqoriga ko'tarilib, siljish zonalari bo'ylab joylashgan turli tarkibli proto-litlarning qisman erishiga sabab bo'ladi. Ayrim hollarda esa ushbu zonalar orqali mantiya kelib chiqishiga ega ultraasosli intruziyalar ham kirib kelishi mumkin.

Bundan tashqari, ayrim geodinamik muhitlarda postkollizion granitoidlarning shakllanishida mantiya plyumlari muhim issiqlik manbai vazifasini bajaradi. Bunga Tarim platformasidagi platobazaltlar va Tyan-Shan hududidagi gersin yoshidagi postkollizion granitoidlarning deyarli bir vaqtda hosil bo'lishi misol bo'la oladi. Tadqiqotchilar ushbu magmatik faollikni Tarim hududi ostida rivojlangan mantiya plyumi bilan bog'laydilar.

Xulosa. Kollizion bosqich orogenez jarayonining eng yuqori (kulminatsion) nuqtasi

hisoblanadi. Undan keyin keladigan postkollizion bosqich esa juda faol va turli xil magmatik jarayonlar bilan tavsiflanadi. Postkollizion magmatizmning tabiati va rivojlanishi asosan kolliziyadan oldin sodir bo'lgan jarayonlarga, ayniqsa subduksiyaning xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. Subduksiya zonasining tik qiyalikda tushishi slebning uzilishiga va so'ngan hamda yuqori kaliyli ohakli-ishqoriy seriyalarning shakllanishiga olib keladi. Aksincha, nisbatan yengil kontinental jinslarning yassi qiyalikda subduksiyasi litosfera qalinligining ortishiga sabab bo'lib, kaliyli va ultrakaliyli seriyalarning, shuningdek yuqori glinozyomli anatektik granitlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Mintaqaviy siljish zonalari bo'ylab astenosfera moddasining yuqoriga ko'tarilishi natijasida hosil bo'ladigan eritmalar tarkibi protolitlarning xususiyati va erish chuqurligiga bog'liq holda aniqlanadi. Nihoyat, mantiya plyumlari ta'sirida yoki anderpleyting jarayoni natijasida hosil bo'ladigan eritmalar ham o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Конопелько, Д. Л. (2020). Палеозойский гранитоидный магматизм Западного Тянь-Шаня (Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук). Санкт-Петербург.
- [2] Таымаз, Т., Йилмаз, У., & Дилек, У. (2007). The geodynamics of the Aegean and Anatolia: Introduction. Geological Society, London, Special Publications, 291(1), 1–16. <https://doi.org/10.1144/SP291.1>
- [3] Atwater, T. (1970). Implications of plate tectonics for the Cenozoic evolution of western North America. Geological Society of America Bulletin, 81(12), 3513–3536. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[3513:IOPTFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[3513:IOPTFT]2.0.CO;2)
- [4] Chenin, P., Manatschal, G., Lavier, L., Mohn, G., & Kuszniir, N. (2017). Potential role of lithospheric mantle composition in the Wilson cycle: A North Atlantic perspective. In The Wilson Cycle Revisited. Geological Society, London, Special Publications. <https://doi.org/10.1144/SP470.1>
- [5] Wilson, J. T. (1966). Did the Atlantic close and then reopen? Nature, 211(5050), 676–681. <https://doi.org/10.1038/211676a0>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Akhmedov, X. R., & Abdusalomova, M. M. (2026). Burmachan kamarning postkollizion bosqichining rivojlanishi va postkollizion granitoidlarning shakllanishi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.16>

UO‘K: 55.(551.263.036)

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.17

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

BOYSUN EGILMASIDAGI YURA KARBONAT FORMATSIYALARINING STRUKTURAVIY VA LITOSTRATIGRAFIK XUSUSIYATLARI



**Alimov Ma'rufjon
Mavlonberdiyevich**

Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy universiteti
Geologiya va muhandislik
geologiyasi fakulteti, geologiya
kafedrası o'qituvchisi, Toshkent,
O'zbekiston
E-mail: maruf.alimov.93@mail.ru
ORCID ID:
0009-0000-9380-6940
Science ID: MQD-0426-0252



**Djalilov Gafur
Ganiyevich**

Geologiya-mineralogiya fanlari
falsafa doktori (PhD), Katta ilmiy
xodim. Neft va gaz konlari
geologiyasi va hamda qidiruvi
instituti DM, Litologiya va
stratigrafiya laboratoriyasi
boshlig'i, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: gafur@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-8778-2719
Science ID: FSN-0226-0051



**Tog'ayev Isomiddin
Saparovich**

Geologiya-mineralogiya fanlari
falsafa doktori (PhD), dotsent,
Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy universiteti,
Geologiya va muhandislik
geologiyasi fakulteti, Geologiya
kafedrası mudiri, Toshkent,
O'zbekiston
E-mail: togaev_is@mail.ru
ORCID ID: 0009-0006-8190-7035
Science ID: FQD-0525-0141

Annotatsiya. Ushbu maqolada Boysun egilmasi misolida Surxondaryo megasinklinalining geologik tuzilishi va yura davri karbonat formatsiyalarining xususiyatlarini batafsil tahlil qiladi. Tadqiqotda hududning litostratigrafik bo'linishi, tektonik tuzilishi hamda neft va gaz zaxiralariga boy bo'lgan istiqbolli maydonlar, xususan, Gadjak koni haqida ma'lumot berilgan. Yer yer osti tuz qatlamlarining joylashishi va ularning yuqorisida hamda pastida joylashgan jinslarning o'zaro bog'liqligini ilmiy asoslab beradilar. Shuningdek, maqolada yura davriga tegishli bo'lgan oltita alohida svitaning tavsifi va ularning qalinligi bo'yicha qiyosiy ma'lumotlar keltirilgan. Geofizik va burg'ilash ishlari natijalariga tayanib, mintaqadagi rifogen tuzilmalar va uglevodorod tuzoqlarining shakllanish imkoniyatlari baholanadi.

Kalit so'zlar: Boysun egilmasi, struktura, yuqori yura, karbonat formatsiyasi, svita, Gadjak koni, Surxondaryo megasinklinali, yotqiziq, litostratigrafik xususiyatlari.

Received: 06.05.2026

Accepted: 15.06.2026

Published: 29.06.2026

СТРУКТУРНЫЕ И ЛИТОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮРСКОЙ КАРБОНАТНОЙ ФОРМАЦИИ В БАЙСУНСКОМ ПРОГИБ

**Алимов Маруфжон
Мавлонбердиевич**

Национальный университет
Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, факультет геологии и
инженерной геологии,
преподаватель кафедры
геологии, Ташкент, Узбекистан

**Джалилов Гафур
Ганиевич**

Доктор философии (PhD) по
геолого-минералогическим
наукам, старший научный
сотрудник, Институт геологии и
разведки нефтяных и газовых
месторождений, заведующий
лабораторией литологии и
стратиграфии, Ташкент,
Узбекистан

**Тобаев Исомиддин
Сапарович**

Доктор философии (PhD) по
геолого-минералогическим
наукам, доцент, Национальный
университет Узбекистана имени
Мирзо Улугбека, факультет
геологии и инженерной геологии,
заведующий кафедрой геологии,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье на примере Байсунского прогиба подробно анализируется геологическое строение Сурхандарьинской мегасинклинали и особенности юрских карбонатных формаций. В исследовании представлена информация о литостратиграфическом делении территории, тектоническом строении и перспективных площадях, богатых запасами нефти и газа, в частности, месторождении Гаджак. Научно обосновываются расположение подземных солевых пластов и взаимосвязь пород, расположенных выше и ниже их. Также в статье представлено описание шести отдельных свит, относящихся к юрскому периоду, и сравнительные данные по их мощности. На основании результатов геофизических и буровых работ оцениваются возможности формирования рифогенных структур и углеводородных ловушек в регионе.

Ключевые слова: Бойсун эгилмаси, структура, юқори юра, карбонат формацияси, свита, Гаджак кони, Сурхондарё мегасинклинали, ётқизик, литостратиграфик хусусиятлари.

STRUCTURAL AND LITHO-STRATIGRAPHIC FEATURES OF THE JURASSIC CARBONATE FORMATION OF THE BOYSUN FLEX

**Alimov Ma'rufjon
Mavlonberdievich**

National University of Uzbekistan
named after Mirzo Ulugbek,
Faculty of Geology and
Engineering Geology, Lecturer of
the Department of Geology,
Tashkent, Uzbekistan

Djalilov Gafur Ganievich

PhD in Geological and
Mineralogical Sciences, Senior
Researcher, Institute of Geology
and Exploration of Oil and Gas
Fields, Head of the Laboratory of
Lithology and Stratigraphy,
Tashkent, Uzbekistan

**Togayev Isomiddin
Saparovich**

PhD in Geological and
Mineralogical Sciences, Associate
Professor, National University of
Uzbekistan named after Mirzo
Ulugbek, Faculty of Geology and
Engineering Geology, Head of the
Department of Geology, Tashkent,
Uzbekistan

Abstract. This article provides a detailed analysis of the geological structure of the Surkhandarya megasyncline and the characteristics of Jurassic carbonate formations using the example of the Boysun depression. The study presents information on the lithostratigraphic division of the territory, its tectonic structure, and promising areas rich in oil and gas reserves, particularly the Gadzhak field. Scientifically substantiate the location of underground salt layers and the relationship between rocks located above and below them. The article also provides a description of six separate formations belonging to the Jurassic period and comparative data on their thickness. Based on the results of geophysical and drilling operations, the possibilities for the formation of rifeogenic structures and hydrocarbon traps in the region are being evaluated.

Keywords: Baysun vegetation, structure, Upper Jurassic, carbonate formation, suite, Gadzhak deposit, Surkhandarya megasyncline, lattices, and lithostratigraphic features.

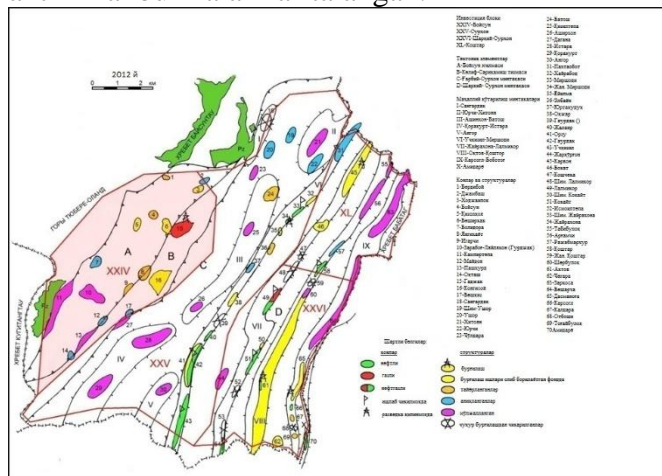
Kirish. Surxondaryo megasinklinali Afg'on-Tojik tog' oralig'i botiqligining tektonik elementlaridan biri hisoblanadi. Uning geologik tuzilishida katta chuqurlikka cho'kkan yuragacha bo'lgan burmali kamar va ikkita strukturaviy qavatni tashkil etuvchi mezozoy-kaynozoy yotqiziq-lari majmuasi ajralib turadi yura-paleogen, to'rtlamchi davrida shakllangan platforma qoplamasi hisoblanadi va neogen-to'rtlamchi - orogen tektogenezning alp bosqichida yotqizilgan. Quyi kesimida oraliq strukturaviy qavat sifatida ajratiladigan geosinklinal genezisli paleozoy va epigeosinklinal genezisli perm va trias

formatsiyalari ajratiladi. Platforma qobig'ining chuqurlik tuzilishining o'ziga xos xususiyati ikkita nomutanosib jinslar majmuasining mavjudligidir: quyi, o'rta va yuqori yura hosilalaridan tashkil topgan tuz osti hamda bo'r-paleogen yotqiziq-laridan tashkil topgan tuz usti jinslaridan iborat.

Surxondaryo megasinklinalining hozirgi tuzilishi tektogenezning neogen-tortlamchi davrida shakllangan. Uning tarkibida Boysun, Kelif-Sariqamish, G'arbiy Surxon va Sharqiy Surxon strukturaviy-tektonik zonalari ajratilgan (1-rasm) [Abidov, 1980].

Boysun strukturaviy-tektonik zonasi

Surxondaryo megasinklinalining g'arbiy qismida joylashgan bo'lib, shimoli-g'arbdan Ko'hitang-Boysun chuqur yer yorig'i, sharqdan Surxontog'-Kelif chuqur yer yorig'i va janubdan bir qator uzilmali buzilishlar bilan chegaralangan. Tektonik jihatdan hudud paleogen gorizontlari bo'ylab o'lchamlari 65x15 km bo'lgan egilmadan iborat. Boysun egilmasining shimoli-g'arbiy qismida Derbent mahalliy ko'tarilmalar hududi joylashgan. Boysun egilmasida submeridional va subkenglik tektonik buzilishlar bilan murakkablashgan antiklinal burmalar xaritalangan.



1-rasm. Surxondaryo mintaqasining neft-gazga istiqbolli maydonlari va ularning strukturaviy-tektonik joylashuv sxemasi.

Magnitorazvedka va gravirazvedka (Shmanenko, Xeyfes, Roz, 1977) natijalari bo'yicha tuzilgan 1:500000 masshtabdagi yer qobig'ining sxematik kesimi ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, mezozoy-kaynozoy qoplamasida ajratilgan yirik tektonik buzilishlar kesib o'tuvchi bo'lib, paleozoy quyi qismigacha kuzatiladi.

Boysun egilmasidagi mahalliy strukturalar doirasida tuz osti strukturaviy tuzilishi Boysun egilmasining bortoldi hududlarida va G'arbiy Surxon zonasida bitta maydonda chuqur quduqlar bilan o'rganilgan. Tuz osti yura yotqiziqlarining strukturasi bo'yicha hozirgi vaqtda mavjud bo'lgan materiallarni qisqacha tavsiflaymiz. Tuz osti (yura) struktura qavati kontinental terrigen va dengiz karbonat formatsiyalari bilan ifodalangan, quyi yura (shu jumladan oksford) hosilalarini qamrab oladi. Cho'kindilarning umumiy qalinligi 1000-1200 m ga yetadi (Dikenshteyn va boshqalar, 1963). Boysun egilmasining bort oldi hududlarida chuqur quduqlar

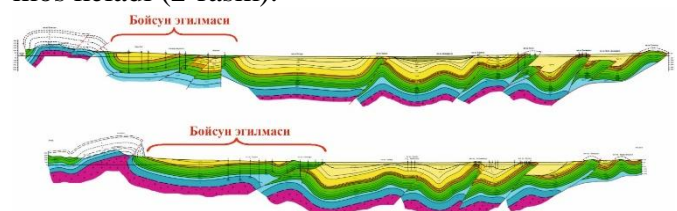
bilan qayd etilgan tuz osti yotqiziqlarining yotish chuqurligi 2,8-3,6 km ni tashkil etadi.

Tadqiqot materiallari va metodologiyasi.

Boysun egilmasidagi tuz osti strukturaviy xususiyati lokal strukturalari doirasida to'liq o'rganilgan bo'lib. Egilmaning shimoliy-sharqiy bo'rtida chuqurbo'rg'ilash yo'li bilan Gadjak tuz osti strukturasi topildi. Gadjak maydonini razvedka qilishda gaz uyumi bilan bog'liq bo'lgan kelloyev-oksford karbonat formatsiyasi yotqiziqlari ochildi.

OGT ma'lumotlariga ko'ra, Gadjak tuz osti strukturasi ikkita gumbazga ega bo'lib, ularning har biri minus 2450 m izogips bilan chegaralangan.

Burg'ilashning so'nggi ma'lumotlari, MOGT materiallari va boshqa usullarni hisobga olgan holda, Gadjak strukturasi quyidagicha talqin qilinadi. Gadjak maydonidagi tuz osti strukturasi alloxtion strukturasi xisoblanadi, braxiantiklinal bilan ifodalanadi. Shimoli-g'arbiy qanotdagi yotqiziqlarning yotish burchaklari 10° dan oshmaydi. Janubi-sharqiy qanotdagi nadvig turidagi yoriq tik (55° gacha) burchak bilan murakkablashgan. Nadvig gaurdak svitasi (kimerij-titon) tuzlarining yoriq zonasiga past bosim zonasi sifatida plastik oqimini faollashtirdi. Natijada, maydon chegarasida yoriq oldi zonasiga (Burg'u qudug'i. № 3), bunda tuzlarning qalinligi 1300 m dan oshadi va bir vaqtning o'zida gumbaz qismida tuzlar qalinligining pasayishi (60 m gacha, Burg'u qudug'i № 14). (Ehtimol, bu surilmalar bilan bog'liq tuzilmalarni aniqlashda qidiruv belgisi bo'lib xizmat qilishi mumkin). Surilma va tuzli tektonikaning birgalikda namoyon bo'lishi natijasida alloxtionning tuz osti tuzilmasi gumbazi tuz usti tuzilmasi gumbaziga nisbatan 6 km shimoli-g'arbga, surilma tekisligining pasayish tomoniga siljigan. Bu tuz osti Gadjak strukturasi ko'ndalang o'lchamlaridan katta va tuz usti strukturaviy planida unga sharqiy yo'nalishda bo'r-paleogen gorizontlarining monoklinal ko'tarilishi mos keladi (2-rasm).



2-rasm. Boysun egilmasining geologik kesimi.

Tadqiqot natijalari. Gadjak maydonidan tashqari, Boysun egilmasining shimoli-g'arbiy tomonida joylashgan Darband maydonida ikkita chuqur quduq yordamida tuz osti yura davri karbonat formatsiya hosilalari ochilgan. Karbonat formatsiya yuqori qismi tuz osti kompleksi yotish chuqurligi 400 m dan oshmaydi. Derbent strukturasi ham nadvig bilan bog'liq, ammo faktik materialning cheklanganligi tufayli uning morfologiyasi haqida fikr yuritish qiyin (quduqlar burg'ilash bilan tugallanmagan).

Boysun egilmasi hududining qolgan qismida geologik ma'lumotlarga ko'ra ajratilgan, ammo geofizik materiallarning past sifati tufayli istiqbolli strukturalar kiritilmagan tuz osti karbonat formatsiya yotqizilari ko'tarilmalari ma'lum.

Boysun egilmasining janubi-sharqiy qismida MOV (Yachmennikov, 1972) va MOGT (Sayfi, 1976) seysmorazvedka ishlari bilan Zarabog' tuz osti strukturasi chuqur burg'ilashga tayyorlangan. 1979 yilda u bo'yicha materiallar Gadjakda burg'ilangan quduqlar ma'lumotlarini hisobga olgan holda qayta talqin qilindi. Zarabog' tuz osti strukturasi izogips bo'yicha o'lchamlari minus 4950 m (Kellovey-oksford tomi) 6,5 x 5,5 bo'lgan buzilmagan braxiantiklinal bilan ifodalanadi. Tuz usti kompleksida tuz osti ko'tarilishga pastki bo'r gorizontlarigacha chuqur burg'ilash bilan o'rganilgan braxiantiklinal javob beradi. Maydon doirasida uzilmali buzilishlar qayd etilmagan. Kimerij-titon tuzlari qalinligining farqi 100-150 m dan oshmaydi (geofizika ma'lumotlariga ko'ra). Tuz osti ko'tarilma gumbazi va tuz usti tuzilmasi gumbazining taxminiy mos kelishi kuzatiladi.

Surxondaryo megasinklinalidagi tuz osti komplekslarining yuqorida keltirilgan strukturaviy tuzilishini umumlantirib, quyidagilarni ta'kidlash mumkin:

Tuz osti yura gorizontlari strukturaviy planining umumiy xarakterini hozirgi vaqtda faktik materiallarning yetishmasligi tufayli bir ma'noda talqin qilib bo'lmaydi.

Tuz osti yotqizilari kesimida alloxtan strukturalar ishonchli aniqlangan va o'rtacha o'lchamdagi (20-40 m²) buzilmagan braxiantiklinallar asosli ravishda taxmin qilingan. Ko'milgan gorstlar va tektonik tangachalar rivojlangan bo'lishi mumkin.

Alloxtan tuz osti strukturalari Boysun

egilmasining bortoldi hududlarida ma'lum bo'lib, ularning Sharqiy Surxon zonasida va Kelif-Sariqamish zonasining ayrim uchastkalarida mavjudligi taxmin qilinadi.

Mavjud mintaqaviy profillarga ko'ra, tuz usti va tuz osti yotqizilarning strukturaviy rejalarining nomuvofiqligi buzilgan zonalarda maksimal darajada rivojlangan va zaif dislokatsiyalangan zonalarda ancha zaifroq. Xuddi shu qonuniyat mahalliy ko'tarilmalar uchun ham belgilanadi. Oddiy, buzilmagan, yotiq braxiantiklinallar kesmaning tuz usti va tuz osti oraliqlarida taxminan bir xil aks etadi va turli yoshdagi gorizontlar bo'ylab gumbazlarning sezilsiz siljishiga ega.

Yoriqlar, ayniqsa surilmalar bilan buzilgan strukturalar tuz ostidagi struktura bilan juda murakkab nisbati bilan ajralib turadi va har doim ham tuz usti yotqizilarda to'g'ridan-to'g'ri aks etmaydi. Uzilish zonolari va ularga tutashgan struktura qanotlari tuzlarning yuqori qalinligi zonolari bilan, struktura gumbazlari esa ularning kamaygan qalinligi bilan izohlanadi.

Yuqorida sanab o'tilgan struktura turlari bilan strukturali va tektonik-ekranlangan tutqichlar bog'liq bo'lishi mumkin. Yura davrining tuz osti karbonat formatsiyasida Buxoro-Xiva neftgazli hududining chegaradosh hududida keng tarqalgan rif tutqichlarining rivojlanish ehtimoli istisno etilmaydi.

Surxondaryo megasinklinalining turli zonolari tuz osti strukturalari geologik tuzilishining ushbu xususiyatlarini mintaqaviy va batafsil seysmik ishlarni o'tkazishda, shuningdek, qidiruv quduqlarini joylashtirish tizimini aniqlashda hisobga olish zarur.

Yuqorida ta'kidlaganimizdek, tuz osti yotqizilarda aniqlangan yagona Gadjak koni yuqori yura karbonat formatsiyasi bilan bog'liq. Uning mintaqaviy neftgazlili O'rta Osiyoning katta hududida aniqlangan. Qatlam kesimida bir nechta o'tkazuvchan gorizontlar ajralib turadi, ularning kollektorlik xususiyatlari g'ovak va yoriqli ohaktoshlar bilan ifodalanadi. Formatsiya uchun o'tkazuvchan qatlamlarning filtratsiya-sig'im xususiyatlarining kesim va maydon bo'ylab keskin o'zgaruvchanligi xosdir. Yuqori g'ovakli biogerm ohaktoshlar (XV va XVa gorizontlar) eng katta sig'imga ega. Ba'zi mutaxassislar (Egamberdiyev, 1981 va boshqalar) Gadjakdagi yura yotqizilarni

aynan ular bilan bog'laydilar. Yuqori g'ovaklik (sanoat-geofizik ma'lumotlarga ko'ra 21%) va karbonatlarning o'tkazuvchanligi, ochilgan burg'u qudug'i. № 6 va uyumning tuzilmaning qanot qismiga siljishi bu yerda yuqori tektonik yoriqlik zonasi bilan izohlanadi, uning kelib chiqishi taxmin qilingan yoriq bilan bog'liq (Grinenko T.V., 1994 va boshqalar). Burg'u qudug'idagi ohaktoshlarning kollektorlik xossalari oshirish. № 6 bo'lishi mumkin bo'lgan yoriq zonasida agressiv eritmalarning faol faoliyati tufayli ikkilamchi g'ovaklikning hosil bo'lish jarayonlari ham yordam berishi mumkin. Kellovey-oksford karbonat yotqiziqlari bo'yicha strukturaning qanot qismida maksimal gaz debitlarini olish fakti tuz osti yotqiziqlarini razvedka qilish metodikasini aniqlashda va gaz zaxiralarini hisoblashda mumkin bo'lgan tutqich hajmlarini aniqlashda prinsipial ahamiyatga ega. Bizning taxminlarimiz Surxondaryo megasinklinalining boshqa uchastkalarida rifogen fatsiyalar bilan bog'liq tutqichlar mavjud bo'lishi mumkinligini inkor etmaydi. So'nggi uch yil davomida "Petronas" kompaniyasi Boysun investitsiya bloki doirasida seysmorazvedka ishlarini olib bordi.

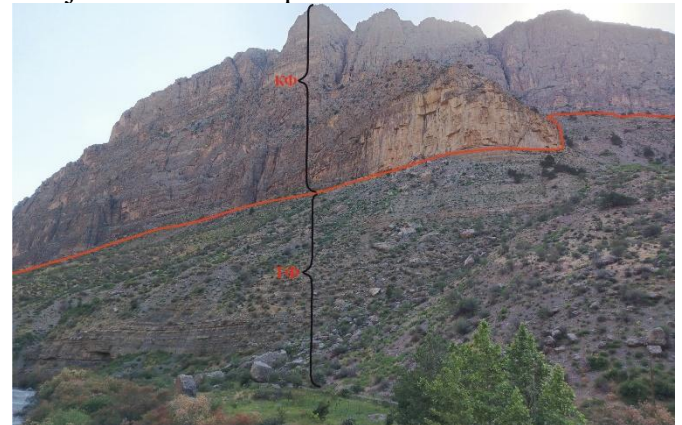
Boysun egilmasining litostratigrafik xususiyatlari. Yura davridagi karbonat formatsiyasi qatlamlari mazkur xududda keng tarqalgan va relefda etarlicha ochilmalar hosil qilgan. Janubiy – G'arbiy Hisor tog'larida (Janubiy O'zbekiston va Sharqiy Turkmaniston) ochilib yotgan karbonat formatsiyasi yotqiziqlari kesimini quyisidan to yuqori qismigacha o'rganish imkonini beradi.

Karbonat formatsiyasi yotqiziqlari ostida boysun svitasiga tegishli terrigen-karbonat qatlamlari, ustida esa tuz-angidrit formatsiyasi (g'ovurdoq seriyasi) yotqiziqlari qoplab yotadi.

Yura davriga tegishli karbonat formatsiyasi yotqiziqlari birnecha yuz metrli qatlamlarni hosil qilib, hududda bir qator tog' tizmalarini tashkil etadi (Boysuntog', Kuhitongtog', Surxontog', Suv-siztog' va boshqalar). Boysun egilmasida dara va suv havzalarida keng tarqalgan va bu joylarda karbonat formatsiyasi kesimlarida yaqqol ko'zga tashlanadi (3-rasm).

Yura davri karbonat formatsiyasining tarkibi, strukturasi, teksturasiga ko'ra va geologik qatlamining yaxlit aks etishi bilan yura davri kesimi kesmada aniq ajralib turadi. Ba'zi izlanuvchan

(Akramxo'jayev va boshqalar, 1971; Mirkomolov, Xusanov va boshqalar, 1979) qatlamlarning fatsial turli tabiatli ekanini ta'kidlab, bu bo'lakni seriya darajasida ko'rib chiqdilar.



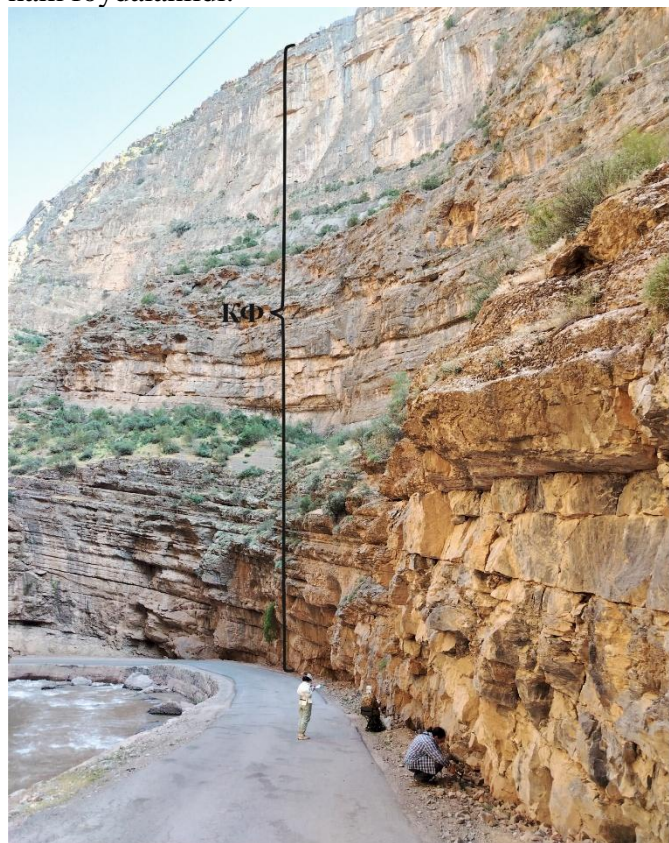
3-rasm. Darband daryosining o'ng qirg'og'idagi Karbonat va terrigen formatsiyalari yotqiziqlarining ochilmasi (Boysun egilmasi).

Karbonat formatsiyasi yotqiziqlari fizik xossalari va nurashga barqarorligi tufayli yer yuzasida yaxlit tana darzida ajraladi, aylanma qoyalar va chuqurliklar hosil qiladi. Uning qatlamlari shakli devor tarzida ko'plab kilometr ga cho'zi lgan, shuningdek, ular tektonik deformatsiya va kesimlarning tektonik buzilishi bilan murakkablashgan (3-rasm). Kuhitong seriyasining umumiy qalinligi Hisor tog'larining Janubiy-G'arbiy etaklari tomonida keng miqdorda o'zgarib, shimoliy-sharqda 80-200 m, Janubiy-G'arbga hech qanday yo'qotishsiz asta-sekin qalinlashib boradi va eng janubiy rayonlarda, ya'ni Kuhitong tog'da 500-600 m ga yetadi. Buxoro-Xiva rayonlarida bu tendensiya buziladi. Karbonat yotqiziqlarining qalinligi qadimda dengiz chetidan chuqurlikka – ma'lum zonagacha oshib boradi. Karbonat qatlamining yuqori qismini tashkil etuvchi yotqiziqlarini asosan, och rangli organogenli ohaktosh qatlami tashkil etadi. Dengizning ma'lum chuqurligida karbonat formatsiyasi qatlamining ustki qism kesimi hisobiga 1.5 baravar kamayadi, natijada bu organogen ohaktoshlarni boshqa fatsiya qatlami, ya'ni to'q, butkul qora, mayda bug'doysimon, gilsimon va karbonat terrigen yotqiziqlari egallaydi. Karbonat formatsiyasining faunistik jixatdan to'liq yotqiziqlar qatlami, regional stratigrafik sxema ishlab chiqishda o'ziga xos "poligon" sanalgan, Kuhitong tog'ida yaxshi

aks etgan. Bu rayonda nafaqat yaruslar, balki zonalar ham ajratilgan.

Yura davri karbonat qatlami stratigrafiyasini o'rganish borasida oldingi mualliflarning ko'plab yozma ma'lumotlari foydalanildi.

Karbonat qatlamining paleontologik yoshini aniqlashda muallif o'z ma'lumotlaridan tashqari (skleraktiniyalar) YE.A.Repman, S.X.Chepikova, N.D.Yushina, G'.S.Abdullayev, (ikki tabaqali mollyuskalar), G.Y.Krimgols, Q.N.Omonniyozov, V.V.Kutuzova, N.V.Beznosov (ammonitlar), YE.L.Prozorovskaya, (braxiopodalar), V.V.Kurbatov (foraminiferalar), V.M.Reyman(korallar), K.A.Alimov, (spora pqlsalar) va boshqalarning izlanishlari natijasidan ham foydalanildi.



4-rasm. Darband daryosining o'ng qirg'og'idagi Karbonat formatsiyalari yotqizqlarining ochilmasi (Boysun egilmasi).

Quyida Janubiy O'rta Osiyoning ayrim viloyatlaridagi karbonat qatlamlarini stratigrafik jixatdan tadqiqoti ustida to'xtalamiz.

Yura sistemasi (J). Yura yotqizqlari asosan bukilmaning bort oldi zonalarda ochiladi. Ular shimoli-g'arbda Hisor tog' tizmasining janubi-

g'arbiy etaklarida, shimolda esa Hisor tog' tizmasining janubiy yonbag'ri bo'yicha kuzatiladi. Yura jinslari sharqda Bobotog' cho'qqisi sharqiy yonbag'rining ustsurilma qismi va etaklariga to'g'ri keladi. Yura yotqizqlarining umumiy majmuasi 6 ta svitaga ajratiladi:

Boysun egilmasini tashkil yetuvchi tog' jinslari mezozoy va kaynozoy yotqizqlaridan iborat.

Hududda Yura davri yotqizqlari 6 ta svitaga ajratilgan.

- Gurud (bayos + quyi bat), J_2b-bt_1
- Boysun (yuqori bat + quyi kellovey), $J_2bt_3-k_1$
- Qandim (o'rta kellovey), J_2k_2
- Muborak (yuqori kellovey + quyi-o'rta oksford), $J_2k_3-o_{1+2}$
- Gardarin (yuqori oksford + kimerij), J_3o_3-km
- Gaurdak (titon). J_3tt

O'rta yura (J₂). Gurud svitasi. Gurud svitasi yotqizqlari Hisor tizmasining janubi-g'arbiy etaklarida va Hisor tizmasining janubiy yon bag'irlarida kontinental yotqizqlar bilan ifodalanadi. Gurud qatlamlari asosan gravelitlar, konglomeratlar, qumtoshlar, alevrolitlar, argillitlar va mergellardan iborat. Kesmaniing quyi qismida ko'mir qatlamlari uchraydi. X.V.Risnin gurud svitasini litologik tarkibiga ko'ra uchta kichik podsvitaga bo'linadi: bazalli, ko'mirli va qumtosh-argillitli. Gurur svitasining qalinligi 100-550 m.

O'rta yura (J₂). Boysun svitasi (XVII-gorizont) (yuqori bat-quyi kellovey). Boysun svitasi yotqizqlari genezisi bo'yicha Gurud svitasining kontinental jinslaridan kellovey-oksford yaruslaridagi dengiz yotqizqlariga o'tash davri hisoblanadi. Qatlamning quyi qismida to'q-kulrang gilli slanetslarning oraliq qatlamlarida mayda donali kulrang qumtoshlardan iborat. Qatlamning yuqori qismida kulrang va to'q-kulrang oxaktoshlar hamda qumli slanetslar, oxaktoshlar oralig'ida yupqa qatlamlari mergel va ohakli gillardan iborat. Mazkur svita Kugitangtog' yotqizqlarida 250 m va shimolda Karatog' daryosi havzasida atigi 30 m qalinlikni tashkil etadi. Bu shuni ko'rsatadiki, O'rta yura suv havzasining qirg'oq bo'yida shimolda, paleozoy tepaliklari bo'ylab o'tgan.

Qandim svitasi (XVI gorizont) (o'rta kellovey). U to'q kulrang, zich, pelitomorfik ohaktoshlar bilan ifodalanadi, orasida mergel va

ohakli gil qatlamlari uchraydi. XVI gorizontning quyi chegarasida Boysun svitasini karbonat-terrigen to'plamlaridan iborat va katta qismini ohaktoshlar tashkil etishini kuzatishimiz mumkun. XVI gorizontning ustini 1-2 m qalinlikdagi gil qatlamlari o'rab turadi. XVI gorizontning qalinligi Mustaqillikning 25 yilligi (M25) konida kamida 100 m. XVI gorizont kesimi orasida g'ovaklilikga ega o'tkazuvchan jinslar deyarli yo'q.

O'rta-yuqori yura (J₂₋₃). Muborak svitasi (XVa gorizont) (yuqori kellovey + quyi-o'rta oksford J_{2k3-01+2}). Bu svita kulrang va to'q kulrang rangdagi asosan zich organogen ohaktoshlar bilan ifodalanadi. Quyida yotuvchi XVI gorizontga nisbatan ular, granulyar kollektor xajmining asosiy qismini tashkil etuvchi organogen-bo'lakli va maydalangan, ikkilamchi o'zgargan, g'ovakliliigi yuqori bo'lgan ohaktoshlar bilan tavsiflanadi. Ushbu qatlamlar kesmada va planda notekis joylashgan va o'zaro solishtirishka yaqqol seziladi, hamda ular gorizont umumiy qalinligining 30% dan 40% gacha qismini tashkil etadi.

XVa gorizontning qalinligi M25 konida umumay 210 dan 240 m gacha o'zgarib turadi. Gorizontning yuqori chegarasi ohaktoshlarni angidritlar bilan almashinib kelishi kuzatiladi.

Yuqori yura (J₃). Gardarin svitasi (XV gorizont) (yuqori oksford + kimerij J_{303-km}). Mazkur svita yotqiziqlari angidrit va ohaktoshlar bilan ifodalanadi. Kesmaning quyi qismida kulrang yoki to'q-kulrang rangli angidrit, kesmaning yuqori qismida och kulrang va oq rangga ega. Angidrit zich va katta bo'lib, yashirin kristalli, kamroq mayda donali tuzilishga yega, ba'zi hollarda dolomit bilan boyitilgan. Kesmaning asosiy va o'rta qismida to'q-kulrang va kulrang pelitomorff hamda gilli ohaktoshlarning yupqa qatlamlari joylashgan. Karbonat qatlamlari kesma bo'ylab yukoridan pastga qarab ortib boradi, ketma-ketlik asosida karbonat qatlami maksimal darajada ortib boradi. Angidrit va ohaktoshlarning umumiy yorilganligini takidlash kerak. M25 konida XV gorizontning umumiy qalinligi 228 dan 231 m gacha.

Gaurdak svitasi (TAF) (titon) J_{3tt}. Tosh tuzi qatlami M25 konining quyi qismida oq yoki kulrang yirik kiristalli galitdan iborat bo'lib, oq, zich yashirin kristalli ingidrit qo'shimchalari oraliq qatlamlari mavjud. Kesmaning yuqori qismida linza shaklidagi rangi pushti rangdan qizil-jigarranggacha

o'zgarib boradigan gillardan iborat, ularning tarkibi ba'zi hollarda 30% dan oshadi. Tosh tuzi qatlamlarining qalinlik chegaralari M25 konida keng miqyosda o'zgarib turadi, strukturaning kamari va uning yeng yaqin

M25 konining konturlaridagi tosh tuzi qatlamlarining qalinligi keng miqyosda o'zgarib turadi, strukturaning kamarida va uning eng yaqin o'ung'ishida 10 dan 1620 m gacha.

O'rganilayotgan hududta "qoplama pachka" yoki "qoplama angidritlar" qabi nomlanuvchi va har joyda tosh tuzi qatlamining ustida yotuvchi, gipslar, qizil-qizg'ish gil qatlamchalariga ega angidritlar hamda ohaktosh va dolomitlarning kichik qatlamchalariga ega mergellardan tashkil topgan tarkibdagi gipsoangidritli jinslarning o'ziga xos yotqiziqlari bilan Gaurdak svitasi kesmasi tugaydi. Ko'rib chiqilayotgan jinslar pachkasi ahamiyatga ega bo'lmagan, ammo saqlab qolingan (10-13 m) qalinlikga ega.

1-jadval

Mustaqillikning 25 yilligi (gadjak) konining burg'i quduqlari ma'lumotlari asosida litologik-stratigrafik jadvali

Stratigrafik bo'lim	Chuqurlik, m		Tog' jinslarning tasnifi: To'liq nomi, xarakterli belgilari
	dan (yuqori)	oldin (quyi)	
1	2	3	7
Yura yotqiziqlari:	2959	3600	
Titon	2959	3062	Gips-angidritli tog' jinslari qizil-qo'ng'ir gil va mergel qatlamlari bilan. Tuzlar va angidritlar oq va kulrang. Tuzlar yirik kristalli, zich tuzilishga ega.
Kimerij-yuqori oksford XV-gorizont	3062	3324	Ohaktosh va angidritlarning almashib kelishi. Angidritlar oq, kulrang, zich va qattiq. To'q kulrang ohaktoshlar zich, qattiq, ba'zan yupqa qatlamli, yoriqli bo'ladi.
Yuqori kelloviy-quyi-o'rta oksford XVa-gorizont	3324	3600	Kulrang, to'q kulrang, dolomitlashgan ohaktoshlar, zich, plitali bo'lakli qatlamlar bilan, suvo'tli, biomorff ohaktoshlar.

Xulosalar. Boysun egilmasining geologik tuzilishi ikkita asosiy strukturaviy qavatdan – tuz osti (yura) va tuz usti (bor-paleogen) yotqiziqlaridan iborat bo'lib, ularning strukturaviy plani bir-biridan keskin farq qilishi aniqlangan. Bu nomuvofiqlik,

ayniqsa, Gaurdak svitasi tuzlarining plastik oqimi va surilma tektonikasi natijasida Gadjak kabi mahalliy kotarilmalarda yaqqol namoyon bo'ladi.

Hududdagi yura davri yotqiziqlari litologik tarkibi va shakllanish sharoitlariga ko'ra oltita mustaqil svitaga (Gurud, Boysun, Qandim, Muborak, Gardarin va Gaurdak) ajratilgan. Ushbu svitalar kontinental terrigen yotqiziqlardan boshlab, qalin dengiz karbonat formatsiyalari va tuz-angidrit

qatlamlarigacha bo'lgan rivojlanish bosqichlarini qamrab oladi.

Yuqori yura karbonat formatsiyasi, xususan Muborak (XVa gorizont) va Gardarin (XV gorizont) svitalari Boysun egilmasida asosiy neftgazli majmualar hisoblanadi. Gadjak koni misolida ushbu qatlamlarning yuqori kollektorlik xususiyatlari (g'ovaklik 21% gacha) va ikkilamchi yoriqlik zonalari mavjudligi tasdiqlangan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Абдуллаев, Г. С. (2013). Надежная сырьевая база углеводородов – основа для привлечения иностранных инвестиций в нефтегазовую отрасль Республики Узбекистан. *Узбекский журнал нефти и газа, Специальный выпуск*, 53–61.
- [2] Абдуллаев, Г. С., Богданов, А. Н., & Ивонина, И. Э. (2015). История, состояние и перспективы развития нефтегазовой отрасли Узбекистана в области поиска и разведки месторождений углеводородного сырья. *Узбекский журнал нефти и газа, Специальный выпуск*, 103–110.
- [3] Абдуллаев, Г. С., Богданов, А. Н., & Эйдельмант, Н. К. (2019). Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент.
- [4] Абидов, А. А. (1980). О нефтегазоносности локальных поднятий Сурхандарьинского синклиория. *Узбекский геологический журнал*, (3), 28–30.
- [5] Абидов, А. А. (1981). Особенности размещения скоплений нефти и газа и перспективы нефтегазоносности Сурхандарьинского синклиория (Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук). Москва.
- [6] Белеловский, М. Л. (1964). Некоторые черты глубинной тектоники Таджикской депрессии по геофизическим данным. В *Тектоника Памира и Тянь-Шаня* (с. 125–140). Москва: Наука.
- [7] Хусанов, С. Т. (1984). Стратиграфическое значение склерактиний карбонатной формации верхней юры Южного и Западного Узбекистана. *Узбекский геологический журнал*, (6), 53–59.
- [8] Хусанов, С. Т. (1995). Стратиграфия и склерактинии юрских карбонатных рифогенных формаций юга Средней Азии (Автореферат диссертации доктора геолого-минералогических наук). Ташкент.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Alimov, M. M., Djalilov, G. G., & Tog'ayev, I. S. (2026). Boysun egilmasidagi yura karbonat formatsiyalarining strukturaviy va litostratigrafik xususiyatlari. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.17>

UO‘K: 553.98:551.762.2:550.8

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.22

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

CHORJO‘Y POG‘ONASIDAGI UMID MAYDONI YURA TERRIGEN YOTQIZIQLARINING NEFTGAZLILIGINING GEOLOGIK-QIDIRUV MEZONLARI



**Shoymurotov To‘ychi
Xoliqulovich**

*Geologiya-mineralogiya fanlari
doktori, "Neft va gaz konlari
geologiyasi hamda qidiruvi
instituti" DM Bosh ilmiy
maslahatchisi, Toshkent,
O‘zbekiston*

*E-mail: tuychi@ing.uz
ORCID ID: 0009-0000-7159-4305
Science ID: DQD-0426-0015*



**Tog‘ayev Isomiddin
Saparovich**

*Geologiya-mineralogiya fanlari
falsafa doktori (PhD), dotsent,
Mirzo Ulug‘bek nomidagi
O‘zbekiston Milliy universiteti,
Geologiya va muhandislik
geologiyasi fakulteti, "Geologiya"
kafedrasini mudiri, Toshkent,
O‘zbekiston*

*E-mail: togaev_is@gmail.ru
ORCID ID: 0009-0006-8190-7035
Science ID: FQD-0525-0141*



**Alimov Ma‘ruffon
Mavlonberdiyevich**

*Mirzo Ulug‘bek nomidagi
O‘zbekiston Milliy universiteti
Geologiya va muhandislik
geologiyasi fakulteti, geologiya
kafedrasini o‘qituvchisi, Toshkent,
O‘zbekiston*

*E-mail: maruffonalimov93@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-9380-6940
Science ID: MQD-0426-0252*



**Toshtemirov Shoxruxjon
Alisher o‘g‘li**

*Mirzo Ulug‘bek nomidagi
O‘zbekiston Milliy universiteti
Geologiya va muhandislik
geologiyasi fakulteti, geologiya
kafedrasini o‘qituvchisi, Toshkent,
O‘zbekiston*

*E-mail: toshtemirovshoxruxjon@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-9254-7868
Science ID: MNV-0426-0108*

Annotatsiya. Ushbu maqolada Buxoro-Xiva hududidagi Dengizko‘l ko‘tarilmasining quyi va o‘rta yura terrigen yotqiziqlarining neft-gaz istiqbolliligi geologik-geofizik, litologik-fatsial hamda gidrodinamik mezonlar asosida baholangan. Tadqiqot davomida terrigen formatsiya yotqiziqlarining litologik-stratigrafik tuzilishi, cho‘kindi to‘planishining fatsial sharoitlari, qatlam qalinliklarining taqsimlanishi va mahsuldor gorizontlarning joylashish xususiyatlari o‘rganilgan. Yaxshi kollektorlik xususiyatlariga ega bo‘lgan o‘zan qum yotqiziqlari rivojlangan zonalar aniqlanib, antiklinal va linzasimon tutqichlar bilan bog‘liq istiqbolli gorizontlar ajratilgan. Shuningdek, uglevodorod uyumlarining shakllanishi va saqlanishi uchun qulay sharoit yaratadigan gidrodinamik anomalialar aniqlangan.

Kalit so‘zlar: yura terrigen formatsiyasi, Dengizko‘l ko‘tarilmasi, uglevodorod, neft-gaz istiqbolliligi, kollektor, tutqich, mahsuldor gorizont, gidrodinamik zona, litologik-fatsial tahlil.

Received: 25.05.2026

Accepted: 24.06.2026

Published: 29.06.2026

ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮРСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ УМИД ЧАРДЖУЙСКОЙ СТУПЕНИ

**Шоймуротов Туйчи
Холикулович**

доктор геолого-
минералогических наук (DSc),
главный научный консультант
ГУ «Институт геологии и
разведки нефтяных и газовых
месторождений», Ташкент,
Узбекистан

**Тогаев Исомиддин
Сапарович**

доктор философии (PhD) по
геолого-минералогическим
наукам, доцент, Национальный
университет Узбекистана имени
Мирзо Улугбека, факультет
геологии и инженерной геологии,
заведующий кафедрой геологии,
Ташкент, Узбекистан

**Алимов Маруфжон
Мавлонбердиевич**

Национальный университет
Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, факультет геологии и
инженерной геологии,
преподаватель кафедры
геологии, Ташкент, Узбекистан

**Тоштемиров
Шохрухжон Алишер
угли**

Национальный университет
Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, факультет геологии и
инженерной геологии,
преподаватель кафедры
геологии, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрена нефтегазоносная перспективность нижне- и среднеюрских терригенных отложений поднятия Денгизкуль Бухаро-Хивинского региона на основе геолого-геофизических, литолого-фациальных и гидродинамических критериев. Изучены литолого-стратиграфическое строение терригенной формации, фациальные условия осадконакопления, распределение мощностей пластов и особенности размещения продуктивных горизонтов. Выделены зоны развития русловых песчаных отложений с хорошими коллекторскими свойствами, а также перспективные горизонты, связанные с антиклинальными и линзовидными ловушками. Кроме того, установлены гидродинамические аномалии, способствующие формированию и сохранению залежей углеводородов.

Ключевые слова: терригенная формация юры, поднятие Денгизкуль, углеводороды, нефтегазоносность, коллектор, ловушка, продуктивный горизонт, гидродинамическая зона, литолого-фациальный анализ.

GEOLOGICAL-SEARCH CRITERIA FOR OIL AND GAS IN THE JURASSIC TERRIGENOUS DEPOSITS OF THE UMID FIELD OF THE CHARJOY STAGE

**Shoymurotov Tuychi
Kholiqulovich**

Doctor of Geological and
Mineralogical Sciences (DSc),
Chief Scientific Consultant, Institute
of Geology and Exploration of Oil
and Gas Fields, Tashkent,
Uzbekistan

**Togayev Isomiddin
Saparovich**

PhD in Geological and
Mineralogical Sciences, Associate
Professor, National University of
Uzbekistan named after Mirzo
Ulugbek, Faculty of Geology and
Engineering Geology, Head of the
Department of Geology, Tashkent,
Uzbekistan

**Alimov Maruffjon
Mavlonberdievich**

National University of Uzbekistan
named after Mirzo Ulugbek,
Faculty of Geology and
Engineering Geology, Lecturer of
the Department of Geology,
Tashkent, Uzbekistan

**Toshtemirov Shoxruxjon
Alisher ugli**

National University of Uzbekistan
named after Mirzo Ulugbek,
Faculty of Geology and
Engineering Geology, Lecturer of
the Department of Geology,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article assesses the oil and gas potential of the Lower and Middle Jurassic terrigenous deposits of the Dengizkul uplift in the Bukhara-Khiva region based on geological-geophysical, lithofacies, and hydrodynamic criteria. The study investigates the lithological-stratigraphic characteristics of the terrigenous formation, depositional facies conditions, distribution of reservoir thicknesses, and the spatial occurrence of productive horizons. Zones of channel sandstone development with favorable reservoir properties were identified, and prospective horizons associated with anticlinal and lens-shaped traps were delineated. In addition, hydrodynamic anomalies favorable for the formation and preservation of hydrocarbon accumulations were recognized.

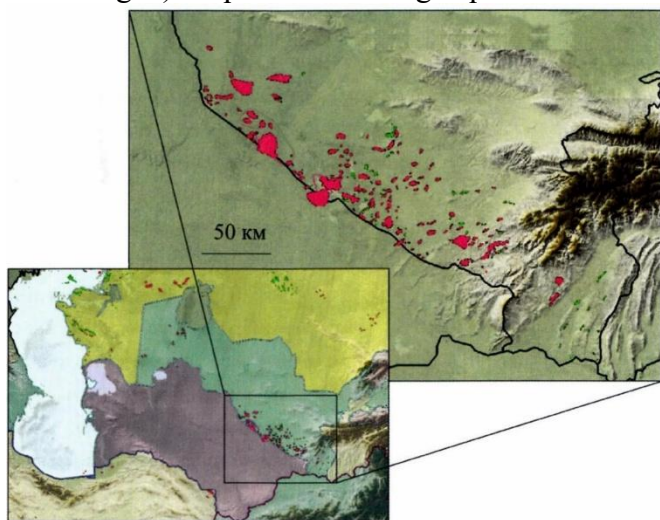
Keywords: Jurassic terrigenous formation, Dengizkul uplift, hydrocarbons, oil and gas potential, reservoir, trap, productive horizon, hydrodynamic zone, lithofacies analysis.

Kirish. Yura terrigen formatsiyasida (TF) uglevodorodlarning asosiy to'plamlari Buxoro-Xiva neftgazli regionining Chorjo'y tektonik pog'o-

nasining markaziy va shimoli-g'arbiy qismida to'plangan (1-rasm).

Buxoro-Xiva hududi (BXR) quyi va o'rta yura

terrigen yotqiziqlarining yuqori neftgazga istiqbol-liligi bir qator konlarning ochilishi bilan isbotlangan (Chekkakum, Oqqum, Parsanko‘l, Shimoliy Gugurtli, Haqqul, G‘arbiy Haqqul, Dayakhatin, Murodtepa, Atamurad, Xodjikazgan, Andakli, Uzunchak, O‘rta- rabot, O‘rtabuloq, Razzoq bobo va boshqalar), ularning gazga istiqbolliligi ko‘p qatlamli XVII, XVIII, XIX, XX - gorizontlar bilan bog‘liq. Bunda XVII, XVIII gorizontlarning mahsuldorligi antiklinal (strukturaviy-qatlamli) tutqichlar bilan, XIX va XX gorizontlarning mahsuldorligi esa noantiklinal (litologik ekranlangan) tutqichlar bilan bog‘liq.



1-rasm. Amudaryo sineklizasi shimoli-sharqiy qismining neftgazliliigi (Buxoro-Xiva hududi).

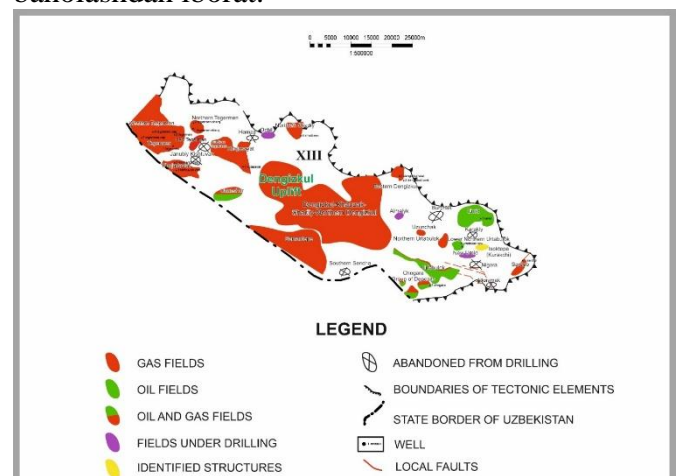
O‘rganilayotgan Umid strukturasi Chorjo‘y tektonik pog‘onasining janubi-sharqiy qismida, Dengizko‘l ko‘tarilmasining shimoli-sharqiy yonbag‘rida joylashgan (2-rasm). Tuzilma 1977-yilda T5 aks ettiruvchi gorizonti bo‘yicha tayyorlangan bo‘lib, unda rif qurilishi ajratilgan. Keyinchalik neft hoshiyali gazli yakka rif o‘rnatildi. Yonma-yon joylashgan O‘rtabuloq, Shimoliy O‘rtabuloq, Shimoliy Umid, Jarchi kabi barcha konlar yuqori yura karbonat formatsiyasi (KF) rif massivlari bilan bog‘liq.

Shuni ta‘kidlash kerakki, yura TFda UV konlari asosan sayoz dengiz va qirg‘oqbo‘yi dengiz to‘lqinlari genezisidagi qumtoşlar bilan bog‘liq. Bu yerdagi qoplamalar gil va gilli-karbonatli yotqiziqlar bo‘lib, ular to‘lqin urilma-loyqa va karbonat-loyqa genezisga ega. So‘nggi yillarda Ko‘lbeshkak, Qandim, O‘rtabuloq ko‘tarilmalari chegarasida, alohida maydonlarda ushbu gorizont-

lardan oltingugurtsiz gazning sanoatbop uyumlari olindi.

Shu bilan birga, TF tuzilishining o‘ziga xos xususiyatlari va UV uyumlarining shakllanishida litologik egilishlarning roli kam o‘rganilganligicha qolmoqda. Muammo shundan iboratki, hozirgi vaqtga qadar Umid maydonida va umuman Dengizko‘l ko‘tarilmasi doirasida yangi UV konlarini ochish uchun istiqbolli bo‘lgan XVII, XVIII, XIX, XX mahsuldor gorizontlarning tarqalish chegaralari aniqlanmagan.

Shu munosabat bilan, tadqiqotning maqsadi Yangi olingan geologik-geofizik va gidrogeologik ma‘lumotlar, shuningdek chuqur burg‘ilash materiallari asosida Dengizko‘l ko‘tarilmasining Umid TF yura maydonining geologik tuzilishini batafsil aniqlash va uning neftgazlilik istiqbollari baholashdan iborat.



2-rasm. Dengizko‘l ko‘tarilmasining neft va gaz konlari hamda istiqbolli maydonlarini joylashtirish sxemasi.

Tadqiqot materiallari va metodologiyasi.

Yura davri Dengizko‘l ko‘tarilmasining geologik-geofizik, litologik-fatsial va gidrogeologik ma‘lumotlarini kompleks tahlil qilish, olingan burg‘ilash natijalarini umumlashtirish, qayta ishlash va talqin qilish, quduqlarni geofizik o‘rganish o‘tkazilgan tadqiqotlarning asosiy usuli hisoblanadi. Ishda, shuningdek, gidrodinamik parametrlarni (oqim, qatlam bosimi, gidravlik nishablik, qatlam suvlarining o‘tkazuvchanligi va filtratsiya tezligi) tavsiflovchi materiallarni jalb qilgan holda, o‘rganilayotgan hududning quyi va o‘rta yura yotqiziqlari kesimidagi faktik ma‘lumotlarni ilmiy umumlashtirishni o‘z ichiga olgan muammolarni

hal qilishda kompleks yondashuv qoʻllanilgan.

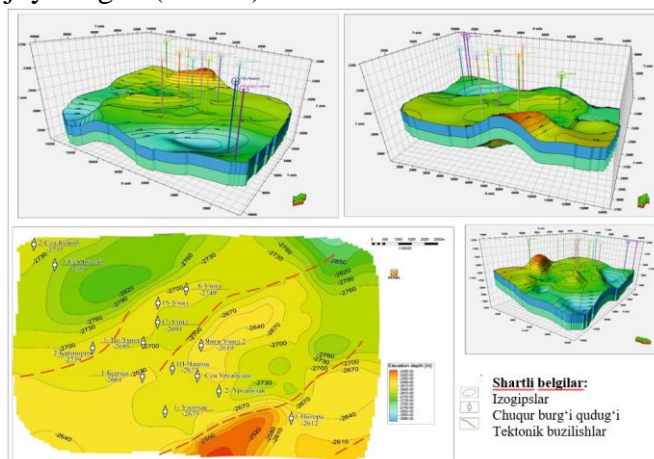
Tadqiqot natijalari. Yura TF, Dengizkoʻl koʻtarilmasida turli xil shagʻalli konglomeratlar, gravelitlar, qumtoshlar, alevrolitlar, argillitlar, koʻmirlar, mergellar bilan ifodalanadi. Terrigen kesmaning pastki yarmi (plinsbax-taor-aalen-bayos yotqiziqlari) togʻoldi va tekislik-vodiy fatsial sharoitlarida hosil boʻlgan. Uning yuqori qismi yuqori bayos-quyi kelloyevdan iborat - dengiz toʻlqin urishi va suv osti delta fatsial sharoitlarida. Terrigen yotqizilarning asosiy belgilari, odatda, kesmaning subkoʻmirliligi, uning tarqoq organik moddalar bilan moʻl toʻyinganligi, shuningdek, lateral va vertikal boʻyicha keskin fatsial oʻzgaruvchanlikdir. Formatsiyaning qalinligi 20 dan 1800 m gacha oʻzgaradi [1, 2].

Hozirgi vaqtda Umid strukturasi yaqinligi boʻyicha quyi va oʻrta yura terrigen yotqizilarida Oʻrtabuloq, Uzunchoq maydonlarida sanoatbop gaz uyumlari aniqlangan. Shuningdek, Sharqiy Dengizkoʻl-1P, Qoʻshob-1P, Bayshirin-1P, Jilik-1P maydonlaridagi quduqlarda burgʻilash yoki namunalash jarayonida sporadik gaz namoyonlari qayd etilgan. Bu Umid maydonida yura davri terrigen formatsiya kesimlarida ham UV konlarini aniqlashning yuqori istiqbollari koʻrsatadi.

Umid maydonidagi terrigen yotqizilar uncha katta boʻlmagan chuqurliklarda ochilgan (No1P-48m, No2-22m, No3-52m, No4-24m, No5-36m, No6-25m, No8-67m, No9-22m, No10-3m, No12-19m, No15-42m, No16-17m, No17-76m, No18-20m, No19-16m quduqlar). Shunday qilib, Boysun svitasiga (XVII gorizont) mos keluvchi terrigen kesimning faqat yuqori qismi ochilgan. Kesimning ochilgan qismida kollektorlar yoʻq, asosan laguna-dengiz kulrang hosilalaridan iborat boʻlib, ularda qumtoshlar va alevrolitlar qatlamchalari boʻlgan gillar ustunlik qiladi. Va faqat kesimning yuqori qismida (3, 4-quduqlar) ohaktosh qatlamlarining paydo boʻlishi qayd etilgan [3, 5, 10].

Umid maydonining strukturaviy rejasi XVII gorizont yura terrigen yotqizilarning ustki qismi boʻylab shimolga, janubdan Qoʻshob egikligi tomon choʻkib boruvchi monoklinaldan iborat boʻlib, tektonik buzilish bilan Shimoliy Oʻrtabuloq strukturasi ajralib turadi. Pastki gorizont boʻylab (XVIII gorizontning ustki qismi boʻylab) shimoli-sharqiy yoʻnalishdagi braxiantiklinal kuzatiladi, uning gumbazi Umid-17 qudugʻi hududida

joylashgan (3-rasm).



3-rasm. XVIII yotqiziq gorizontining ustki qismi boʻyicha uch oʻlchamli strukturaviy model (Umid maydoni).

Oʻtkazilgan tahlil va seysmorazvedka materiallarini qayta talqin qilish natijalariga koʻra, terrigen yotqizilardan qaytishlarni qayd etish vaqti boʻyicha umuman olganda, korrelyatsiya qoniqarli degan xulosaga kelingan.

Taxmin qilingan xulosalarga asoslanib, litologik va stratigrafik tutqichlarning shakllanishida yotqizilarning egilishi va nomuvofiqligi, shuningdek, daryo, delta, bar va boshqa qumlarning tarqalish zonalarini asosiy rol oʻynaydi, degan xulosaga kelish mumkin. Bundan tashqari, adabiyotlardagi maʼlumotlarga koʻra, maʼlumki, agar qirgʻoq chizigʻining holati yirik gumbazimon yoki valsimon koʻtarilmalar bilan nazorat qilinsa, antiklinal zonalar va monoklinallarning yonbagʻirlarida, shuningdek, havza tomonga qaragan mintaqaviy botiqliklar va egilmalarning bort qismlarida qadimgi relefning koʻtarilmalari boʻylab kollektorlarning ponalanishi bilan bogʻliq boʻlgan litologik-stratigrafik tutqichlar hosil boʻladi [4, 11]. Tutqichlarning litologik chegaralanishi mahsuldor qatlamning tutqich gumbazi tomon egilishi yoki mahsuldor gorizontlarning qatlam koʻtarilishi boʻylab yuqoriga fatsial almashinishi bilan bogʻliq.

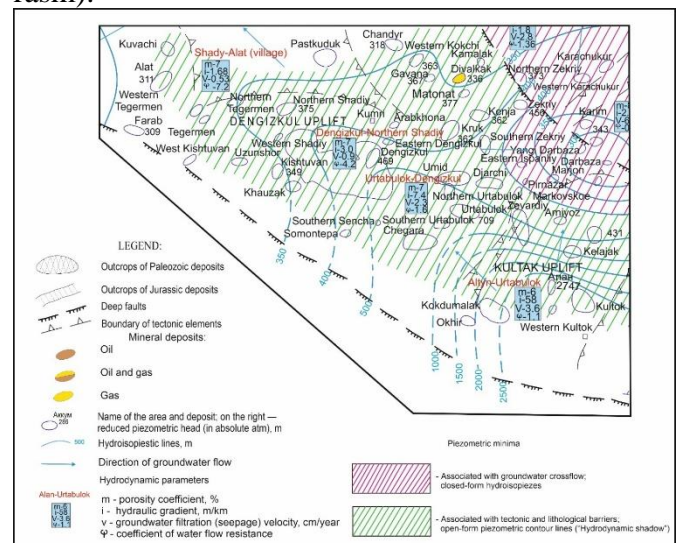
Qum-alevritli qatlamlarning mintaqaviy yoki lokal sinish zonalarida shakllangan tutqichlar uchun quyidagilar xosdir: qatlamlarning "egilishi", pastki gorizontlarning havzaning markaziy qismi tomon siljishi va yanada tikroq tushish burchaklari; donalar granulometriyasining aniq farqlanishi; qatlamlar qalinligi gradiyentining yuqori qatlamlarga nisbatan

keskin o'zgarishi. Qirg'oqbo'yi uchastkalarida qumli material dengiz tubining tutash uchastkalaridan va deltalardan keladi. Bu turdagi yotqiziqlar asosan delta hosilalariga tortiladi va ushbu fatsial zonaning hosilalari hisoblanadi - qirg'oq, qiya va plyaj. To'lqinlar ta'siri terrigen materialning differentsiatsiyasiga va qatlamlanishning shakllanishiga ta'sir qiladi. Frontal zonaning yuqori qismi uchun qatlamlarning chidamliligi va parallel-qatlamliligi xosdir. Frontal yonbag'irning quyi qismi uchun uning chegaralarida qirg'oq vallari rivojlangan, yaqqol ifodalangan qiya qatlamlanish xosdir [4, 10].

Afsuski, hozirgi vaqtda litologik tutqichlarni bashorat qilish tajribasi juda kam. Noantiklinal tutqichlarning mumkin bo'lgan tarqalish hududlari bo'lgan ponalash zonalari, fatsial almashinuvlar, stratigrafik nomuvofiqliklarni aniqlash uchun batafsil geologik tadqiqotlar majmuasini o'tkazish zarur [5]. Kollektorlarning eng ehtimoliy joylashuvini aniqlash va mahsuldor gorizontlarning litologik bir xil emasligini asoslash uchun seysmorazvedkaning birlamchi materiallarini strukturaviy, litologik-fatsial va paleogeografik xaritalash, shuningdek, qumli mahsuldor gorizontlar korrelyatsiyasining litologik-fatsial kesmalari bilan birlashtirish zarur. Ushbu holat tutqichlarni rivojlantirishning istiqbolli uchastkalarini keng miqyosda xaritalashni talab qiladi, bu esa o'z navbatida katta miqdordagi faktik materiallarni, chuqur quduqlarni burg'ulashning yetarli zichligini olish zaruratini keltirib chiqaradi.

Qidiruv mezonlarining olingan geologik-geofizik omillarini mustahkamlash maqsadida biz Dengizko'l ko'tarilmasining quyi va o'rta yura terrigen yotqiziqlari yer osti suvlarining gidrodinamik sharoitlarini qo'shimcha ravishda o'rgandik. Gidrodinamik tahlil natijalariga ko'ra, yura davri bosimli suv kompleksi pezometriyasi bo'yicha yangi to'plangan ma'lumotlarni hisobga olgan holda, ushbu hududda gidrodinamik vaziyat o'rnatildi. Yer osti suvlari harakatining asosiy va lokal yo'nalishi, qatlam filtratsiyasi gradiyentlarining o'zgarishi, qatlam suvlari potensial energiyasi past va yuqori bo'lgan uchastkalarining mavjudligi va shu kabilar aniqlangan. Olingan ma'lumotlar bir qator gidrodinamik omillar asosida neft va gaz to'planishi uchun qulaylik ko'rsatkichlari bilan to'ldirildi, masalan: yer osti

suvlarining harakat tezligi; kichik gidrodinamik nishabliklar; yer osti oqimi yo'nalishining keskin o'zgarishi; pyezominimum zonalarning mavjudligi, yopiq gidrodinamik zonalar va strukturaviy burunlar suv almashinuvining qiyinchilik koefitsiyentlarining hisoblangan ma'lumotlari. Ushbu xususiyatlar va kompleks gidrodinamik tahlil natijalariga ko'ra, UV uyumlari to'planishining alohida ehtimoliy uchastkalarini hisobga olgan holda eng istiqbolli mahalliy hududlar ajratildi (5-rasm).



5-rasm. Dengizko'l ko'tarilmasining quyi-o'rta yura yotqiziqlari gidroipezining sxematik xaritasi.

Yura QF yotqiziqlarida suv almashinuv rejimi asosan infiltratsion, ammo juda sekinlashgan deb baholanadi, chunki maydon va kesim bo'yicha ushlab turilmagan va suvni o'z ichiga olgan jinslarning filtratsiya-sig'im xususiyatlarining keskin o'zgaruvchanligi bilan tavsiflangan qatlam-kollektorlar bo'ylab qatlam suvlari filtratsiyasida gidravlik gradiyentlarni amalga oshirish ehtimoli kam [6].

Yangi ma'lumotlar olinishi Dengizko'l ko'tarilmasining sharqiy qismigacha davom etishini kuzatish mumkin (Sho'da, Darboza, Jarchi, Umid va boshqalar). Buxoro fleksura-uzilmali zonasi yaqinidagi ko'rsatilgan mahalliy uchastkalarda oqim tipidagi pyezominimumning mavjudligi. Shunday qilib, kesim bo'ylab yuqoriga qarab yashirin yuksizlanishning bo'ysunuvchi qiymatiga ega bo'lgan pyezominimumlarning asosan to'siq turi aniqlanadi.

Dengizko‘l ko‘tarilmasida gidrodinamik parametrlar quyidagi chegaralarda o‘zgaradi: o‘tkazuvchanlik 0,0001 dan 0,0008 darsigacha; g‘ovaklik 6 dan 7% gacha; gidravlik qiyalik 7,4 dan 58 m/km gacha. Shu bilan birga, filtratsiya tezligi yiliga 2,3-3,6 sm ni, qatlam suvlari harakatining qiyinlik koeffitsiyenti esa 1,1-52,8 ni tashkil etadi [7].

Dengizko‘l ko‘tarilmasining sharqiy qirg‘og‘i hududida keltirilgan bosimlarning Alan konidan (2747 m) O‘rtabuloq, Umid va Dengizko‘l konlariga (709 m-469 m) keskin o‘zgarishi kuzatiladi. Ushbu maydonlarning hududlari gidravlik nishabliklarning eng yuqori qiymatlari va qatlam suvlarining filtratsiya tezligi bilan tavsiflanadi.

O‘rganilayotgan hududning quyi va o‘rta yura yotqiziqlari qatlam suvlarining potensimetrik yuzasi energiyasining taqsimlanishi shuni ko‘rsatadiki, yer osti qatlam suvlari oqimining asosiy yo‘nalishi, binobarin, flyuidlarning qolgan qismi ham, ko‘tarilmalar ichida joylashgan va past yoki yuqori gidravlik bosimlar bilan ajralib turadigan ba‘zi mahalliy maydonlardan tashqari, janub va janubi-sharqdan shimol va shimoli-g‘arbiga yo‘nalgan. Dengizko‘l ko‘tarilmasining shimoliy yonbag‘ri bunga misol bo‘la oladi, bu yerda umumiy gidrodinamik rejim fonida oqimning past va yuqori energiyasi va yer osti oqimi yo‘nalishining o‘zgarishi bilan mahalliy uchastkalar aniqlangan [8, 9].

Xulosalar. Seysmoprofilning seysmik to‘lqin maydonida namoyon bo‘lishlarning o‘tkazilgan tahlili shuni ko‘rsatadiki, yura TJning chuqur joylashgan yotqiziqlarida antiklinal tuzilmalar bilan bog‘liq bo‘lgan tutqichlarning mavjudligiga nisbatan tikroq cho‘kishga ega bo‘lgan bo‘rtiq kuzatiladi. Ehtimol, tutqichlarning shakllanishida asosiy rol ni daryo, delta, bar va boshqa qumli jismlarning tarqalish zonalari o‘ynaydi.

Gidrodinamik tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, strukturaviy jihatdan ba‘zi uchastkalar gidravlik bosim izoliniyalari tektonik va litologik ekranlar

bilan bog‘liq gidrodinamik anomalionalarni hosil qiladigan joylarda joylashgan bo‘lib, UV uyumlari to‘planishi uchun qulay zonalar bo‘lgan yopiq bo‘lmagan pyezominimumlarni hosil qiladi.

Dengizko‘l ko‘tarilmasining yura davri yer osti suvlari genezisi va zamonaviy gidrodinamik rejimining ko‘rib chiqilgan masalalari neft va gaz uyumlarining shakllanishi va joylashishida gidrogeologik omilning rolini baholashga bevosita aloqador. Xususan, tadqiqot obyekti Umid strukturasi tarrigen kesimi ham litologik ekran (yopiq bo‘lmagan shakldagi gidroizopezlar) bilan bog‘liq ushbu gidrodinamik anomalionalyaga tegishli bo‘lib, u UV uyumlarining to‘planishi va saqlanishi uchun qulay zona hisoblanadi.

Binobarin, Umid tuzilmasining TF faktik materiallarini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, BXR Dengizko‘l ko‘tarilmasining qolgan qismida ham, boshqa maydonlarda ham tarrigen yotqiziqlar kesimining neftgazga istiqbolliligi masalasi hozircha ochiq bo‘lib qolmoqda va o‘z yechimini talab qiladi. Shu munosabat bilan, Dengizko‘l ko‘tarilmasining yura TF geologik tuzilishini to‘liq o‘rganish va neftgazlilik istiqbollilarini baholash uchun seysmik-stratigrafik, strukturaviy-tektonik, litologik-stratigrafik va fatsial-paleogeografik tahlillardan foydalangan holda seysmik qidiruv va chuqur burg‘ilash materiallarini kompleks talqin qilish zarur, bu esa geologik kesimni model-lashtirish va quyi-o‘rta yura neft-gazga istiqbolli obyektlarini batafsil xaritalashda samarali qo‘llanilishi mumkin.

Yuqoridagilarga asoslanib, Umid maydoni va umuman Dengizko‘l ko‘tarilmasining quyi va o‘rta yura tarrigen yotqiziqlarini o‘rganishda izlov-qidiruv ishlarini tizimli ravishda davom ettirish maqsadga muvofiq, bu uglevodorod konlarini izlashning stratigrafik diapazonini kengaytiradi va O‘zbekiston Respublikasining neft va gaz xom-ashyo bazasini oshirishga yordam beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI


- [1] Абдуллаев, Г. С., Солопов, Г. С., Богданов, А. Н., & Эйдельмант, Н. К. (2008). Некоторые особенности нефтегазоносности терригенных отложений ниже-среднеюрского возраста северо-западной части Чарджоуской ступени. Узбекский журнал нефти и газа, (9), 129.

- [2] Алексеев, В. П., Бабаев, А. Г., Сафонов, Б. К., Троицкий, А. В., & Еременко, Н. В. (1990). Расчленение и корреляция разрезов юрской терригенной формации Чарджоуской ступени по данным ГИС. *Узбекский геологический журнал*, (4), 22–24.
- [3] Алексин, В. Т., & Хромов, Н. В. (1985). Поиски залежей нефти и газа в ловушках неантиклинального типа. *Недра*.
- [4] Бабаев, А. Г., Габрильян, Р. А., & Салямова, С. К. (1977). Терригенная формация юрского возраста Бухаро-Хивинского региона и Юго-Западного Гиссара и ее нефтегазоносность. *Недра*.
- [5] Соколов, В. И., Пак, С. А., Жуковский, Б. Л., и др. (1982). Подсчет запасов газа, нефти и конденсата месторождения Умид в Узбекской ССР. Ташкент.
- [6] Султанова, Д. Б., Шоймуротов, Т. Х., Умаров, Ш. А., & Маллаев, Ш. О. (2022). Оценка нефтегазоносности юрской терригенной формации Бухаро-Хивинского региона (на примере структуры Умид). В *Геология Средней Азии: Состояние изученности и перспективы развития* (с. 76–83). Материалы Международной научно-практической конференции.
- [7] Шоймуротов, Т. Х. (2019). Гидродинамические особенности подземных вод юрских отложений юго-восточной части Бухаро-Хивинского региона. В *Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр* (с. 623–630). Материалы Международной научно-практической конференции.
- [8] Шоймуротов, Т. Х. (2020). Гидродинамические особенности верхнеюрских отложений Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона. *Актуальные проблемы нефти и газа*, (1), 41–55.
- [9] Шоймуротов, Т. Х., Тогаев, И. С., & Маллаев, Ш. О. (2022). Перспективы нефтегазоносности юрских терригенных отложений Чарджоуской ступени. В *Актуальные проблемы наук о Земле* (с. 40–47). Материалы научной конференции Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.
- [10] Шоймуротов, Т. Х., & Эшонкулов, К. И. (2023). Геологические особенности и нефтегазоносность юрской терригенной формации Чарджоуской ступени. В *Theory and analytical aspects of recent research* (Part 12, pp. 68–71). Turkey International Scientific Online Conference.
- [11] Эгамбердыев, М. Э. (1981). Нефтегазоносные фации мезозоя и палеогена. *Фан*.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Shoymurotov, T. X., To'g'ayev, I. S., Alimov, M. M., & Toshmurov, S. A. (2026). Chorjo'y pog'onasidagi Umid maydoni yura terrigen yotqizilqlarining neftgazliligining geologik-qidiruv mezonlari. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.22>

УДК: 622.276

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.23

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БУХАРО-ХИВИНСКОГО РЕГИОНА



Киличев Икром Комил
угли

Каршинский государственный
технический университет,
базовый докторант, Карши,
Узбекистан
E-mail:
ikrom.qilichov95@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-7213-8285
Science ID: MQD-0426-0165



Иботов Ойбек Куйли
угли

Каршинский государственный
технический университет,
исследователь, Карши,
Узбекистан
ORCID ID: 0009-0006-1466-5187
Science ID: MQD-0426-0285



Турдиев Шохжахон
Шермамат угли

Каршинский государственный
технический университет,
базовый докторант, Карши,
Узбекистан
E-mail: shoh_9699@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-2441-3798
Science ID: FQD-0426-0133



Матниязов Охунжон
Пулатович

Ташкентский государственный
технический университет,
базовый докторант, Ташкент,
Узбекистан
ORCID ID: 0009-0008-6130-9841
Science ID: MXR-0426-0120

Аннотация. В статье проанализирована эффективность технологий гидравлического разрыва пласта, радиального вскрытия пласта и бурения боковых стволов, применяемых для интенсификации добычи углеводородов на месторождениях Бухаро-Хивинского региона. Определены геолого-физические и технологические факторы, влияющие на результативность данных технологий, а также разработаны критерии выбора скважин, обеспечивающие повышение их эффективности. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение для совершенствования разработки нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: углеводороды, Бухаро-Хивинский регион, гидроразрыв пласта, радиальное вскрытие пласта, бурение бокового ствола, скважина, продуктивный пласт, дебит, технологическая эффективность, геологические критерии.

Received: 25.05.2026

Accepted: 26.06.2026

Published: 29.06.2026

BUXORO-XIVA REGIONIDAGI KONLARDA UGLEVODOROD OLISHNI JADALLASHTIRISH TEXNOLOGIYALARINING SAMARADORLIGI

Kilichev Ikrom Komil
o'g'li

Qarshi davlat texnika universiteti,
tayanch doktorant, Qarshi,
O'zbekiston

Ibotov Oybek Kuyli o'g'li

Qarshi davlat texnika universiteti,
tadqiqotchi, Qarshi, O'zbekiston

Turdiyev Shohjaxon
Shermammat o'g'li

Qarshi davlat texnika universiteti,
tayanch doktorant, Qarshi,
O'zbekiston

Matniyazov Oxunjon
Pulatovich

Toshkent davlat texnika universiteti,
tayanch doktorant, Toshkent,
O'zbekiston

Аннотация. Мақоллада Бухоро–Хива regioni konlarida uglevodorod qazib olishni jadallashtirishda qo'llanilayotgan qatlamni gidravlik yorish, qatlamni radial ochish va yon stvol burg'ilash texnologiyalarining samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqot davomida ushbu texnologiyalarning natijadorligiga ta'sir etuvchi geologik-fizik va texnologik omillar aniqlanib, ularni qo'llash samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi quduqlarni tanlash mezonlari ishlab chiqilgan. Olingan nati-

jalar konlarni ishlatish samaradorligini oshirish va uglevodorod qazib olishni jadallashtirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit soʻzlar: uglevodorod, Buxoro–Xiva region, gidravlik yorish, radial ochish, yon stvol burgʻilash, quduq, mahsuldor qatlam, debit, texnologik samaradorlik, geologik mezon.

EFFICIENCY OF TECHNOLOGIES FOR INTENSIFYING THE PRODUCTION OF HYDROCARBONS AT THE DEPOSITS OF THE BUKHARA-KHIVA REGION

**Kilichev Ikrom Komil
ugli**

*Karshi State Technical University,
Basic Doctoral Student (PhD
Candidate), Karshi, Uzbekistan*

Ibotov Oybek Kuylil ugli

*Karshi State Technical University,
Researcher, Karshi, Uzbekistan*

**Turdiyev Shoxjaxon
Shermamat ugli**

*Karshi State Technical University,
Basic Doctoral Student (PhD
Candidate), Karshi, Uzbekistan*

**Matniyazov Oxunjon
Pulatovich**

*Tashkent State Technical
University, Basic Doctoral Student
(PhD Candidate), Tashkent,
Uzbekistan*

Abstract. *This paper analyzes the effectiveness of hydraulic fracturing, radial reservoir drilling, and sidetrack drilling technologies used to enhance hydrocarbon production in the Bukhara–Khiva region. Geological, physical, and technological factors affecting the performance of these methods were identified, and well selection criteria were developed to improve their efficiency. The obtained results provide an important scientific and practical basis for increasing hydrocarbon recovery and improving the development efficiency of oil and gas fields.*

Keywords: *hydrocarbons, Bukhara–Khiva region, hydraulic fracturing, radial drilling, sidetrack drilling, well, productive reservoir, production rate, technological efficiency, geological criteria.*

Введение. В настоящее время на нефтяных и газовых месторождениях Узбекистана с целью увеличения добычи и коэффициента извлечения нефти и газа широко применяются современные технологии гидравлического разрыва пласта, высокотехнологического капитального ремонта с зарезкой бокового ствола, и радиального вскрытия пласта. Эффективность результатов внедрения этих технологий во многом зависит от научно обоснованного выбора скважин. В связи с этим актуальным является анализ результатов применяемых технологий интенсификации добычи углеводородов, выявление геологических и технологических факторов, влияющих на эффективность процесса и разработка критериев выбора скважин.

Материалы. В настоящее время технология гидравлического разрыва пласта широко применяется для увеличения дебита нефтяных и газовых скважин. Применяются однократные, многократные, направленные (поинтервальные), гидрокислотные и глубоко проникающие виды гидравлического разрыва пласта [1; с. 36-43, 2; с. 23-31, 3; с. 33-37].

На нефтяных и газовых месторождениях Узбекистана наибольшее применение получила технология кислотного гидравлического разрыва пласта. Механизм данной технологии состоит в обеспечении на забое скважины давления, превышающего горное геостатистическое, в результате чего объем продуктивного пласта разрывается с возникновением трещины гидроразрыва. Соляная кислота, взаимодействуя с горной породой по поверхности соприкосновения, увеличивает поверхность фильтрации, создается дополнительная сеть гидродинамических каналов, которые обеспечивают приобщение ранее неработающих пропластков и зон, вследствие чего увеличивается производительность скважин. Технология кислотного гидравлического разрыва пласта основана на использовании большого объема различных химических реагентов. Основными ингредиентами являются: вода, кислота, антибактериальные средства, стабилизаторы, ингибиторы коррозии, загустители, железо контролирующий агент, рН-регулирующий агент, ингибитор отложения солей, поверхностно-активные вещества и др. К

наиболее часто применяемым химикатам относятся: соляная кислота, уксусная кислота, муравьиная кислота, глутаральдегид, хлорид аммония, этанол, персульфат аммония, хлористый натрий, диоксид магния, оксид магния, хлорид кальция, хлористый натрий, изопропиловый спирт, метанол, ацетон, диметил формамид, этиленгликоль и др.

Анализ результатов гидравлического разрыва пласта, проведенного в скважинах месторождений зарубежных стран [4; с.29-36, 5; с. 52-58, 6; с. 39-50, 7; с. 77-85, 8; 8-10, 9; с. 10-12] и Узбекистана [10; с. 315-316, 11; с. 30-39, 12; с. 35-44, 13; с. 432-436] показывает, что прирост дебитов скважин изменяется в очень больших пределах и зависит от многих геологических и технологических факторов.

Радиальное вскрытие пласта является относительно новой технологией интенсификации добычи нефти и газа. Впервые применено американской компанией REDTECH INTERNATIONAL INC., и получило широкое распространение в США, Канаде, Аргентине и на Ближнем Востоке [14].

Данная технология направлена на увеличение и оптимизацию дренажной зоны продуктивного пласта и улучшение проницаемости призабойной зоны пласта, в сложных многослойных залежах, в которых горизонтальное вертикальное бурение не является экономически обоснованным. В отличие от обычной перфорации, создающей в пласте каналы длиной всего 0,5 метра, эта технология позволяет строить боковые стволы скважин диаметром 50 мм и длиной до 100 метров. Многократное увеличение каналов позволяет вовлечь в разработку ранее недоступные участки с низкими коллекторными свойствами. Среди других преимуществ технологии радиального вскрытия пласта – низкие операционные затраты и отсутствие капитальных затрат, простое и легкое в эксплуатации оборудование.

Технология радиального бурения применяется (рис.1):

- для глубокого вскрытия устойчивых (карбонатных) пластов скважин;
- вскрытие предварительно изолированных под большим давлением тампо-

нажными материалами (смола, цемент) скважин при наличии конуса воды или перетоков;

- вскрытие большим количеством стволов в ПЗП в нецементированных терригенных пластах;

- вскрытие нагнетательных скважин с терригенными пластами, загрязнёнными водами;

- использование радиальных каналов для матричной обработки;

- использование каналов для направленного ГПП;

- закачка в каналы пара для добычи высоковязкой нефти;

- снижение давления закачки жидкости на устье скважины.

Оценка технологической и экономической эффективности технологии радиального вскрытия пласта осуществлена на основе информации АО «Узбекнефтегаз» и компании «Radial Drilling Services INC» (США), приведённых в официальных сайтах и презентационных материалах [14; 15; с. 21-25].



Рис.1. Применение радиального бурения.

По данным компании **Radial Drilling Services Inc.**, технология радиального вскрытия пласта была успешно внедрена более чем на 300 скважинах месторождений США, России, Чили, Боливии, Аргентины, Казахстана и ряда других стран. Анализ результатов её применения показал, что данная технология обеспечивает высокий технологический эффект в различных геолого-физических условиях независимо от типа и назначения скважин. Обобщённые показатели эффективности представлены в таблице 1.

В Республике Узбекистан технология радиального вскрытия пласта реализована на 21

скважине месторождений Южный Кемачи, Крук, Западный Крук, Северный Уртабулак, Жейнов, Култук и Кокдумалак. Для оценки её эффективности на объектах УДП «Мубарекнефтегаз» совместно со специалистами ОАО «ИГИРНИГМ» и лаборатории ОАО «Нефтегазисследование» были проведены комплексные промысловые и газоконденсатные исследования до и после выполнения работ по радиальному вскрытию пласта, что позволило объективно оценить полученный технологический эффект [15, с. 21–25].

По состоянию на 1 января 2022 года на месторождениях АО «Узбекнефтегаз» было пробурено 2499 газовых скважин, из которых в

неработающих скважин 531 может быть возвращена в эксплуатацию посредством высокотехнологичного капитального ремонта с бурением бокового ствола, что свидетельствует о значительном потенциале применения данной технологии для восстановления фонда скважин [16, с. 27–28; 17, с. 1–8].

Метод. Для оценки эффективности технологий интенсификации притока углеводородов использованы комплекс методов, широко применяемых в промысловой практике по систематизации, анализу и обобщению статистической обработке геолого-промысловых данных.

Эффективность работ оценивался по приросту дебитов скважины по нефти, газу и

Таблица 1.

Результаты применения технологии радиального вскрытия пласта в скважинах месторождений зарубежных стран

Тип пласта	Месторождение	Количество скважин	Дебит скважины до радиального бурения			Дебит скважины после бурения			Примечания
			Нефть бар.сут.	Газ куб.футлв газа/сут.	Вода бар/сут.	Нефть бар.сут.	Газ куб.футлв газа/сут.	Вода бар/сут.	
Карбонат	Урал, Россия	10	327	0	64	715	0	67	Восстановление маргинальных скважин
Карбонат	Канзас, США	1	1,2	1,7	n/a	8	12	n/a	Проверочный потенциал
Карбонат	Канзас, США	1	0	10	n/a	3	108	n/a	Проверочный потенциал
Карбонат	Пунта Арена, Чили	1	5,7	0	0	39	0	0	Улучшение области дренирования
Песок	Пунта Арена, Чили	1	0	96	0	0	860	0	Улучшение области дренирования
Песок	Пунта Арена, Чили	1	20	0	0	38	0	0	Улучшение области дренирования
Песок	Пунта Арена, Чили	1	8,2	0	0	51	0	0	Закачивание кислоты
Песок	Боливия	1	34	0	0	84	0	0	Испытание глубокой скважины (3251 м)
Песок	Атырау, Казахстан	20	410	0	0	1161	0	0	Восстановление проекта с тяжелой нефтью
Карб/песок	Патагония, Аргентина	18	216	0	0	390	0	0	Оптимизация проекта
Карбонат	Татарстан, Россия	50	1277	0	0	3321	0	0	Долгосрочный контракт на работу В Ромашкино
Карбонат	Россия	3	124	0	0	297	0	0	Реабилитация в Россия
Карбонат	Татарстан, Россия	1	14	0	0	182	0	0	Радиальное вскрытие с закачиванием кислоты
Песок	Пунта Арена, Чили	1	0	0	144	0	0	611	Испытание на приемистость(воды)

эксплуатации находились 1295 (51,8 %). Анализ технического состояния бездействующего фонда, выполненный специалистами АО «O'ZLITINEFTGAZ», показал, что из 1204

конденсату определенные по формулам:

$$\Delta q_{пн} = q_{н.до} - q_{н.пос}; \quad (1)$$

$$\Delta q_{пг} = q_{г.до} - q_{г.пос}; \quad (2)$$

$$\Delta q_{\text{ПК}} = q_{\text{к.до}} - q_{\text{к.пос.}} \quad (3)$$

где $\Delta q_{\text{ПН}}$, $\Delta q_{\text{ПГ}}$, $\Delta q_{\text{ПК}}$ -соответственно прирост дебитов скважин по нефти, газу и конденсату после ремонта; $\Delta q_{\text{п.до}}$, $q_{\text{г.до}}$, $q_{\text{к.до}}$ -соответственно дебиты скважин по нефти, газу и конденсату до ремонта; $q_{\text{н.пос}} = q_{\text{г.пос}} - q_{\text{к.пос}}$ -соответственно дебиты скважин по нефти, газу и конденсату после ремонта.

Результаты и обсуждение. Результаты статистической обработки материалов кислотного гидравлического пласта в поисковых и разведочных скважинах газоконденсатных

месторождений Бешкентского прогиба, а также нефтегазового месторождения Крук приведены в табл. 2 и 3. Как видно из табл.2 в в поисковых и разведочных газовых скважинах Бешкентского прогиба прирост дебита газа изменяется от 0 до более 30 раз [18; с. 32-33].

Прирост дебита нефтяных скважин также изменяется в очень больших пределах (табл.3). В результате статистической обработки результатов гидравлического разрыва пласта в скважинах Бухаро-Хивинского региона установлено, что на эффективность технологии влияют

Таблица 2.

Изменение дебитов скважин после КГРП

№№ пп	Наименование месторождения	Категория скважины	Скважина	Дата проведения КГРП	Дебит скважины, тыс.м ³ /сут		Изменение дебита скважины, тыс.м ³ /сут
					до КГРП	после КГРП	
1	Чигил	Поисковая	1	07.09.2019г.	0	60	+60
2	Чигил	Поисковая	2	12.06.2019г.	22	80	+25
3	Чигил	Разведочная	4	02.03.2020г.	21	140	+119
4	Чигил	Разведочная	5	27.11.2019г.	0	65	+65
5	Девхона	Поисковая	2	10.08.2019г.	0	40	+40
6	Девхона	Разведочная	3	15.08.2019г.	10	34	+24
7	Девхона	Разведочная	4	22.09.2019г.	23	120	+97
8	Девхона	Разведочная	6	17.11.2019г.	0	100	+100
9	Талимаржон	Поисковая	1	18.06.2019г.	40	75	+35
10	Талимаржон	Разведочная	2	21.08.2019г.	179	726	+547
11	Талимаржон	Разведочная	4	22.09.2019г.	23	120	+97
12	Талимаржон	Разведочная	5	31.12.2019г.	0	86	+86
13	Талимаржон	Разведочная	6	06.12.2019г.	0	630	+630
14	Худжум	Поисковая	2	11.02.2020г.	152	152	0
15	Худжум	Поисковая	3	01.02.2020г.	0	136	+136
16	Худжум	Разведочная	4	19.12.2019г.	0	360	+360
17	Шимолий Гирсан	Поисковая	1	02.11.2019г.	0	0	0
18	Шимолий Гирсан	Поисковая	2	24.09.2019г.	85	100	+15
19	Шимолий Гирсан	Разведочная	4	28.07.2019г.	0	42	+42
20	Шимолий Гирсан	Разведочная	5	21.12.2019г.	0	0	0
21	Эрназар	Поисковая	1	28.09.2019г.	60	140	+80
22	Эрназар	Поисковая	3	29.09.2019г.	80	161	+81
23	Эрназар	Разведочная	4	14.08.2019г.	0	40	+40
24	Эрназар	Разведочная	5	07.10.2019г.	141	220	+79
25	Гарбий Эрناзар	Поисковая	1	23.08.2019г.	0	0	0
26	Гарбий Эрназар	Поисковая	2	17.04.2020г.	0	0	0
27	Каракара	Поисковая	1	11.09.2019г.	50	300	+250
28	Каракара	Поисковая	2	29.02.2019г.	0	0	0
29	Эшонкудук	Поисковая	3	27.10.2019г.	0	0	0
30	Назаркудук	Поисковая	1	17.09.2019г.	40	575	+535
31	Назаркудук	Поисковая	2	20.11.2019г.	0	0	0
32	Назаркудук	Разведочная	4	25.09.2019г.	30	987	+957
33	Кирккулоч	Поисковая	1	01.10.2020г.	0	0	0
34	Кирккулоч	Разведочная	4	04.09.2020г.	0	0	0
35	Алавуддин	Разведочная	4	15.10.2020г.	0	0	0
36	Дарахтли	Поисковая	1	04.11.2020г.	0	0	0
37	Дарахтли	Поисковая	3	28.11.2020г.	0	0	0
38	Бахористон	Поисковая	1	25.11.2019г.	0	0	0
39	Бобогул	Поисковая	3	18.12.2019г.	0	0	0
40	Изганча	Разведочная	4	21.03.2020г.	0	0	0
41	Янгилик	Поисковая	1	18.09.2020г.	0	0	0
42	Мирбарака	Поисковая	1	16.02.2020г.	0	0	0

«+» -прирост дебита газа после проведения КГРП

следующие геолого-физические факторы: эффективная толщина горизонта; вскрытая перфорацией эффективная толщина горизонта; пластовое давление; коэффициент расчленённости; глинистость коллектора; коэффициент насыщенности;

коэффициент пористости; количество перфорированных интервалов; расстояние от ГВК и ВНК до нижних дыр интервала перфорации; степень вскрытия нефтегазонасыщенной толщины горизонта; температура пласта и

дебита нефти по отношению к дебиту до выполнения мероприятий составило 94% (скв. №44 месторождения Крук), минимальное достигло 15% (скв. № 61 месторождения Крук).

В таблицах 4 и 5 приведены результаты оценки технологической и экономической эффективности РВП в скважинах №№ 68, 70, 76 месторождения Южный Кемачи, №№ 55, 103, 61, 15 месторождения Крук, №№ 93, 101 месторождения Северный Уртабулак и №№ 44, 48 месторождения Западный Крук. Из таблицы

Таблица 3.

Эффективность технологии РВП на скважинах месторождения Крук

№№ скв.	Дата начала ремонта	Дата окончания ремонта	Фактическая суммарная добыча после проведения РВП, t	Прогнозная суммарная добыча без проведения РВП, t	Суммарный прирост добычи нефти, t	Продолжительность эффекта, month
32	12.03.2006	31.03.2006	0,0	0,0	0,0	0
52	18.02.2006	27.04.2006	222,0	0,0	222,0	12
12	28.04.2006	08.05.2006	274,0	0,0	274,0	2
69	19.04.2006	10.05.2006	520,0	41,9	478,1	5
37	29.04.2006	14.05.2006	283,5	134,5	149,0	3
41	25.04.2006	14.05.2006	592,0	195,8	396,1	9
23	09.05.2006	19.05.2006	108,0	3,0	105,0	1
22	11.05.2006	22.05.2006	770,9	11,5	759,3	3
19	19.05.2006	29.05.2006	19,7	3,7	16,0	2
34	23.05.2006	02.06.2006	0,0	0,0	0,0	0
74	30.05.2006	13.06.2006	0,0	0,0	0,0	0
50	04.06.2006	19.06.2006	16,3	4,8	11,5	2
62	12.06.2006	25.06.2006	1327,4	410,9	916,5	4
31	02.07.2006	16.07.2006	83,3	11,3	72,0	6
59	06.07.2006	21.07.2006	85,3	1,2	84,1	2
72	16.07.2006	01.08.2006	1988,3	1,2	1987,1	8
77	22.07.2006	02.08.2006	812,5	2,6	809,9	6
80	02.08.2006	13.08.2006	908,0	2,5	905,5	7
36	02.08.2006	14.08.2006	18602,1	251,4	18350,7	26
44	01.08.2006	17.08.2006	10598,8	480,2	10118,5	9
79	14.08.2006	28.08.2006	9,0	2,0	7,0	1
13	28.08.2006	14.09.2006	0,0	0,0	0,0	0
56	10.09.2006	14.09.2006	678,0	277,8	400,2	6
Итого			38042,9	1836,3	36206,6	

коэффициент песчанности.

Проведённые замеры дебитов скважин до и после проведения работ по РВП свидетельствуют о достижении положительного эффекта с приростом среднесуточных дебитов скважин. Объёмы прироста добычи нефти в разрезе скважин изменяются в широком диапазоне, при этом максимальное увеличение

4 видно, что во всех скважинах от применения технологии РВП получен технологический эффект, однако в ряде скважин дополнительно добытая нефть не смогла компенсировать затраты (табл. 5), поэтому к выбору скважин-кандидатов на проведение РВП нужен особый обоснованный подход. На основе анализа результатов радиального вскрытия пласта в

скважинах месторождений зарубежных стран и Узбекистана выявлены геологические и технологические критерии для эффективного

Технологические критерии:
- скважина должна иметь герметичную эксплуатационную колонну;

Таблица 4.

Оценка технологического эффекта РВП на месторождениях УДП «Мубарекнефтегаз» (По данным УДП «Мубарекнефтегаз»)

Месторож-дение	№ скважины	Дата ввода в эксплуатацию после РВП	Дебит до РВП тн/сут.	Добыча с меро-приятием, тн.	Добыча без меро-приятием, тн.	Эффект, тн.
Крук	55	26.08.2012	1,8	972,11	178,2	793,91
	44	27.08.2012	14,3	1590,29	1372,8	217,49
	103	20.09.2012	5,3	831,34	392,2	439,14
	61	23.09.2012	10,3	941,74	772,5	169,24
	15	08.10.2012	5,4	989,54	375	611,54
	107	15.10.2012	2,7	701,31	170,1	531,21
	88	19.10.2012	8,5	558,31	467,5	90,81
	102	23.10.2012	14,9	1326,11	998,3	327,81
Северный Уртабулак	1	07.11.2012	8,3	449,29	356,9	92,39
	93	08.12.2012	3,7	1108,89	354,9	753,99
Западный Крук	101	23.12.2012	3,4	510,4	319,6	190,8
	44	16.11.2012	5,2	913,73	698,3	215,43
Южный Кемачи	48	24.11.2012	3,1	724,26	415,4	308,86
	68	01.08.2012	2,5	1046,7	460	586,7
Южный Кемачи	70	03.08.2012	4,0	1179,8	724	455,8
	76	10.08.2012	3,7	1182,3	539,4	642,9

Таблица 5.

Оценка экономической эффективности РВП на месторождениях УДП «Мубарекнефтегаз»

Месторож-дение	№№ Скважины	Дата ввода после РВП	Всего затрачено на РВП		Эффективность на 1.04.2013г.		
			сум	долларов США	тонн ЖУВ	экономический эффект (долларов США)	% окупаемости
1	2	3	4	5	6	7	8
Южный Кемачи	68	01.08.2012г.	303055779	159168,0	935,97	630072,3	395,9
	70	03.08.2012г.	262279395	137686,7	778,3	508729,5	369,5
	76	10.08.2012г.	375177147	196510,1	941,84	634589,9	322,9
Крук	55	26.08.2012г.	377726130	196997,4	1250,96	611366,6	310,3
	44	27.08.2012г.	389008756	202429,5	328,04	19156,4	9,5
	103	20.09.2012г.	369984409	191275,6	726,57	281778,9	147,3
	61	23.09.2012г.	404223757	208976,8	308,99	-361,9	-0,2
	15	08.10.2012г.	266107117	137013,2	823,25	393815,2	287,4
Северный Уртабулак	93	08.12.2012г.	257595258	130566,8	759,21	355005,2	271,9
	101	23.12.2012г.	298133161	150557,1	196,28	-20944,6	-13,9
Западный Крук	44	16.11.2012г.	312420189	159146,3	221,43	-11332,0	-7,1
	48	24.11.2012г.	337914850	171853,2	313,42	34737,3	20,2

проведения данной технологии.

Геологические критерии:

- эффективная толщина пласта более 2.5 м;
- отсутствие вышележащих близко-расположенных (менее 8 м) водонасыщенных пластов;
- текущее пластовое давление не менее 50% от начального;
- обводненность не более 60%;
- отсутствие пластичных глин в интервале бурения каналов;
- глубина не более 2500 м;
- температура горизонта не более 100°C.

- в интервале пласта не должно быть сужение эксплуатационной колонны;
- скважина должна иметь зумпф не менее 10 м от глубины точки фрезеровки колонны для проведения радиального вскрытия до забоя для осаждения вынесенного шлама;

Анализ эффективности резки боковых стволов, выполненных в скважинах №№ 1,15, 18, 28, 40, 44, 45,49, 51, 53, 54, 58, 60, 62, 71, 76, 83, 87, 88, 92, 95, 102, 104, 108, 112 месторождения Северный Уртабулак показало, что среднесуточные дебиты нефти по сравнению с дебитами до проведения боковой

зарезки увеличились в среднем в 12 раз. При этом продолжительность эффекта от проведения мероприятий составляла более года. Кроме увеличения среднесуточного дебита нефти в скважинах, в которых провели зарезку боковых стволов, наблюдается уменьшение обводненности продукции. Это свидетельствует, что добыча пластовых флюидов после зарезки боковых стволов происходит из объемов, ранее не охваченных дренированием.

Опыт бурения боковых стволов позволяет сделать вывод, что данная технология даёт возможность вернуть в эксплуатацию скважины бездействующего фонда, вести добычу нефти из нефтенасыщенных объемов, неохваченных процессом дренирования. Естественно, это приводит к увеличению коэффициента извлечения нефти и повышает эффективность разработки месторождений, находящихся в поздней стадии.

Основными ключевыми критериями выбора скважин для зарезки бокового ствола являются плотность сетки пробурённых скважин на объекте, техническое состояние скважин, остаточные запасы нефти и состояние дренируемой зоны [16; с. 34]. Состояние разработки продуктивных горизонтов и скважин месторождения Шеркент соответствуют этим

критериям. Поэтому высокотехнологический ремонт скважин с применением зарезки боковых стволов является одним из наиболее подходящей технологией повышения эффективности процесса разработки длительно разрабатываемых месторождений Узбекистана.

Заключение. Эффективность технологий гидравлического разрыва пласта, радиального вскрытия пласта и зарезки боковых стволов, проведенных в скважинах нефтегазовых, нефтяных и газоконденсатных месторождениях Бухаро-Хивинского региона в зависимости от геолого-физических условий продуктивных горизонтов и состояния их разработки изменяются в очень больших диапазонах.

Обобщение результатов внедрения исследованных технологий интенсификации добычи нефти и газа позволила определить геологические и технологические факторы, влияющие на эффективность процесса.

Выделенные геологические и технологические критерии выбора скважин для проведения гидравлического разрыва пласта, радиального вскрытия пласта и зарезки бокового ствола позволяет научно обосновать необходимость проведения этих технологий и естественно приведет к увеличению их эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ


- [1] Григулецкий, В. Г. (2016). Направленный многостадийный гидравлический разрыв пласта, течение вязкой технологической жидкости через перфорационные отверстия и каналы некруговой формы. Часть 1. Обоснование и постановка задачи исследования. Нефтепромысловое дело, (6), 36–43.
- [2] Кондратьев, С. А., Жуковский, А. А., Кочиева, Т. С., & Малышева, В. Л. (2016). Опыт проведения проплантного гидроразрыва пласта в карбонатных коллекторах месторождений Пермского края. Нефтепромысловое дело, (6), 23–31.
- [3] Каршиев, А. Х., Эрматов, Н. Х., & Хамраев, Б. Ш. (2015). Оценка степени способа перфорации на дебит скважины в геолого-физических условиях месторождений Западного Узбекистана. Узбекский журнал нефти и газа, (3), 33–37.
- [4] Хаертдинов, Р. Р. (2015). Анализ проведения гидроразрыва пласта на месторождениях НГДУ «Туймазнефть» ОАО АНК «Башнефть». Нефтепромысловое дело, (6), 29–33.
- [5] Кустышев, А. В., Ваганов, Ю. В., Кустышев, Д. А., & Гейхман, М. Г. (2015). Влияние геологических характеристик нефтегазовой залежи на эффективность гидравлического разрыва пласта. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, (1), 52–58.
- [6] Беликов, С. А., Салахов, Т. Р., Кардопольцев, А. С., & Лескин, Ф. Ю. (2023). Анализ эффективности горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта на примере Кондинского месторождения. Нефтегазовое дело, 21(1), 39–50.

- [7] Полежаев, В. О., Рамазанов, Р. Р., Япсаров, И. И., и др. (2024). Методика прогнозирования прироста дебита жидкости для оптимизации подбора кандидатов для проведения ГРП. Нефтегазовое дело, 22(1), 77–85.
- [8] Гузенко, Ю. В. (2019). Эффективность применения гидроразрыва пласта на основании лабораторных и экспериментальных исследований. Современные инновации, 6(34), 8–10.
- [9] Ковтун, В. В. (2019). Исследование эффективности гидравлического разрыва пласта на примере Ватъеганского месторождения. Вестник науки и образования, 12(66), 10–12.
- [10] Жураев, Э. И., Дониёров, Н. А., & Хидиров, Ж. Ч. (2017). Влияние времени проведения гидравлического разрыва пласта в процессе разработки на ее эффективность. В Нефть ва газ конларини ишга тушириш ва улардан фойдаланишда замонавий технологиялар (с. 315–316). Материалы Республиканской научно-практической конференции.
- [11] Агзамова, С. А. (2021). Результаты анализа эффективности кислотного гидравлического разрыва пласта в поисковых и разведочных скважинах газоконденсатного месторождения Кирккулоч. Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences, 2(6), 30–39.
- [12] Абдуллаев, Г. С., Хайитов, О. Г., Агзамова, С. А., & Сонаев, С. Н. (2021). Результаты интенсификации притока газа при освоении поисковых и разведочных скважин месторождения Дарахтли. Горный журнал Казахстана, (11), 35–44.
- [13] Djalolov, M. S., Akhmedova, K. A., Shokhakimova, A. A., & Agzamova, S. A. (2020). Environmental safety during acid hydraulic fracturing technology. In Problems and prospects of innovative technology and technologies in the field of environmental protection (Part III, pp. 432–436). International Scientific and Technical Online Conference.
- [14] Radial Drilling Services Inc. (n.d.). Official website. <http://radialdrilling.com>
- [15] Картавцева, Т. А., Хаджиханов, Б. А., & Гулямов, Р. А. (2013). Результаты геолого-технических мероприятий по радиальному вскрытию пластов на месторождениях Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона Республики Узбекистан. Узбекский журнал нефти и газа, (4), 21–25.
- [16] Жамилов, А. Ф. (2023). Исследование систем доразработки газоконденсатных месторождений (Автореферат диссертации доктора философии (PhD)). АО «O‘ZLITINEFTGAZ».
- [17] Асадова, Х. Б., Омонов, С. П., & Шаропов, А. А. (2024). Особенности доразработки газоконденсатных месторождений путём возврата простаивающих скважин в эксплуатацию. Цифровые технологии в промышленности, (3), 1–8.
- [18] Агзамова, С. А. (2022). Геологические факторы, влияющие на качество гидрокислотного разрыва пласта при освоении поисковых и разведочных скважин (Автореферат диссертации доктора философии (PhD)). АО «ИГРНИГМ».

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Kilichev, I. K., Ibotov, O. Q., Turdiyev, Sh. Sh., & Matniyazov, O. P. (2026). Эффективность технологий интенсификации добычи углеводородов на месторождениях Бухаро-Хивинского региона. Цифровые технологии в промышленности, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.23>

UO‘K: 551.243:550.34

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.19

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

YER YORIQLARINING MAKON VA CHUQURLIK BO‘YICHA TAQSIMLANISH XUSUSIYATLARI



Dononov Jasur Ural o'g'li

Dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

E-mail: jasurdononov@mail.ru

ORCID ID: 0009-0007-7631-4769

Science ID: FQD-0226-0038

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot ishida yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlari fraktal hamda statistik tahlil usullari yordamida o'rganildi. Tadqiqotda yoriqlar tizimining fazoviy joylashuvini modellashtirish uchun tasodifiy nuqtaviy taqsimlanish modeli va Lévy flight fraktal modeli qo'llanildi. Lévy flight modeli asosida yoriqlar orasidagi masofalarning ehtimollik zichligi va taqsimlanish funksiyalari aniqlandi hamda fraktal o'lcham ko'rsatkichi hisoblandi. Tahlil natijalari yer yoriqlari va zilzila epitsentrlarining fazoviy joylashuvi murakkab strukturaviy-geodinamik tizim ekanligini hamda o'z-o'ziga o'xshash fraktal xususiyatlarga ega ekanligini tasdiqladi. Yoriqlar tizimining klasterlashish darajasi, makoniy zichligi va chuqurlik bo'yicha tarqalishi tektonik kuchlanish maydonlari hamda seysmik faollik bilan chambarchas bog'liqligi aniqlandi. Korrelyatsion o'lchamni baholashda koordinata xatoliklari, chegara effekti, statistik tanlanma hajmi va makoniy proyeksiya kabi sistematik omillarning ta'siri tahlil qilindi. Kichik masshtab chegaralarida koordinatalar aniqligining pasayishi fraktal parametrlarning noto'g'ri baholanishiga olib kelishi mumkinligi ko'rsatildi. Statistik filtrlash va masshtab parametrlarini optimallashtirish usullarini qo'llash orqali taqsimlanish qonuniyatlarini yanada aniqroq baholash imkoniyati yaratildi. Olingan natijalar seysmik xavf zonalarini aniqlash va hududlarning geodinamik holatini baholashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: yer yoriqlari, fraktal o'lcham, korrelyatsion o'lcham, Lévy flight modeli, seysmik faollik, geodinamika.

Received: 19.05.2026

Accepted: 21.06.2026

Published: 29.06.2026

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ГЛУБИННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Дононов Жасур Урал угли

Каршинский государственный технический университет, доцент, Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной работе исследованы особенности пространственного и глубинного распределения разломов земной коры с использованием методов фрактального и статистического анализа. Для моделирования пространственного расположения системы разломов применялись модель случайного точечного распределения и фрактальная модель полёта Леви (Lévy flight). На основе модели Lévy flight были определены функции плотности вероятности и распределения расстояний между разломами, а также рассчитан показатель

фрактальной размерности. Результаты анализа подтвердили, что пространственное расположение разломов и эпицентров землетрясений представляет собой сложную структурно-геодинамическую систему, обладающую свойствами самоподобия. Установлена тесная связь между степенью кластеризации разломов, их пространственной плотностью, распределением по глубине и полями тектонических напряжений, а также сейсмической активностью. При оценке корреляционной размерности проанализировано влияние систематических факторов, включая ошибки координат, краевые эффекты, объём статистической выборки и пространственные проекции. Показано, что снижение точности координат на малых масштабах может приводить к некорректной оценке фрактальных параметров. Применение методов статистической фильтрации и оптимизации масштабных параметров позволило повысить точность оценки закономерностей распределения. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для выявления зон сейсмической опасности и оценки геодинамического состояния территорий.

Ключевые слова: разломы земной коры, фрактальная размерность, корреляционная размерность, модель полёта Леви, сейсмическая активность, геодинамика.

SPATIAL AND DEPTH DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF GEOLOGICAL FAULTS

Dononov Jasur Ural ugli

Karshi State Technical University, Associate Professor, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This study investigates the spatial and depth distribution characteristics of geological faults using fractal and statistical analysis methods. A random point distribution model and the Lévy flight fractal model were employed to simulate the spatial arrangement of fault systems. Based on the Lévy flight model, the probability density and distribution functions of inter-fault distances were determined, and the fractal dimension parameter was calculated. The results confirmed that the spatial distribution of geological faults and earthquake epicenters represents a complex structural-geodynamic system exhibiting self-similar fractal properties. A strong relationship was identified between the degree of fault clustering, spatial density, depth distribution, tectonic stress fields, and seismic activity. The influence of systematic factors, including coordinate errors, boundary effects, statistical sample size, and spatial projection, was analyzed during the estimation of the correlation dimension. It was demonstrated that reduced coordinate accuracy at small scales may lead to inaccurate estimation of fractal parameters. The application of statistical filtering and scale-parameter optimization methods improved the accuracy of distribution pattern assessment. The obtained results are of significant scientific and practical importance for identifying seismic hazard zones and evaluating the geodynamic state of regions.

Keywords: geological faults, fractal dimension, correlation dimension, Lévy flight model, seismic activity, geodynamics.

Кирish. Yer yoriqlari va tektonik buzilishlarning makon hamda chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini o'rganish geologiya, geofizika va seysmologiya fanlarining muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Yer po'stida yuz beradigan deformatsion jarayonlar natijasida hosil bo'ladigan yoriqlar va uzilmalar tog' jinslarining fizik-mexanik xususiyatlari, tektonik kuchlanish maydonlari hamda seysmik jarayonlarning shakllanishida asosiy omillardan biri sifatida qaraladi [12]. Ayniqsa, yoriqlar tizimining fazoviy joylashuvi va

chuqurlik bo'yicha tarqalish qonuniyatlarini aniqlash hududlarning geodinamik holatini baholash, seysmik xavfni prognozlash hamda yer osti geologik muhitining strukturaviy xususiyatlarini aniqlashda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega [4].

So'nggi yillarda yer yoriqlari va seysmik hodisalarning fazoviy taqsimlanishini fraktal geometriya va statistik tahlil usullari asosida o'rganishga katta e'tibor qaratilmoqda. Tadqiqotlarda yoriqlar tizimining makoniy joylashuvi ko'pincha

o'z-o'ziga o'xshashlik xususiyatiga ega bo'lgan murakkab strukturaviy tizim sifatida qaraladi. Bunday yondashuv yoriqlar va zilzila o'choqlarining tarqalish qonuniyatlarini baholash, ularning zichligi, yo'nalishi va chuqurlik bo'yicha o'zgarish xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi [1,9]. Fraktal tahlil natijalari yoriqlar tizimining strukturaviy murakkabligi va tektonik rivojlanish bosqichlari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashda samarali usullardan biri hisoblanadi.

Yer yoriqlarining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi hududning geodinamik rivojlanishi bilan chambarchas bog'liq bo'lib, seysmik faol zonalarda yoriqlarning ma'lum chuqurlik intervallarida yuqori konsentratsiyalanishi kuzatiladi. Bu esa tektonik kuchlanishlarning notekis taqsimlanganligini hamda deformatsion jarayonlarning murakkab xarakterga ega ekanligini ko'rsatadi. Ayniqsa, faol tektonik hududlarda yoriqlar tizimi va seysmik hodisalar o'rtasidagi fazoviy bog'liqlikni aniqlash hududning geologik barqarorligini baholashda muhim omil bo'lib xizmat qiladi [3, 7, 15].

Mazkur tadqiqot ishida yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlari tahlil qilinib, ularning fazoviy joylashuvi, chuqurlik intervallari bo'yicha tarqalishi hamda strukturaviy-geodinamik omillar bilan bog'liqligi o'rganiladi [11]. Tadqiqot natijalari hududlarning tektonik rivojlanish qonuniyatlarini aniqlash, seysmik faol zonalarini baholash va geologik jarayonlarning evolyutsion xususiyatlarini tushuntirishda ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Yer yoriqlarining makoniy taqsimlanishini modellashtirish. Yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlarini o'rganishda statistik hamda fraktal modellashtirish usullaridan keng foydalaniladi. Ushbu yondashuv yoriqlar tizimining fazoviy joylashuvi, zichligi va strukturaviy murakkabligini baholash imkonini beradi [14]. Tadqiqot davomida yoriqlar tizimining fazoviy taqsimlanishini modellashtirish uchun tasodifiy nuqtalar hamda fraktal taqsimlanish modellari qo'llanildi.

Tasodifiy makoniy taqsimlanishni hosil qilishda nuqtalar ikki o'lchamli tekislikda yoki uch o'lchamli fazoda bir tekis joylashtirildi [6]. Koordinatalarni generatsiya qilish quyidagi ifodalar orqali amalga oshirildi:

$$x = x_1 + Z_1 \cdot (x_2 - x_1), \quad (1)$$

$$y = \arcsin [Z_2 \cdot (\sin(y_2) - \sin(y_1)) + \sin(y_1)] \quad (2)$$

bu yerda:

x_1, x_2 – uzunlik bo'yicha chegaralar;

y_1, y_2 – kenglik bo'yicha chegaralar;

Z_1, Z_2 – (0;1] oralig'idagi tasodifiy sonlar.

Mazkur model yoriqlarning makoniy joylashuvini dastlabki statistik baholash imkonini beradi. Biroq real geologik muhitda yer yoriqlari tasodifiy emas, balki ma'lum strukturaviy qonuniyatlar asosida shakllanadi. Shu sababli tadqiqotda fraktal modellashtirish usulidan ham foydalanildi.

Fraktal makoniy taqsimlanishni model-lashtirishda Lévy flight modeli asos qilib olindi [2]. Ushbu model yoriqlar orasidagi masofalar taqsimlanishini ifodalash imkonini beradi. Masofalar ehtimollik zichligi quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$\varphi(r) = \frac{r_{max}^\delta r_{min}^\delta}{r_{max}^\delta - r_{min}^\delta} \delta r^{-1-\delta} \quad (3)$$

bu yerda:

r_{min} – minimal masofa;

r_{max} – maksimal masofa;

δ – fraktal o'lcham ko'rsatkichi.

Taqsimlanish funksiyasi esa quyidagicha ifodalanadi:

$$\phi(r) = \frac{\left(\frac{r_{min}}{r}\right)^\delta - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}}\right)^\delta}{1 - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}}\right)^\delta} \quad (4)$$

Yoriqlar orasidagi masofalarni generatsiya qilish formulasi:

$$r = r_{min} \left\{ Z \left[1 - \left(\frac{r_{min}}{r}\right)^{-\delta} \right] + \left(\frac{r_{min}}{r_{max}}\right)^{-\delta} \right\}^{-1/\delta} \quad (5)$$

Mazkur model yordamida yer yoriqlarining fazoviy joylashuvi, ularning klasterlashish darajasi hamda chuqurlik bo'yicha tarqalish qonuniyatlari baholandi. Fraktal modellashtirish natijalari yoriqlar tizimining o'z-o'ziga o'xshash strukturaga ega ekanligini hamda tektonik jarayonlarning murakkab geodinamik xarakterini aks ettirishini ko'rsatadi [8, 10].

Tadqiqot natijalari asosida yer yoriqlarining makoniy taqsimlanishi tektonik kuchlanish maydonlari, seysmik faollik va geologik muhitning strukturaviy xususiyatlari bilan chambarchas bog'liqligi aniqlandi. Fraktal yondashuv yoriqlar tizimini matematik modellashtirish va ularning rivojlanish qonuniyatlarini aniqlashda samarali usullardan biri sifatida baholandi.

Korrelyatsion o'lchamni aniqlashdagi xatolik va sistematik og'ishlar. Yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini fraktal hamda statistik usullar yordamida tahlil qilishda korrelyatsion o'lchamni aniqlash muhim bosqich hisoblanadi. Biroq real geologik va seysmologik ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonida turli xil xatoliklar va sistematik og'ishlar yuzaga keladi [13]. Ushbu omillar yoriqlar tizimining fraktal ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatib, natijalarning aniqligini pasaytirishi mumkin.

Korrelyatsion o'lchamni aniqlashda asosiy xatolik manbalariga yoriqlarning koordinatalarini aniqlashdagi noaniqliklar, kuzatuv chegaralari, ma'lumotlarning notekis taqsimlanishi hamda statistik tanlanmaning yetarli emasligi kiradi. Ayniqsa, yoriqlarning chuqurlik bo'yicha joylashuvi haqidagi ma'lumotlar aniqligining past bo'lishi fraktal parametrlarning noto'g'ri baholanishiga olib keladi. Shuningdek, ayrim hududlarda kuzatuv tarmoqlarining zichligi turlicha bo'lishi natijasida ma'lumotlarning fazoviy notekisligi yuzaga keladi.

Fraktal tahlilda muhim sistematik omillardan biri chegara effekti hisoblanadi. Tadqiqot hududi chegaralangan bo'lgani sababli yoriqlar orasidagi masofalarni hisoblashda chegaraga yaqin nuqtalar statistik natijalarga ta'sir qiladi. Natijada korrelyatsion o'lcham qiymati haqiqiy qiymatdan og'ishi mumkin [5]. Bundan tashqari, yoriqlar tizimining anizotropik xarakterga ega bo'lishi ham statistik baholash natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Kichik masofalarda korrelyatsion o'lcham qiymati ma'lumotlar sonining yetarli emasligi sababli noto'g'ri baholanishi mumkin. Minimal kritik masofa quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$r_{min} = 2R \cdot \left(\frac{1}{N}\right)^{1/D} \quad (6)$$

bu yerda:

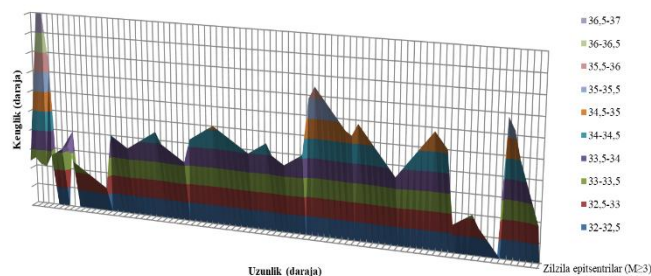
R – tadqiqot hududining radiusi;

N – kuzatilgan nuqtalar soni;

D – fazoning o'lchami.

Mazkur formula kichik masofalarda statistik ma'lumotlarning yetarli darajada "to'ldirilmaganligi" natijasida yuzaga keladigan xatoliklarni baholash imkonini beradi. Agar kuzatilgan nuqtalar soni kam bo'lsa, kichik masofalarda fraktal o'lcham qiymati pasayadi va real strukturaviy xususiyatlarni to'liq aks ettirmaydi.

Shuningdek, yer yoriqlari koordinatalarini aniqlashdagi instrumental xatoliklar ham korrelyatsion o'lchamga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bunday xatoliklar kichik masshtabdagi strukturaviy elementlarning sun'iy ravishda tarqalib ketishiga olib keladi. Natijada yoriqlar tizimining fazoviy murakkabligi ortiqcha baholanishi mumkin.



1-rasm. Zilzila epitsentrlarining kenglik va uzunlik koordinatalari bo'yicha makoniy taqsimlanishi.

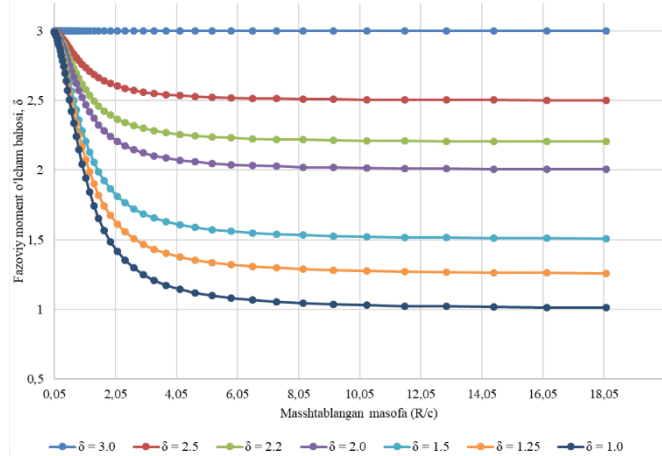
Tadqiqot davomida yuqoridagi sistematik omillarni kamaytirish maqsadida statistik filtrlash, masshtab chegaralarini tanlash va fraktal parametrlarni optimallashtirish usullaridan foydalanildi. Bu esa yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlarini yanada aniqroq baholash imkonini berdi.

Zilzila epitsentrlarini aniqlashdagi xatoliklar. Yer yoriqlari va zilzila epitsentrlarining makoniy taqsimlanishini o'rganishda eng muhim omillardan biri kuzatuv ma'lumotlarining aniqlik darajasi hisoblanadi. Epitsentr va gipotsentr koordinatalarini aniqlashdagi xatoliklar korrelyatsion o'lcham qiymatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa, kichik masofalarda joylashgan zilzila hodisalarida koordinatalar aniqligining pasayishi natijasida makoniy taqsimlanish sun'iy ravishda kengayib ko'rinishi mumkin.

Zilzila koordinatalarini aniqlashdagi xatoliklar odatda seysmik stansiyalar joylashuvi, kuzatuv tarmog'ining zichligi hamda hisoblash algoritm-larining aniqligi bilan bog'liq bo'ladi. Agar kuzatuv stansiyalari ma'lum hududlarda notekis joylashgan bo'lsa, epitsentrlarning fazoviy taqsimlanishi ham notekis shakllanadi. Natijada ayrim hududlarda seysmik hodisalar yuqori zichlikda, ayrim hududlarda esa kam qayd etilishi kuzatiladi.

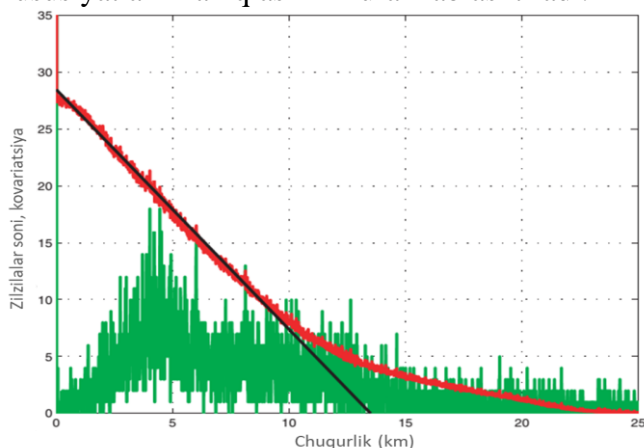
Kichik masshtablarda koordinata xatoliklari yoriqlar va zilzila epitsentrlarining haqiqiy strukturaviy joylashuvini buzib ko'rsatishi mumkin.

Bu holat ayniqsa klasterlashgan seysmik zonalarda yaqqol namoyon bo'ladi. Bunday vaziyatda statistik tahlil natijasida korrelyatsion o'lcham qiymati ortiqcha baholanishi yoki sun'iy ravishda kamayishi mumkin.



2-rasm. Masshtablangan masofa o'zgarishiga bog'liq holda fazoviy moment o'lchami qiymatlarining taqsimlanishi.

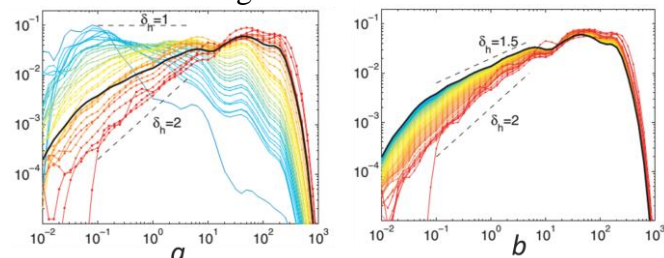
Ikki o'lchovli fazoda epitsentrlarning joylashuvini tahlil qilishda koordinata xatoliklari asosan kenglik va uzunlik bo'yicha kuzatiladi. Uch o'lchovli fazoda esa bunga qo'shimcha ravishda chuqurlik bo'yicha aniqlik xatoliklari ham ta'sir ko'rsatadi. Chuqurlik parametrining noaniqligi gipotsentrlarning vertikal taqsimlanishini buzadi va seysmik jarayonlarning haqiqiy strukturaviy xususiyatlarini aniqlashni murakkablashtiradi.



3-rasm. Zilzilalarning chuqurlikka bog'liq taqsimoti va chuqurlik korrelyatsiya funksiyasi.

Shuningdek, makoniy proyeksiya effekti ham statistik natijalarga sezilarli ta'sir qiladi. Yer yoriqlari va seysmik hodisalar ma'lum tektonik

zonalar bo'ylab yo'nalganligi sababli ularning fazoviy taqsimlanishi anizotropik xarakterga ega bo'ladi. Bu holat ikki o'lchovli proyeksiyada ayrim strukturaviy elementlarning zichroq yoki cho'zilgan shaklda aks etishiga olib keladi.



4-rasm. Zilzila juft korrelyatsiya funksiyasining log-log masshtabdagi taqsimlanishi – turli fraktal o'lcham ko'rsatkichlari bilan taqqoslash:

a - $\delta_h = 1$ va $\delta_h = 2$ mos yozuvlar chiziqlari bilan; ko'k-sariq-qizil rangli ko'plab egri chiziqlar va qalin qora o'rtacha chiziq; b - $\delta_h = 1.5$ va $\delta_h = 2$ mos yozuvlar chiziqlari bilan; bir-biriga yaqin, zich to'plangan egri chiziqlar va qalin qora o'rtacha chiziq.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, koordinata aniqligidagi xatoliklar kichik masofalarda kuchliroq namoyon bo'lib, katta masshtablarda ularning ta'siri nisbatan kamayadi. Shu sababli korrelyatsion o'lchamni aniqlashda statistik filtrlash, minimal masofa chegaralarini tanlash hamda ma'lumotlarni optimallashtirish usullaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur omillarni hisobga olish yer yoriqlari va zilzila epitsentrlarining makoniy hamda chuqurlik bo'yicha taqsimlanish qonuniyatlarini aniqlash imkonini beradi.

Xulosa. Mazkur tadqiqot ishida yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlari fraktal hamda statistik tahlil usullari asosida o'rganildi. Tadqiqot natijalari yer yoriqlari va zilzila epitsentrlarining fazoviy joylashuvi murakkab strukturaviy-geodinamik tizim ekanligini hamda ularning taqsimlanishi o'z-o'ziga o'xshash fraktal xususiyatlarga ega ekanligini ko'rsatdi. Tahlillar davomida yoriqlar tizimining klasterlashish darajasi, makoniy zichligi va chuqurlik bo'yicha tarqalishi tektonik kuchlanish maydonlari hamda seysmik faollik bilan chambarchas bog'liqligi aniqlandi. Ayrim hududlarda epitsentrlarning yuqori zichlikda joylashuvi faol tektonik zonalarining mavjudligini va geodinamik jarayonlarning notekis rivojlanishini ifodalashi qayd etildi.

Shuningdek, korrelyatsion o'lchamni aniqlashda koordinata xatoliklari, chegara effekti, statistik tanlanma hajmi va makoniy proyeksiya omillari sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Ayniqsa, kichik masshtablarda koordinatalar aniqligining pasayishi fraktal parametrlarning sun'iy ravishda o'zgarishiga olib kelishi mumkinligi kuzatildi. Shu sababli statistik filtrlash, masshtab parametrlarini optimallashtirish va ma'lumotlarni

tizimli qayta ishlash usullaridan foydalanish yer yoriqlarining makoniy hamda chuqurlik bo'yicha taqsimlanish qonuniyatlarini aniqroq baholash imkonini berdi. Olingan natijalar seysmik xavf zonalarini aniqlash, hududlarning geodinamik holatini baholash va tektonik jarayonlarni chuqurroq o'rganishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.


FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Aki, K., & Richards, P. G. (2002). *Quantitative seismology* (2nd ed.). University Science Books.
- [2] Aviles, C. A., Scholz, C. H., & Boatwright, J. (1987). Fractal analysis applied to characteristic segments of the San Andreas Fault. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 92(B1), 331–344. <https://doi.org/10.1029/JB092iB01p00331>
- [3] Grassberger, P., & Procaccia, I. (1983). Characterization of strange attractors. *Physical Review Letters*, 50(5), 346–349. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.50.346>
- [4] Hauksson, E., & Shearer, P. (2005). Southern California hypocenter relocation with waveform cross-correlation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(3), 896–903. <https://doi.org/10.1785/0120040167>
- [5] Kagan, Y. Y. (1991). Fractal dimension of brittle fracture. *Journal of Nonlinear Science*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/BF01209146>
- [6] Kagan, Y. Y. (2007). Simplified algorithms for calculating double-couple rotation. *Geophysical Journal International*, 171(1), 411–418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03538.x>
- [7] Kagan, Y. Y., & Knopoff, L. (1980). Spatial distribution of earthquakes: The two-point correlation function. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 62(2), 303–320. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb04857.x>
- [8] Mandelbrot, B. B. (1983). *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman and Company.
- [9] Okubo, P. G., & Aki, K. (1987). Fractal geometry in the San Andreas Fault system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 92(B1), 345–355. <https://doi.org/10.1029/JB092iB01p00345>
- [10] Robertson, M. C., Sammis, C. G., Sahimi, M., & Martin, A. J. (1995). Fractal analysis of three-dimensional spatial distributions of earthquakes with a percolation interpretation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B1), 609–620. <https://doi.org/10.1029/94JB02463>
- [11] Sornette, D. (2004). *Critical phenomena in natural sciences: Chaos, fractals, self-organization and disorder* (2nd ed.). Springer.
- [12] Turcotte, D. L. (1997). *Fractals and chaos in geology and geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [13] Wiemer, S., & Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 859–869. <https://doi.org/10.1785/0119990114>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Dononov, J. U. (2026). Yer yoriqlarining makon va chuqurlik bo'yicha taqsimlanish xususiyatlari. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.19>

UO‘K: 551.24:551.248:528.8

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.20

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

HUDUDLARNING NEOTEKTONIK TUZILISHI VA HARAKATINI O‘RGANISHDA IERARXIK TEKTODINAMIK MODEL ASOSIDAGI METODOLOGIK YONDASHUV



Dononov Jasur Ural o'g'li

Dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

E-mail: jasurdononov@mail.ru

ORCID ID: 0009-0007-7631-4769

Science ID: FQD-0226-0038



Shamsidinova Gulzoda Ural qizi

Mustaqil tadqiqotchi, Toshkent davlat texnika universiteti

magistranti, O'zbekiston

E-mail: shamsiddinovaqulzoda@gmail.com

Science ID: MQD-0526-0335

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot Markaziy Yevrosiyo hududida neotektonik jarayonlarning shakllanishi va rivojlanish qonuniyatlarini o'rganishga bag'ishlangan. Ishda geodinamik, geodezik va tektonofizik ma'lumotlar integratsiyasi asosida deformatsiya jarayonlari kompleks tarzda tahlil qilindi. GPS kuzatuvlari orqali yer yuzasi tezlik maydonlari aniqlanib, deformatsiya tezligi va uning gradientlari baholandi. Tadqiqotda ierarxik tektodinamik model qo'llanilib, neotektonik jarayonlar global, regional va lokal darajalarda yagona tizim sifatida ko'rib chiqildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, deformatsiya faqat plitalar chegaralarida emas, balki ularning ichki hududlarida ham keng tarqalgan bo'lib, ayniqsa Himolay–Tibet va Zagros zonalarida yuqori intensivlik bilan kechadi. Shuningdek, seysmik ma'lumotlar asosida zilzilaviy faollikning deformatsiya zonalarini bilan bog'liqligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari neotektonik jarayonlarni tizimli o'rganish va geodinamik modellashtirishni rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: neotektonika, deformatsiya, GPS, geodinamika, kuchlanish maydoni, ierarxik model.

Received: 20.05.2026

Accepted: 23.06.2026

Published: 29.06.2026

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ДВИЖЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ТЕКТОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Дононов Жасур Урал угли

Каршинский государственный технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

Шамсидинова Гульзода Урал кизи

Независимый исследователь, магистрант Ташкентского
государственного технического университета, Ташкент,
Узбекистан

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению закономерностей формирования и развития неотектонических процессов в регионе Центральной Евразии. В работе проведён комплексный анализ деформационных процессов на основе интеграции геодинамических, геодезических и тектонофизических данных. С использованием GPS-наблюдений определены поля скоростей поверхности Земли, а также оценены скорость деформации и её градиенты. В исследовании применён иерархический тектодинамический подход, позволяющий рассматривать -

вать неотектонические процессы как единую систему на глобальном, региональном и локальном уровнях. Полученные результаты показали, что деформация распространяется не только по границам литосферных плит, но и внутри них, особенно в зонах Гималаев–Тибета и Загроса. Анализ сейсмических данных выявил тесную связь между очагами землетрясений и зонами деформации. Результаты исследования имеют важное значение для развития геодинамического моделирования и комплексного анализа неотектонических процессов.

Ключевые слова: неотектоника, деформация, GPS, геодинамика, поле напряжений, иерархическая модель.

A METHODOLOGICAL APPROACH TO STUDYING NEOTECTONIC STRUCTURE AND MOVEMENT OF REGIONS BASED ON A HIERARCHICAL TECTODYNAMIC MODEL

Dononov Jasur Ural ugli

Karshi State Technical University, Associate Professor, Karshi, Uzbekistan

Shamsidinova Gulzoda Ural kizi

Independent Researcher, Master's Student, Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This study is devoted to the investigation of the formation and development patterns of neotectonic processes in the Central Eurasian region. A comprehensive analysis of deformation processes was carried out based on the integration of geodynamic, geodetic, and tectonophysical data. Using GPS observations, surface velocity fields were determined, and deformation rates along with their gradients were evaluated. The study applies a hierarchical tectodynamic model, allowing neotectonic processes to be analyzed as a unified system at global, regional, and local scales. The results indicate that deformation is not limited to plate boundaries but also extends into their interiors, with particularly high intensity observed in the Himalaya–Tibet and Zagros regions. Seismic data analysis revealed a strong correlation between earthquake distribution and deformation zones. The findings contribute significantly to the advancement of geodynamic modeling and provide a systematic framework for studying neotectonic processes.

Keywords: neotectonics, deformation, GPS, geodynamics, stress field, hierarchical model.

Kirish. Markaziy Yevrosiyo hududi Yer sharining eng murakkab va yirik geodinamik tuzilmalaridan biri hisoblanadi. Ushbu mintaqa Sharqiy Turkiyadan Markaziy Xitoygacha cho'zilgan keng orogen zonalarni o'z ichiga olib, Zagros, Himolay tizmalari, Tibet platosi hamda ularga tutash tog'li hududlar bilan xarakterlanadi. Neotektonik jarayonlar zamonaviy geodinamik faoliyatning muhim ko'inishi sifatida seysmik faollik, yoriqlar bo'yicha siljish tezliklari hamda global pozitsiyalash tizimlari orqali aniqlanayotgan deformatsion harakatlar bilan ifodalanadi [4]. Bunda deformatsiya faqat plitalar chegaralari bilan cheklanib qolmay, balki yuzlab kilometr masofalarga ichkariga kirib borishi bilan ajralib turadi. Litosfera miqyosida kuzatilayotgan bu jarayonlar yer qobig'i va yuqori mantiyaning qalinligi, zichligi, harorati hamda moddiy tarkibidagi o'zgarishlar bilan bevosita bog'liq

bo'lib, natijada ichki kuchlar va kuchlanish maydonlari shakllanadi.

Neotektonik tizimlarni yangi konseptual yondashuv asosida qayta ko'rib chiqishni talab etadi. Ayniqsa, turli masshtabdagi geodinamik elementlarni yagona tizim sifatida talqin qiluvchi ierarxik modelni ishlab chiqish muhim ilmiy ahamiyatga ega. Bunday model orqali global, regional va lokal darajadagi tektonik jarayonlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni aniqlash, deformatsiyaning shakllanish mexanizmini chuqurroq tushuntirish imkoniyati yaratiladi [5].

Shu munosabat bilan mazkur tadqiqot ishida hududlarning neotektonik tuzilishi va harakatlanishini o'rganishda yangicha metodologik yondashuv ishlab chiqish hamda tektodinamik sistemalarning ierarxik modelini asoslash asosiy maqsad qilib belgilandi. Ushbu tadqiqotning ilmiy yangiligi shundan iboratki, neotektonik jarayonlar

birinchi marta geodezik, seysmik va kuchlanish ma'lumotlari integratsiyasi asosida ierarxik tektodinamik model doirasida yagona tizim sifatida tahlil qilindi.

Adabiyotlar tahlili. Neotektonik jarayonlarni o'rganish masalasi geologiya va geodinamika fanlarida muhim yo'nalishlardan biri bo'lib, turli davrlarda turli metodologik yondashuvlar asosida tadqiq etilgan. Dastlabki tadqiqotlar morfotektonik tahlilga asoslangan bo'lib, yer yuzasi shakllari orqali tektonik jarayonlarni aniqlashga qaratilgan edi. Bu yo'nalishda J. C. Doornkamp tomonidan olib borilgan izlanishlar muhim ahamiyatga ega bo'lib, u neotektonik jarayonlarni geomorfologik belgilar asosida aniqlash va tahlil qilish metodologiyasini rivojlantirdi. U tomonidan taklif etilgan yondashuvlarda relyef shakllari va tektonik harakatlar o'rtasidagi bog'liqlik tizimli tarzda asoslab berilgan.

Keyingi bosqichda neotektonik tadqiqotlar strukturaviy-geologik va geomorfologik usullarni birlashtirgan kompleks yondashuv asosida rivojlandi. Bu borada László Fodor va hammualliflari tomonidan Pannoniya havzasida olib borilgan tadqiqotlar muhim natijalarni ko'rsatdi. Ularning ishlari neotektonik strukturalarning shakllanishi ko'p hollarda avvalgi tektonik uzilishlarning qayta faollashuvi bilan bog'liqligini ko'rsatib, relyef evolyutsiyasi va tektonik jarayonlar o'rtasidagi uzviy aloqani asoslab berdi. Shuningdek, mualliflar geomorfologik indekslar va geofizik ma'lumotlarni birgalikda qo'llash orqali kompleks tahlil metodini taklif etganlar.

Keyingi yillarda neotektonik jarayonlarni o'rganishda geodinamik modellashtirish usullari keng qo'llanila boshlandi. Bu yo'nalishda Lavinia Tunini, Ivone Jiménez-Munt va Peter Bird kabi olimlar tomonidan ishlab chiqilgan modellarda litosferaning fizik xususiyatlari, issiqlik rejimi va reologik parametrlari hisobga olingan holda deformatsiya jarayonlari tahlil qilingan. Ular tomonidan qo'llangan yupqa sferik qatlam modeli yordamida yer yuzasidagi tezlik maydonlari, stress yo'nalishlari va tektonik rejimlar aniqlanib, bu jarayonlarning o'zaro bog'liqligi ilmiy asoslangan. Mazkur yondashuv neotektonik deformatsiyaning nafaqat lokal, balki regional va global darajadagi xususiyatlarini tushunishda muhim ahamiyat kasb

etadi.

Bundan tashqari, zamonaviy geodezik texnologiyalar asosida olib borilgan tadqiqotlar ham neotektonik jarayonlarni aniqlashda muhim o'rin tutadi. Roland Bürgmann, R. Reilinger, S. Bettinelli, F. Gan kabi olimlar tomonidan GPS ma'lumotlari asosida olib borilgan tadqiqotlar yer qobig'ining zamonaviy harakat tezliklari va deformatsiya yo'nalishlarini aniqlash imkonini berdi. Ushbu ishlarda deformatsiyaning faqat plitalar chegaralarida emas, balki ularning ichki hududlarida ham keng tarqalganligi ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Neotektonik jarayonlarni o'rganishda stress maydonlarini tahlil qilish ham muhim yo'nalishlardan biridir. Bu borada M. Heidebach boshchiligidagi tadqiqotchilar tomonidan ishlab chiqilgan World Stress Map loyihasi global miqyosda kuchlanish yo'nalishlarini aniqlash imkonini berdi. Ushbu loyiha ma'lumotlari asosida turli tektonik rejimlar – normal, siqilishli va yonlama siljishli harakatlar hududlar bo'yicha farqlanishi aniqlangan.

Kuchlanishlar va deformatsiyalar tushunchalarining tavsifini birinchi marotaba 1822 yilda O. Koshi taklif qilgan [11; 295 b]. Ammo konstruksiyalardagi kichik turliliklarni (darzliklarni) hisobga olgan holda kuchlanish holatini amaliy hisob - kitoblar faqat XX - asr boshlarida amalga oshirilgan edi (Inglis; Griffiths). G. Griffiths qattiq jismda juda ko'p mayda turliliklar (tuzilmali nuqsonlari) bo'lishini, ularning uchlarida kuchlanishlarning mahalliy kuchayishi hosil bo'ladi, deb faraz qilib, birinchi marta bunday nuqsonlar (darzliklar) o'sa boshlaydigan sharoitlarni o'rgandi va 1920 yilda matematik modelni ishlab chiqdi. G. Griffiths elementar darzlikni kesmada cho'zilgan ellips shakli bilan o'xshatish mumkin degan xulosaga kelgan. Unga perpendikulyar ravishda cho'zish kuchi qo'llanilganda, ellipsning uchlarida tortishish kuchlanishlarining konsentratsiyasi hosil bo'ladi. Ushbu zonadagi kuchlanish konsentratsiyasi shundayki, buzilish (yoki uzilish) jarayoni boshlanishi va rivojlanishi uchun kichik kuchlar ta'siri etarlidir. G. Griffiths siqilish kuchlanishlari maydonida ham yoriqlar uchlarida kuchlanishlari paydo bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi. Griffith nazariyasiga ko'ra yoriqlar rivojlanishi keyinchalik qutblanish - optik modellashtirish bilan tasdiq-

langan [11; 295 b, 12; 56-68 b]. O'tgan asrning 20 – 30 - yillari burmalar va uzilmalar hosil bo'lish muammosiga plastik nazariyasi elementlarini keng joriy etilishi kuzatildi [12; 280 b]. Siljish yuzalarning mavjudligi va geologik hodisalarni plastiklik qonuniyatlari asosida o'rganish imkoniyatiga alohida e'tibor berish boshlangan. O'sha yillardagi tadqiqotlar tahlili [13, 11, 14, 15] da keltirilgan bo'lib, unda materiallarning mexanik xususiyatlari, kuchlanish va deformatsiyalar, ular o'rtasidagi bog'liqlik va uzilmali buzilishlar haqida tushunchalar batafsil ko'rib chiqilgan. M.V.Gzovskiy [16] ko'rsatganidek, ular ham tadqiqotning dastlabki bosqichlarida xos bo'lgan ko'plab noto'g'ri g'oyalardan xolos bo'lmagan.

Tadqiqot metodologiyasi. Tektonik harakatlarni turli darajadagi tarkibiy qismlariga ajratish - dekompozitsiya metodi, yer qobig'idagi kuchlanish maydonlarini tiklashning M.V.Gzovskiy metodi, darzliklar va yer yoriqlarini statistik o'lchovlariga asoslangan P.N.Nikolayev usuli, darzliklardagi kinematik belgilariga asoslangan O.I.Gushchenko metodi, tektonik bloklarning kechki kaynozoydagi umumiy harakat yo'nalishlarini tiklash R.A.Umurzakov metodi qo'llanildi. Dala kuzatuv materiallarini yig'ishda keng doirada strukturaviy geologiya va geologik xaritalash usullari majmuasi, dala tektonofizik kuzatuv usullari qo'llanildi.

Mazkur tadqiqotda hududlarning neotektonik tuzilishi va zamonaviy harakatlanish xususiyatlarini aniqlash maqsadida kompleks, ko'p darajali hamda ierarxik yondashuv qo'llanildi. Tadqiqot metodologiyasi tektonofizik, geodinamik va geodezik ma'lumotlarni o'zaro integratsiyalash asosida shakllantirildi [8]. Ushbu yondashuv turli masshtabdagi tektonik jarayonlarni yagona tizim doirasida tahlil qilish imkonini beradi.

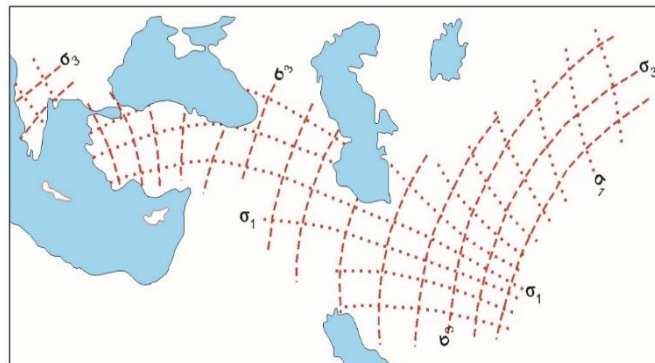
GPS ma'lumotlari asosida deformatsiya tezligi baholandi va u tezlik gradientlari orqali aniqlanadi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta v}{L} \quad (1)$$

bu yerda: ε – deformatsiya tezligi; Δv – tezliklar farqi (gradienti), ya'ni ikki nuqta orasidagi tezlik o'zgarishi; L – masofa (uzunlik), o'lchov olinayotgan ikki nuqta orasidagi masofa.

Tektonofizik yondashuv va nazariy asos. Tadqiqotning nazariy asosini tektonofizika doirasida ishlab chiqilgan kuchlanish-deformatsiya

konsepsiyalari tashkil etadi. Mazkur yondashuvga ko'ra, yer qobig'ida kuzatilayotgan deformatsiyalar kuchlanish maydonlarining natijasi sifatida qaraladi va ular geologik muhitning evolyutsiyasi bilan uzviy bog'liq holda rivojlanadi. Kuchlanish maydonlari yer qobig'idagi strukturaviy elementlarning shakllanishi, yoriqlar tizimi va burmalanish jarayonlarini aniqlovchi asosiy omil sifatida talqin etiladi [10].



1-rasm. Markaziy Osiyo va Kavkaz hududlari uchun birinchi darajali kuchlanish maydoni bosh o'qlari trayektoriyalari sxemasi.

Tektonofizik yondashuv doirasida kuchlanishlar va deformatsiyalar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik, shuningdek, ularning makon va vaqt bo'yicha taqsimlanish qonuniyatlari tizimli tarzda o'rganildi. Bunda geologik muhitdagi strukturaviy geterogenlik, jinslarning fizik-mexanik xususiyatlari hamda tashqi va ichki geodinamik omillarning ta'siri hisobga olindi.

Mazkur tadqiqotda tektodinamik tahlil metodologiyasi qo'llanilib, unda kuchlanish maydonlari, deformatsiya shakllari va tektonik harakatlar yagona o'zaro bog'langan tizim sifatida ko'rib chiqildi. Ushbu yondashuv yer qobig'idagi deformatsion jarayonlarning shakllanish mexanizmini aniqlash, yoriqlar orientatsiyasi va harakat yo'nalishlarini rekonstruksiya qilish imkonini beradi.

Ierarxik tektodinamik modelni qo'llash. Tadqiqotda asosiy metodologik yondashuv sifatida tektodinamik sistemalarning ierarxik modeli qo'llanildi. Mazkur modelga ko'ra, geologik muhit o'zaro bog'langan va turli masshtablarda namoyon bo'luvchi tizimlardan iborat bo'lib, ular global, regional va lokal darajalarda shakllanadi hamda rivojlanadi. Ushbu darajalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir va uzviy bog'liqlik neotektonik jarayonlarning

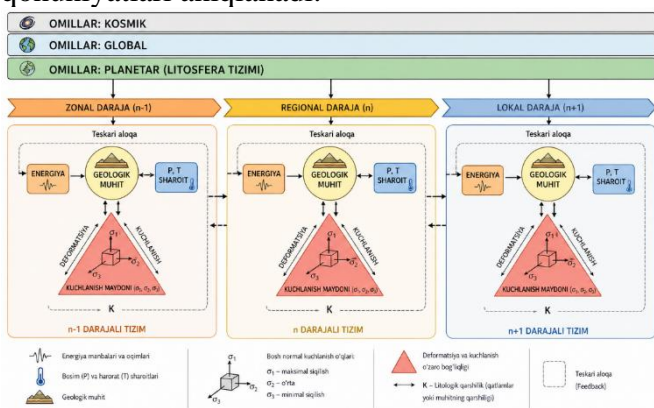
murakkabligini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

1-jadval

Yoriq va reologik parametrlar

Parametr	Sinov diapazoni	O'rtacha reologiya	Yumshoq reologiya
Kontinuum ishqalanish	0.85	0.85	0.85
Yoriq ishqalanishi	0.01–0.85	0.10	0.10
ACREEP qobiq (Pa s ^{-1/n})	2.11·10 ⁶ –2.3·10 ⁹	2.3·10 ⁹	2.3·10 ⁹
ACREEP mantiya (Pa s ^{-1/n})	1.00·10 ⁴ –1.4·10 ⁵	9.5·10 ⁴	1.00·10 ⁴
BCREEP qobiq (K)	4000–8625	4000	4000
BCREEP mantiya (K)	10000–18314	18314	16000
CCREEP qobiq (K m ⁻¹)	0	0	0
CCREEP mantiya (K m ⁻¹)	0.0171	0.0171	0.0171
DCREEP (Pa)	5·10 ⁸	5·10 ⁸	5·10 ⁸
ECREEP = 1/n	0.3333	0.3333	0.3333
TAUMAX (N/m)	1.5·10 ¹² –4.5·10 ¹³	6·10 ¹²	6·10 ¹²

Model doirasida har bir darajada kuchlanish-deformatsiya holatini tavsiflovchi asosiy parametrlar kompleks tarzda hisobga olindi. Jumladan, bosh normal kuchlanish o'qlari ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yo'nalishlari, deformatsiya turlari va ularning intensivligi, tektonik harakatlarning yo'nalishi hamda geodinamik sharoitlar o'rganildi. Ushbu parametrlar asosida geologik muhitda sodir bo'layotgan deformatsion jarayonlarning mexanizmi va ularning makon bo'yicha taqsimlanish qonuniyatlari aniqlanadi.



2-rasm. Tektonosferaning ierarxik tektodinamik modeli.

Ierarxik yondashuv asosida neotektonik jarayonlar uchta asosiy darajada tahlil qilindi. Global darajada litosfera plitalarining o'zaro harakati va ularning to'qnashuvi natijasida yuzaga

keladigan umumiy geodinamik jarayonlar ko'rib chiqildi. Regional darajada orogen zonalar va yirik tektonik bloklarning deformatsiyasi tahlil qilindi. Lokal darajada esa yoriqlar tizimi, ularning kinematik xususiyatlari hamda deformatsiya zonalarining shakllanish mexanizmi o'rganildi.

Mazkur yondashuv turli masshtabdagi tektonik jarayonlarni yagona tizim doirasida ko'rib chiqish, ularning o'zaro bog'liqligini aniqlash va neotektonik tuzilishning shakllanish qonuniyatlarini kompleks baholash imkonini beradi.

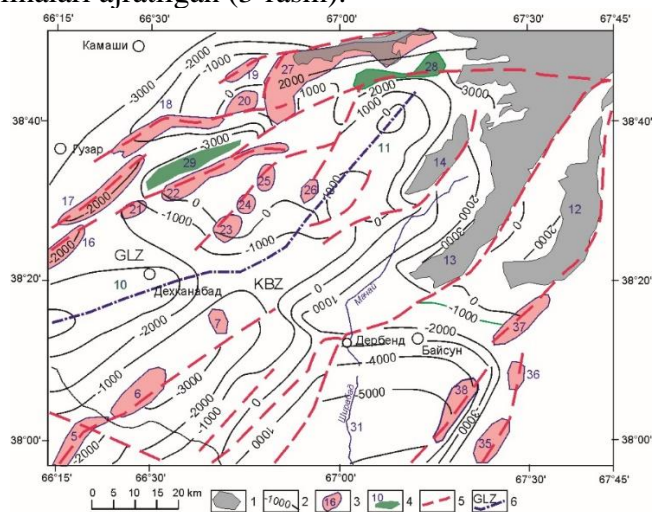
Geodinamik va geodezik ma'lumotlarni tahlil qilish. Hududlarning zamonaviy tektonik harakatlarini aniqlash maqsadida GPS texnologiyalariga asoslangan geodezik ma'lumotlar tahlil qilindi. Ushbu ma'lumotlar yer yuzasi tezlik vektorlari orqali litosferaning deformatsion harakatlari, ularning yo'nalishi va intensivligini aniqlash imkonini beradi. GPS kuzatuvlari asosida olingan tezlik maydonlari neotektonik jarayonlarning hozirgi bosqichdagi faolligini baholashda muhim geodinamik indikator sifatida qaraladi.

Bundan tashqari, seysmik ma'lumotlar bazalari asosida hududning zilzilaviy faolligi kompleks tahlil qilindi. Zilzilalarning gipotsentr chuqurligi, magnitudasi hamda fazoviy taqsimoti neotektonik jarayonlarning rivojlanish darajasi va deformatsiya zonalarining joylashuvini aniqlashda asosiy parametrlar sifatida qabul qilindi. Ushbu ko'rsatkichlar tektonik kuchlanishlarning zamonaviy taqsimlanishi va ularning geologik tuzilmalar bilan bog'liqligini aniqlash imkonini beradi.

Janubi - G'arbiy Hisorning neotektonik o'rganilganligi va tadqiqot vazifalari Neogen - to'rtlamchi davrda tektonik harakatlanish kuchayib turli geologik tuzilmalar hosil bo'lgan va yer yoriqlari bilan kesib o'tilgan. Bularni M.A. Axmedjanov, O.M. Borisov, D.X. Yakubov, Sh.U. Arslanbekov, K.A. Nabiev, A.K. Buxarin, N.P. Kostenko, I.K. Maslennikov, A.K. Pyatkov, V.K. Panasyuchenko, A.V. Tevelev va boshqa tadqiqotchilar o'rganib borgan. Biz barcha tadqiqot ishlaridan faqat mavzuga yaqin bo'lgan tektonika va sesmotektonika to'g'risidagi natijalarga to'xtalib o'tamiz.

V.M. Seysler bu yerdagi tektonik elementlarni asosiy ikki zonaga ajratgan – Kugitang - Boysun zonasi (KBZ) va G'uzor – Langar (GLZ). Ularning chegarasi 3- rasmda nuqtali - uzuqli chiziq

yordamida belgilangan. Kugitang - Boysun burmali zona janubiy va shimoliy qismlardan iborat. Janubiy qismda Kugitan, Aynabuloq antiklinallari, Gaurdak - Tyubegatan antiklinallar guruhi - Gaurdak, Kokmiyar (bular tadqiqot maydoni chegarasidan janubroqda joylashgan), Lyalimkan (5), Tyubegatan (6), Kansay (7) ko'tarilmalari ajratilgan. Kugitang-Boysun zonaning shimoliy qismida Surxontog' (12), Boysuntog' (13), Chakchar (14) ko'tarilmalari, Dexqonobod (10) va Egrisuv (11) sinklinalari ajratilgan (3-rasm).

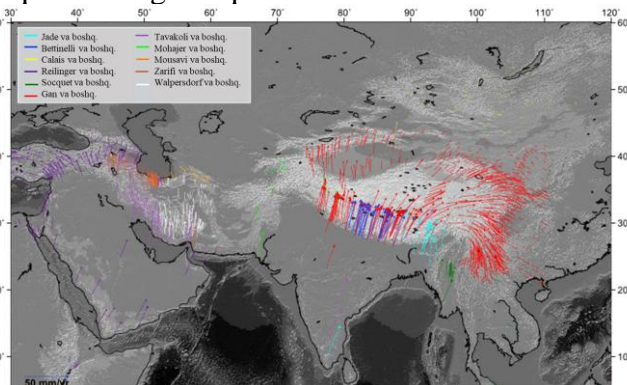


3-rasm. Janubi - G'arbiy Hisorning V.M.Seysler [51] tomonidan tuzilgan strukturaviy-tektonik xaritasi:

1- tomezozoy hosilmalarining yer yuziga chiqishi, 2 - cho'kindi yotqiziqalar ostidagi poydevor yuzasining izogipsalari (kesimi 1000 metrdan), 3 - mezozoy-kaynozoy cho'kindi qoplamada aksini topgan lokal antiklinal ko'tarilmalar, 4 - lokal egikliklar, 5- poydevordagi yirik sinish chiziqlari (uzilmalar), 6 - turli morfologik shaklga ega zonalar chegarasi (GLZ - G'uzor - Langar zonasi, KBZ - Kugitang-Boysun zonasi).

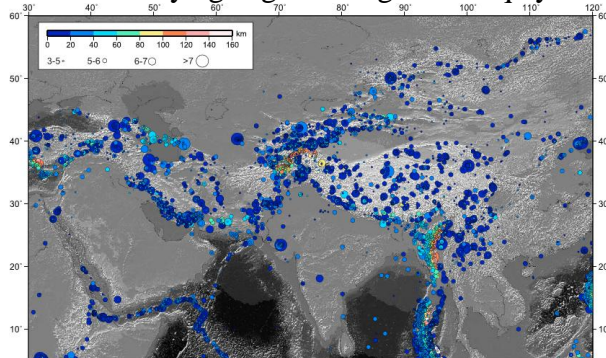
G'uzor - Langar burmalar guruhiga (tadqiqot maydoni ichida) Belesiyaynak (16), Karail (17), Omonota (18), Toshgissar (19), Langar (20), Gumbuloq (21), Kulqamish (22), Bobosurxon (23), Kantau (24), Gauxon (25), Qorasirt (26), Eshak Maydon (27) antiklinallari, Qizildaryo (28), Shorg'uzor (29) sinklinalari kiritilgan (1.8-rasm). Sherobod burmalar guruhi sifatida Boysun (31) sinklinali, Bayongora (35), Oqkapchigay (36), Gadjak (37), Xo'jaipak (38) antiklinallari ajratilgan. Xaritada maydondagi poydevorni sindirib kesgan asosiy yoriqlar o'tish joylari qizg'ich rangda belgilangan (3 - rasm).

Natijalar. Mazkur tadqiqotda geodinamik, geodezik va tektonofizik ma'lumotlar asosida hududlarning neotektonik tuzilishi hamda zamonaviy deformatsiya jarayonlari kompleks tarzda baholandi. GPS kuzatuvlari asosida aniqlangan yer yuzasi tezlik vektorlari litosferaning hozirgi harakat yo'nalishlari va deformatsiya intensivligini aniqlash imkonini berdi. Olingan natijalar Arabiston va Hindiston plitalarining Yevrosiyo bilan konvergentsiyasi natijasida keng miqyosli siqilish zonalari shakllanganligini ko'rsatdi. Ayniqsa, Himolay-Tibet va Zagros hududlarida yuqori tezlik gradientlari kuzatilib, bu zonalarda deformatsiya jarayonlari intensivligi yuqori ekanligi aniqlandi.



4-rasm. Yevrosiyo referens tizimida GPS tezlik vektorlari va deformatsiya maydoni.

Yuqoridagi rasmda (4-rasm) da ko'rsatilganidek, tezlik vektorlari Himolay zonasi bo'ylab konvergentsiyani aniq ifodalaydi. Shu bilan birga, deformatsiya faqat plitalar chegaralari bilan cheklanib qolmay, balki Markaziy Osiyo hududining ichki qismiga ham tarqalganligi qayd etildi, bu esa deformatsiyaning ko'p darajali va ierarxik xususiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

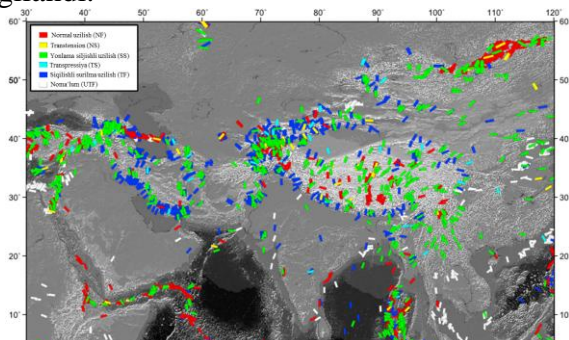


5-rasm. Yevrosiyo hududida zilzilalar ($M > 3$) taqsimoti: gipotsentr chuqurligi va magnituda bo'yicha xarakteristikasi.

Seysmik ma'lumotlar tahlili hududlarda neotektonik faollikning fazoviy taqsimotini aniqlash imkonini berdi. Zilzilalar asosan yirik tektonik chegaralar, orogen zonalar va faol yoriqlar tizimlari bilan bog'langanligi kuzatildi.

Gipotsentr chuqurligi va magnitudasi bo'yicha tahlillar shuni ko'rsatdiki, chuqur fokusli zilzilalar subduksiya jarayonlari bilan, sayoz zilzilalar esa qobiq darajasidagi deformatsiyalar bilan bog'liq. Markaziy Osiyo hududida o'rta chuqurlikdagi zilzilalarning ustunligi deformatsiya energiyasining bosqichma-bosqich taqsimlanishini ifodalaydi.

Kuchlanish maydonlari tahlili asosida hududlarda turli tektonik rejimlarning shakllanishi aniqlandi. Global stress ma'lumotlari asosida siqilishli, normal va yonlama siljishli deformatsiya rejimlari ajratilib, ularning hududiy taqsimoti belgilandi.



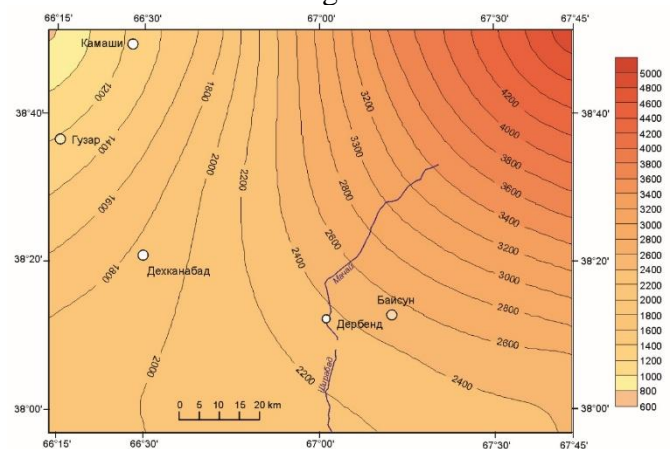
6-rasm. World Stress Map asosida global kuchlanish maydoni va tektonik rejimlarning fazoviy taqsimoti.

Markaziy Osiyoda asosan siqilish va yonlama siljishli deformatsiya ustunligi qayd etildi. Olingan natijalar ierarxik tektodinamik model doirasida umumlashtirildi. Olingan natijalar oldingi tadqiqotlar bilan umumiy moslikka ega bo'lsa-da, ushbu ishda deformatsiya jarayonlari ierarxik tizim sifatida talqin qilinishi bilan farqlanadi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, global darajada plitalar konvergentsiyasi asosiy harakatlantiruvchi omil bo'lib xizmat qiladi, regional darajada orogen zonalar deformatsiyaning asosiy markazlari sifatida namoyon bo'ladi, lokal darajada esa yoriqlar tizimi orqali deformatsiya energiyasi qayta taqsimlanadi.

Neotektonik harakatlar va deformatsiyalarining birinchi darajali tarkibiy qismlari ulushlarining tavsifi. Yuqorida tariflangan Janubi - G'arbiy Hisorning zamonaviy

tektonik tuzilishini ifodalagan xarita neotektonik harakatlarning turli darajadagi tarkibiy qismlarini ajratish uchun birlamchi material bo'lib xizmat qildi. Rutbali xaritalarni tuzish metodikasi maxsus bobda keltirilgan. Shu bois metodikaga batafsil to'xtalib o'tirmaymiz. Faqat ayrim jihatlarini eslatib o'tamiz. Neotektonik harakatlarning darajali xaritalarini tuzishda P.N.Nikolayevning dekompozitsiya (parchalash) usuli (P.N.Nikolaev, 1992) [11] ishlatilgan.

U oxirgi tektonik harakatlarning asl xaritasidagi ma'lum bir maydonchaga to'g'ri kelgan harakat amplituda qiymatlarini bosqichma - bosqich o'rtacha miqdori hisoblanadi va maydoncha o'rtasiga yozildi. Raqamlar maydoni hosil bo'lgach izochiziqlar o'tkazildi. Tegishli rutba xaritasini chizish uchun hisob maydonchasining tegishli kattaligi olinadi. Birinchi rutbaga tegishli xaritani aniqlash uchun maydoncha kattaligi 1:500 000 miqyosli xaritada 9 sm x 9 sm) 4,5 x 45 km² ni tashkil etdi. Birinchi darajali neotektonik harakatlar xaritasi 7-rasmda keltirilgan.



7-rasm. Janubi - G'arbiy Hisorning birinchi darajali neotektonik harakatlar xaritasi. (Masshtab: 1: 200 000).

Xaritadan ko'rinib turganidek butun hudud neotektonik davrda yuqoriga qarab harakatlangan. Maksimal amplituda shimoli-sharqiy qismida (Xodjapir tog'lari yaqinida) kuzatiladi, bu erda maksimal amplitudasi 4600 - 4800 metrni tashkil qiladi. Umumlashtirilgan (barcha rutbali) harakatlari umumiy xaritasida maksimal amplituda qiymati (darajalarga parchalanmagan holatda) 5800 - 6000 metrni tashkil qiladi. Birinchi darajali harakatlarning o'zgarishi (amplituda qiymatining)

– janubi - g‘arbiy va shimoli-g‘arbiy tomonda umumiy pasayishi kuzatiladi [18; 6-bet.].

Xulosa. 1. Mazkur tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, Markaziy Yevrosiyo hududida neotektonik jarayonlar murakkab, ko‘p darajali va o‘zaro bog‘langan tizim sifatida namoyon bo‘ladi. GPS, seysmik va geodinamik ma‘lumotlar integratsiyasi asosida aniqlanishicha, deformatsiya jarayonlari faqat plitalar chegaralarida emas, balki ularning ichki hududlarida ham keng tarqalgan bo‘lib, ayniqsa Himolay–Tibet va Zagros zonalarida yuqori intensivlik bilan kechadi. Olingan natijalar deformatsiya maydonining fazoviy taqsimoti, tezlik gradientlari va kuchlanish rejimlari o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlikni ilmiy jihatdan asoslab berdi.

2. Tadqiqotda qo‘llanilgan ierarxik tektonik model neotektonik jarayonlarni global, regional va lokal darajalarda yagona tizim sifatida tahlil qilish imkonini berdi. Ushbu yondashuv asosida global darajada plitalar konvergentsiyasi asosiy harakatlantiruvchi omil ekanligi, regional darajada orogen zonalar deformatsiyaning asosiy markazlari sifatida shakllanishi, lokal darajada esa yoriqlar tizimi orqali deformatsiya energiyasi qayta taqsimlanishi aniqlandi. Natijada, mazkur ish neotektonik jarayonlarni kompleks va tizimli o‘rganish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi hamda kelgusidagi geodinamik tadqiqotlar uchun

muhim nazariy va amaliy ahamiyatga ega.

3. Janubi - G‘arbiy Hisor bo‘yicha avvalgi ma‘lumotlarni hisobga olgan xolda zamonaviy texnologiyalar yordamida umumlashirilgan neotektonik xarita tuzildi, bular deformatsiyalarining izochizikli xaritasi (1:500 000) hamda turli darajadagi yer yoriqlari xaritasi (1:500 000). Bularda tektonik tuzilmalarining aniqlashtirilgan strukturaviy shakllari, yoriqlarning morfologik shakllari hamda avvalgi xaritalarda ifodasini topmagan siljish alomatlari bilan namoyon bo‘lgan ko‘ndalang yer yoriqlari aksini topgan.

4. Tizimli yondashuv asosida o‘rganilayotgan hudud uchun uchta rutbalarga tegishli birinchi, ikkinchi va uchinchi darajali neotektonik harakat va deformatsiyalar xaritalari tuzildi. Har bir daraja uchun strukturaviy kinematik xususiyatlari aniqlandi va ta‘riflandi. Birinchi darajadagi xaritada hududning shimoli - sharq tomonida shimoli - sharqqa yo‘nalgan yirik megaantiklinoriyning fragmenti namoyon bo‘lgan. Maksimal amplitudasi 4800 metrdan ziyod. Ikkinchi darajadagi xaritada shimoli - sharqdan janubi - g‘arbga cho‘zilgan yirik yagona megantiklinal Boysun - Kugitang ko‘tarilmasi ajratilgan. Uning maksimal amplitudasi 2500 metr, shimoli - g‘arb va janubi - sharq qismlari amplitudasi - 500 dan -1500 metrgacha botiqlik.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3), 1027–1050. <https://doi.org/10.1029/2001GC000252>
- [2] Bürgmann, R., & Dresen, G. (2008). Rheology of the lower crust and upper mantle: Evidence from rock mechanics, geodesy, and field observations. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 531–567. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124326>
- [3] Fodor, L., Csontos, L., Bada, G., Györfi, I., & Benkovics, L. (1999). Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens: A new synthesis of palaeostress data. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 295–334. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.15>
- [4] Heidbach, O., Rajabi, M., Cui, X., Fuchs, K., Müller, B., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Wenzel, F., Xie, F., & Ziegler, M.-O. (2018). The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744, 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
- [5] Jiménez-Munt, I., Fernández, M., Saura, E., Vergés, J., & García-Castellanos, D. (2012). 3D lithospheric structure and regional/residual Bouguer anomalies in the Arabia–Eurasia collision zone. *Tectonophysics*, 560–561, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.018>
- [6] Tunini, L., Jiménez-Munt, I., Fernández, M., Vergés, J., Villaseñor, A., & Meléndez, A. (2016). Geodynamic modeling of the Gibraltar Arc system: Implications for the orogenic evolution. *Tectonophysics*, 663, 36–53. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.08.003>


- [7] Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5), B05411. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- [8] Bettinelli, P., Avouac, J.-P., Flouzat, M., Jouanne, F., Bollinger, L., Willis, P., & Chitrakar, G. R. (2006). Plate motion of India and interseismic strain in the Nepal Himalaya from GPS and DORIS measurements. *Journal of Geodesy*, 80(8–11), 567–589. <https://doi.org/10.1007/s00190-006-0030-3>
- [9] Abdurahmonov, A. A., & Rasulov, B. B. (2010). O‘zbekiston hududining neotektonik rivojlanishi va seysmik faolligi. *Fan*.
- [10] Turcotte, D. L., & Schubert, G. (2014). *Geodynamics* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843877>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Dononov, J. U., & Shamsidinova, G. U. (2026). Hududlarning neotektonik tuzilishi va harakatini o‘rganishda ierarxik tektodinamik model asosidagi metodologik yondashuv. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.20>

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО
CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

UDC: 666.1:666.29

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.5

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF LOW-
TEMPERATURE FUSIBLE ENAMEL COMPOSITIONS BASED ON THE
“KHIVA QUARTZ SAND – SULTAN UVAYS FELDSPAR – LEAD-
CONTAINING WASTE” SYSTEM



Buranova Dinara Baxtiyarovna

Associate Professor of the Department of Chemical Technologies, PhD in Technical Sciences, Urgench State University named after Abu Rayhan Beruni, Urgench, Uzbekistan

E-mail: dinaraboranova@gmail.com

ORCID ID: 0000-00015403-268x

Science ID: FXR-0326-0028

Abstract. This article presents the results of research on the development of low-temperature fusible glass enamel compositions based on Khiva quartz sand, Sultan Uvays feldspar, and lead-containing industrial waste, as well as the investigation of their physicochemical and technological properties. Based on experimental studies, GEF-1, GEF-2, and GEF-3 compositions were developed, and their coefficient of linear thermal expansion, spreading ability, adhesion strength, density, and softening temperature were determined. The results showed that the GEF-3 composition fully complies with the requirements of GOST 24405-80.

Keywords: glass enamel, frit, quartz sand, feldspar, lead-containing waste, coefficient of thermal expansion, physicochemical properties, low-temperature enamel.

Received: 05.05.2026

Accepted: 15.05.2026

Published: 29.06.2026

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛЕГКОПЛАВКИХ
ЭМАЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ «ХИВИНСКИЙ
КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК – ПОЛЕВОЙ ШПАТ СУЛТАН-УВАЙС –
СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ»

Буранова Динара Бахтияровна

Доцент кафедры химических технологий, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Ургенчский государственный университет имени Абу Райхана Беруни, Ургенч, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований по разработке легкоплавких стеклоэмалевых композиций на основе кварцевого песка Хивинского месторождения, полевого шпата Султан-Увайс и свинецсодержащих промышленных отходов, а также изучению их физико-химических и технологических свойств. На основе экспериментальных исследований были разработаны составы GEF-1, GEF-2 и GEF-3, определены коэффициент линейного термического расширения, растекаемость, прочность сцепления, плотность и температура размягчения. Установлено, что состав GEF-3 полностью соответствует требованиям ГОСТ 24405-80.

Ключевые слова: стеклоэмаль, фритта, кварцевый песок, полевой шпат, свинецсодержащие отходы, коэффициент термического расширения, физико-химические свойства, легкоплавкая эмаль.

“XIVA KVARIS QUMI – SULTON UVAYS DALA SHPATI – QO‘RG‘OSHINLI CHIQUINDI” TIZIMI ASOSIDA PAST HARORATDA SUYUQLANUVCHI EMAL KOMPOZITSIYALARINI ISHLAB CHIQUISH VA XOSSALARINI TADQIQ ETISH

Buranova Dinara Baxtiyarovna

*Urganch davlat universiteti Abu Rayhon Beruniy nomidagi, “Kimyoviy texnologiyalar” kafedrasi dotsenti, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
Urganch, O‘zbekiston*

Аннотация. Mazkur maqolada Xiva koni kvars qumi, Sulton Uvays dala shpati va qo‘rg‘oshin saqlovchi sanoat chiqindilari asosida past haroratda suyuqlanuvchi shisha emal kompozitsiyalarini ishlab chiqish va ularning fizik-kimyoviy hamda texnologik xossalarini tadqiq etish natijalari keltirilgan. Tajribalar asosida GEF-1, GEF-2 va GEF-3 tarkiblari ishlab chiqilib, ularning termik kengayish koeffitsienti, yoyilish darajasi, yopishish mustahkamligi, zichligi va yumshash harorati aniqlangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, GEF-3 tarkibi GOST 24405-80 talablariga to‘liq javob berishi aniqlangan.

Калит so‘zlar: shisha emal, fritta, kvars qumi, dala shpati, qo‘rg‘oshinli chiqindi, termik kengayish koeffitsienti, fizik-kimyoviy xossalar, past haroratli emal.

Introduction. The glass products manufacturing industry is one of the key sectors of the national economy worldwide. It consumes substantial amounts of raw materials, energy, and labor resources, which in turn determines the development level of the economy's core branches. Accordingly, the efficiency of the glass industry depends directly on the rational and economical use of these resources.

Rapid urban and industrial development has made metal structures among the most widely used materials in construction. Among these, enameled metal products based on iron are of particular importance. As petroleum prices continue to rise, the cost of corrosion-resistant materials derived from it also increases. Glass enamels have thus gained wide adoption as an alternative corrosion-resistant coating. Enameled metal surfaces offer

advantages such as smoothness and durability, making them applicable not only in the construction sector but also in the food industry, pharmaceuticals, and other branches of the national economy.

Glass enamel samples were studied in accordance with the technical requirements of GOST R 52569-2018 (Frits. Technical Specifications) [1]. This research aims to make effective use of locally available raw material resources in Uzbekistan and to substitute imported products with domestically manufactured alternatives. In earlier studies [2–10], the authors investigated compositions of glass enamels for glass surfaces using Khiva deposit feldspathic quartz sands [11], Sultan Uvays deposit feldspar [12], lead-containing waste from zinc processing, and other local raw materials [13]. The influence of siliceous

raw materials and alkaline earth metal oxides from the Khorezm region was examined in the course of these investigations.

Research Methods. The coefficient of linear thermal expansion (CLTE) of the glass enamel samples was determined by calculation, based on the methods specified in GOST R 52569-2018 and GOST 24405-80. The CLTE was calculated using the following formula:

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i \times m_i}{100}; \quad (1)$$

where α_i is the coefficient of linear thermal expansion of the oxide or component in the frit composition over the temperature range of 20–400 °C (°C⁻¹); m_i is the molar fraction of each component (%).

Surface spreading of the samples was evaluated by selecting a standard enamel frit reference sample. Frit materials were placed on metal plates that had been washed with distilled water and dried, and the spreading lengths were measured before and after holding at 860 ± 5 °C for 15 minutes. The spreading value was calculated using the formula:

$$L = \frac{l_u}{l_{CO} \times l_{\alpha'}}; \quad (2)$$

where l_u – is the spreading length of the test frit sample (mm); l_{CO} – is the spreading length of the standard reference sample (mm); $l_{\alpha'}$ – is the pre-determined spreading length of the standard reference sample (mm).

Chemical resistance of the samples to atmospheric conditions was assessed visually by monitoring changes upon exposure to drops of 10% citric acid solution. Surface microstructure was studied using a EM-5 electron microscope with the carbon plate technique. Microhardness was measured with a PMT-3 instrument at loads of 0.196 and 0.49 N [14].

Table 1.

Chemical composition of raw materials used for producing enamel coatings on glass surfaces

Sample name	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	PbO	ZnO	SO ₂	LOI, wt. %
HFQS	97.04	1.25	0.10	0.21	0.10	0.13	0.40	–	–	–	0.77
SUF	74.08	13.64	0.05	0.55	0.30	9.01	1.56	–	–	–	0.60
LW	2.40	0.68	3.58	1.93	0.49	3.77	36.10	6.10	18.3	26.65	–

Chemical Composition of Raw Materials.

For developing the experimental glass frit compositions, Khiva deposit feldspathic quartz sand (HFQS), Sultan Uvays deposit feldspar (SUF), and lead waste (LW) were selected as primary raw material components (Table 1). Boron, titanium,

and nickel oxides were added in chemically pure reagent form.

Development of Batch Compositions and Sample Preparation. Based on a review of the relevant literature, low-melting glass enamel compositions in the “quartz sand – feldspar – industrial waste” system were investigated. As a reference, the chemical composition (wt.%) prescribed by GOST 24405-80 for grade “ESG-31” (borate type) was adopted: SiO₂ – 45-52; Al₂O₃ – 5-7; Fe₂O₃ – <3; CaO – <7; Na₂O + K₂O – 16-20; B₂O₃ – 13-18; TiO₂ – <5; NiO – 0.5-3; CoO – 0.2-0.8.

Several compositions were prepared, and following comparative evaluation, three optimal batch compositions GEF-1, GEF-2, and GEF-3 were selected (Table 2).

Table 2.

Batch compositions prepared for producing glass enamel from the studied raw materials (wt.%)

No.	Raw material	GEF-1	GEF-2	GEF-3
1	Khiva quartz sand	31.00	28.00	25.00
2	Sultan Uvays feldspar	29.00	29.00	29.00
3	Lead waste	6.00	8.00	10.00
4	Calcined soda	20.00	20.00	20.00
5	Boron oxide	14.00	15.00	16.00
Total (Σ, wt.%)		100	100	100

Na₂O was introduced into the glass batch through calcined soda. B₂O₃, TiO₂, and NiO were introduced as chemically pure reagents. TiO₂ and NiO were added at 5 wt.% and 2 wt.%, respectively, relative to the total mass. The resulting chemical composition of the developed enamel batches for glass surfaces is presented in Table 3.

Table 3.

Chemical composition of the developed enamel batch compositions for glass surfaces

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	ZnO	PbO	B ₂ O ₃	SO ₂
GEF-1	51.74	4.45	2.70	12.11	0.37	0.17	0.27	0.37	2.17	13.72	1.10
GEF-2	48.88	4.43	2.69	12.18	0.41	0.18	0.34	0.49	2.89	14.70	1.46
GEF-3	46.02	4.41	2.69	12.24	0.44	0.19	0.41	0.61	3.61	15.68	1.83

Sample Preparation and Test Results. Each component was weighed out at 1 kg and glass enamel batch compositions were prepared according to the specified formulations. Samples were fused in unglazed corundum crucibles at 1200°C with a 45-minute hold. The resulting glass melt was first quenched in a water bath at room temperature, then allowed to cool freely for 12 hours. The visual characteristics of the glass enamel samples are presented in Table 4 and Figure 1.

Table 4.
Visual characteristics of the obtained glass enamel samples

Visual characteristics	GEF-1	GEF-2	GEF-3
Degree of fritting	Moderate	Good	High
Number of bubbles in fused glass, pcs. (per 1 cm ²)	7	4	None
Number of undissolved inclusions, pcs. (per 1 cm ²)	5	3	None

Visual inspection revealed that the sample produced from the GEF-3 experimental composition outperformed the others in terms of fritting degree and visual quality — no undissolved inclusions or bubbles were observed per 1 cm² of surface area (Figure 1).

To address the defects observed in GEF-1 and GEF-2, additional samples were prepared and compared at temperatures above 1200 °C and with firing durations ranging from 45 to 60 minutes. Based on the results, firing at 1200 °C for 45 minutes was identified as the optimal condition.

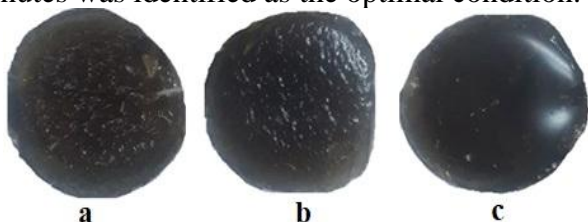


Fig.1. Visual appearance of glass enamel frit samples

a – GEF-1; b – GEF-2; c – GEF-3

Table 5.
Technological properties of the obtained samples

No.	Technological property	GOST 24405-80	GEF-1	GEF-2	GEF-3
1	CLTE, $\alpha \times 10^{-7}, ^\circ\text{C}^{-1}$	95–105	91.5	94.2	97.4
2	Spreading on surface, mm	30–40	31	33	36
3	Adhesion strength, score	–	4	4	5

Technological and Physical Properties. The technological properties of the glass enamel frit

samples for glass surfaces were determined in accordance with GOST 24405-80, and the results are summarized in Table 5.

Analysis of the table shows that GEF-3 best satisfies the requirements of GOST 24405-80: CLTE of $97.4 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, spreading of 36 mm, and an adhesion strength score of 5.

The key physical properties of the glass enamel frit samples were also determined, and the results are given in Table 6.

Table 6.
Physical properties of the experimental glass enamel frit samples

Physical property	GEF-1	GEF-2	GEF-3
Density, g/cm ³	2.91	2.94	2.98
Refractive index	1.62	1.66	1.71
Softening temperature, °C	601	579	552
Mass loss in chemical medium, wt. %	0.26	0.27	0.27

Conclusions. Based on the results of the study, the following conclusions were drawn:

1. Three glass enamel frit compositions (GEF-1, GEF-2, GEF-3) were developed within the “Khiva quartz sand - Sultan Uvays feldspar - lead waste” system.

2. The GEF-3 composition (Khiva quartz sand 25 wt.%, Sultan Uvays feldspar 29 wt.%, lead waste 10 wt.%, calcined soda 20 wt.%, boron oxide 16 wt.%) fully complies with the requirements of GOST 24405-80.

3. No visual defects (bubbles or undissolved inclusions) were detected in GEF-3. The sample exhibited a CLTE of $97.4 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, spreading of 36 mm, density of 2.98 g/cm³, and a softening temperature of 552 °C.

4. The optimal firing condition was determined to be 1200 °C with a 45-minute hold.

REFERENCES


- [1] GOST R 52569-2018. (2018). Frits. Technical specifications. Moscow: Standartinform.
- [2] Buranova, D. B., Babaev, Z. K., Matchanov, Sh. K., Karimov, Sh. X., & Kurbanova, R. S. (2019). Glass formation with CaO, MgO and BaO in the system SiO₂-B₂O₃-Na₂O and their effect on some properties. International Journal of Bio-Science and Bio-Technology, 11(7), 166–172.
- [3] Buranova, D. B., Yunusov, M. Y., Babaev, Z. K., Matchanov, Sh. K., & Matchanov, Sh. Sh. (2022). On the use of cobalt-containing metallurgical waste to obtain colored glass and glass enamel. Glass and Ceramics, 79(7–8), 300–305.

- [4] Буранова, Д. Б., Бабаев, З. К., Матчанов, Ш. К., Хакимова, Г. Н., & Хакимов, М. С. (2016). Использование некоторых минеральных ресурсов Узбекистана в качестве мельничных добавок. В Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы инновационных технологий в развитии химической, нефте-газовой и пищевой промышленности» (Ч. I, сс. 296–297). Ташкент.
- [5] Буранова, Д. Б., Бабаев, З. К., Матчанов, Ш. К., & Курбанова, Р. С. (2019). Синтез легкоплавких стекол на основе минерального сырья Узбекистана для эмалирования стали. *Universum: технические науки*, 4(61).
- [6] Буранова, Д. Б., Бабаев, З. К., Матчанов, Ш. К., & Матчанов, Ш. Ш. (2022). Ўзбекистонда шиша эмаллар ишлаб чиқаришни ташкил этиш ва уни ривожлантириш истиқболлари. В Комплекс бирикмалар кимёси ва аналитик кимё фанларининг долзарб муаммолари (2-қисм, бб. 338–339). Термиз.
- [7] Буранова, Д. Б., Бабаев, З. К., Матчанов, Ш. К., Аташев, Э. А., & Казаков, У. (2017). Инновационная технология получение стекломозаичных плит. В Кимё саноатида инновацион технологиялар ва уларни ривожлантириш истиқболлари (1-жилд, бб. 116–117). Урганч.
- [8] Буранова, Д. Б., Бабаев, З. К., Матчанов, Ш. К., Хаджиев, А. Ш., & Атаева, Ф. А. (2017). Состав и лабораторная апробация получения стекловидной покрытий для майолики. В Кимё саноатида инновацион технологиялар ва уларни ривожлантириш истиқболлари (1-жилд, бб. 120–121). Урганч.
- [9] Buranova, D. B. (2017). Metall yuzalari uchun silikat emal olish texnologiyasi. В Кимё саноатида инновацион технологиялар ва уларни ривожлантириш истиқболлари (1-жилд, бб. 122–123). Урганч.
- [10] Буранова, Д. Б., Юнусов, М. Ю., Бабаев, З. К., Матчанов, Ш. К., & Искандаров, О. Д. (2017). Стеклоэмалевые покрытия для эмалирования хозяйственно-кухонной посуды. В *Konmetallurgiya majmuasi: yutuqlar, muammolar va rivojlantirishning zamonaviy istiqbollari* (б. 468). Навоий.
- [11] Buranova, D. B. (2027). Main characteristics of quartz-feldspar sands from the Khiva deposit, and the physico-chemical and technological fundamentals of obtaining an enriched concentrate. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 340(1), 37–44. <https://doi.org/10.31643/2027/6445.04>
- [12] Buranova, D., Matchanov, Sh., & Atashev, E. (2025). Physicochemical and mineralogical characterization of Sultan Uwais feldspar for sustainable glass manufacturing in earth and environmental sciences. *E3S Web of Conferences*, 633, 06001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202563306001>
- [13] Buranova, D. B., Atashev, E. A., Matchanov, Sh. K., & Kurambaev, Sh. R. (2024). Opportunities to obtain glass enamel frits based on the raw materials of the Lower Amudarya Region. In *Proceedings of the 6th International Conference on Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering Autumn Season (CONMECHYDRO 2024)* (pp. 253–258). <https://doi.org/10.5220/0013533100004644>
- [14] GOST 24405-80. (1980). Silicate enamels (frits). Technical specifications. Moscow.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Buranova, D. B. (2026). DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF LOW-TEMPERATURE FUSIBLE ENAMEL COMPOSITIONS BASED ON THE “KHIVA QUARTZ SAND – SULTAN UVAYS FELDSPAR – LEAD-CONTAINING WASTE” SYSTEM. *Digital Technologies in Industry*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.5>

UO‘K: 544.723:628.35:665.6.7

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.24

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ADSORBSIYA JARAYONIGA PH, KONTAKT VAQTI, SORBENT MIQDORI VA BOSHLANG‘ICH KONSENTRATSIYA TA‘SIRINI O‘RGANISH



Turdiyev Jasurbek
Qahramon o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti,
“Ekologiya va atrof-muhit
muhofazasi” kafedrasida doktoranti,
Qarshi, O‘zbekiston
Science ID: MQD-0226-0063



Kuyboqarov Oybek
Ergashevich

Qarshi davlat texnika universiteti,
“NGI va UQIT” kafedrasida dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
Science ID: FQD-0526-0071



Panjiyev Ulug‘bek
Rustamovich

Kimyo fanlari bo‘yicha falsafa
doktori (PhD), Qarshi xalqaro
universiteti rektori, Qarshi,
O‘zbekiston
Science ID: FQD-0226-0045

Annotatsiya. Ushbu maqolada adsorbsiya jarayonining samaradorligiga ta‘sir etuvchi asosiy omillar, jumladan eritma pH muhiti, kontakt vaqti, sorbent miqdori hamda adsorbatning boshlang‘ich konsentratsiyasi tahlil qilingan. Adsorbsiya oqova suvlar, neft mahsulotlari, og‘ir metall ionlari va organik ifloslantiruvchilarni tozalashda samarali usullardan biri sifatida baholangan. Jarayon samaradorligiga sorbentning fizik-kimyoviy xossalari, massa almashinish jarayoni va muvozanat holati ta‘siri yoritilgan. Shuningdek, adsorbsiya izotermalari, kinetik modellar va tajribalarni rejalashtirish usullari ilmiy asosda bayon etilgan.

Kalit so‘zlar: adsorbsiya, pH, kontakt vaqti, sorbent miqdori, boshlang‘ich konsentratsiya, oqova suv, neft mahsulotlari, og‘ir metall ionlari, Langmuir izotermasi, Freundlich izotermasi, adsorbsiya kinetikasi.

Received: 20.05.2026

Accepted: 26.06.2026

Published: 29.06.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ PH, ВРЕМЕНИ КОНТАКТА, КОЛИЧЕСТВА СОРБЕНТА И НАЧАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ПРОЦЕСС

АДСОРБЦИИ

Турдиев Жасурбек
Кахрамон угли

Каршинский государственный
технический университет,
докторант кафедры «Экология и
охрана окружающей среды»,
Карши, Узбекистан

Куйбокаров Ойбек
Эргашевич

Каршинский государственный
технический университет,
доцент кафедры «НГИ и УКИТ»,
Карши, Узбекистан

Панджиев Улугбек
Рустамович

Доктор философии (PhD) по
химическим наукам, ректор
Каршинского международного
университета, Карши,
Узбекистан

Аннотация. В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность процесса адсорбции, включая pH раствора, время контакта, количество сорбента и начальную концентрацию адсорбата. Адсорбция представлена как один из наиболее эффективных методов очистки сточных вод, нефтесодержащих вод, ионов тяжёлых металлов и органических загрязнителей. Проанализировано влияние физико-химических свойств сорбента, процессов массопереноса и условий достижения равновесия на эффективность очистки. Кроме того, при-

ведены научные основы изотерм адсорбции, кинетических моделей и методов планирования эксперимента.

Ключевые слова: адсорбция, pH, время контакта, количество сорбента, начальная концентрация, сточные воды, нефтепродукты, ионы тяжёлых металлов, изотерма Ленгмюра, изотерма Фрейндлиха, кинетика адсорбции.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PH, CONTACT TIME, SORBENT DOSAGE, AND INITIAL CONCENTRATION ON THE ADSORPTION PROCESS

**Turdiyev Jasurbek
Kahramon ugli**

Karshi State Technical University,
Doctoral Student of the Department
of Ecology and Environmental
Protection, Karshi, Uzbekistan

**Kuybokarov Oybek
Ergashevich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of NGI and UQIT,
Karshi, Uzbekistan

**Panjiev Ulugbek
Rustamovich**

PhD in Chemical Sciences, Rector
of Karshi International University,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. This paper investigates the main factors affecting the adsorption process, including solution pH, contact time, sorbent dosage, and the initial concentration of the adsorbate. Adsorption is considered one of the most effective methods for removing pollutants from wastewater, oil-contaminated water, heavy metal ions, and organic contaminants. The influence of the physicochemical properties of the sorbent, mass transfer mechanisms, and equilibrium conditions on adsorption efficiency is discussed. In addition, adsorption isotherms, kinetic models, and experimental design approaches are presented to evaluate and optimize the adsorption process.

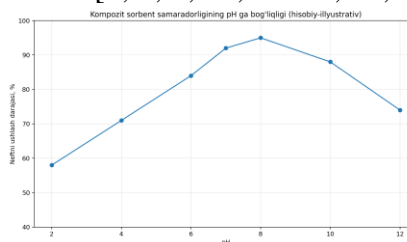
Keywords: adsorption, pH, contact time, sorbent dosage, initial concentration, wastewater, petroleum products, heavy metal ions, Langmuir isotherm, Freundlich isotherm, adsorption kinetics.

Kirish. Eritmaning pH qiymati sorbent yuzasining zaryadi, emulsiya tomchilarining elektrokinetik potentsiali hamda sirt faol moddalarning ionlanish darajasiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, neytral yoki kuchsiz ishqoriy muhitda sorbentning neft tomchilarini ushlab qolish qobiliyati yuqori bo'ladi. Bunday sharoitda sorbent yuzasining namlanishi va tomchilarning koalesensiyasi uchun qulay muhit hosil bo'ladi. Aksincha, kuchli kislotali muhit emulsiyaning barqarorligini oshirsa, yuqori ishqoriy muhitda sovunlanish jarayoni va sorbent yuzasining ortiqcha gidrofillanishi kuzatilishi mumkin.

Adsorbsiya jarayonida kontakt vaqti ortishi bilan dastlab faol markazlar tez to'yinadi, keyinchalik esa adsorbatning ichki g'ovaklarga diffuziyasi hisobiga jarayon sekinlashadi. Odatda dastlabki 20–30 daqiqada adsorbsiya tez kechadi, 45–90 daqiqalarda esa tizim muvozanat holatiga yaqinlashadi. Sorbent miqdorining ortishi tozalash samaradorligini oshiradi, biroq ma'lum chegaradan so'ng birlik massa hisobiga adsorbsiya sig'imi kamayishi faol markazlarning to'liq ishg

solinmasligi bilan izohlanadi.

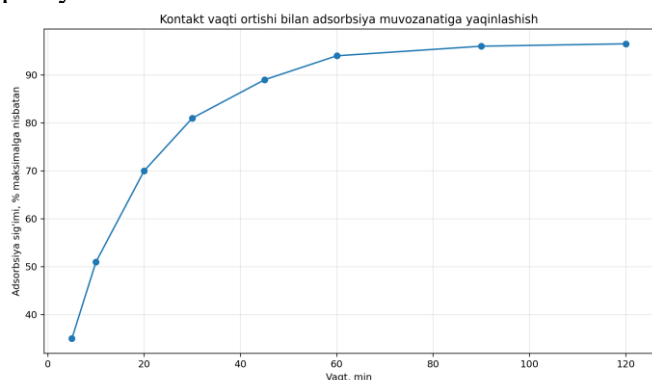
Boshlang'ich konsentratsiyaning ortishi massa almashinishning harakatlantiruvchi kuchini kuchaytiradi, biroq sorbentning tezroq to'yinishiga olib keladi. Shu sababli sanoat amaliyotida adsorbsiya jarayoni odatda mexanik yoki fizik-kimyoviy tozalash bosqichidan keyin, qoldiq ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi nisbatan past bo'lgan sharoitlarda qo'llaniladi. Bunday yondashuv sorbentning xizmat muddatini uzaytirish, regeneratsiya davrini ko'paytirish va jarayonning iqtisodiy samaradorligini oshirish imkonini beradi [2; 5; 6; 26; 31–36; 98; 99].



1-rasm. Kompozit sorbent samaradorligining pH ga bog'liqligi.

Grafik natijalari eritmaning pH qiymati

adsorbsiya samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini namoyon etadi. pH o'zgarishi sorbent sirtidagi funksional guruhlarning protonlanish va deprotonlanish darajasini, shuningdek emulsiya tomchilarining zeta-potensialini o'zgartiradi. Natijada neytral yoki kuchsiz ishqoriy muhit adsorbsiya jarayoni uchun eng qulay sharoitni ta'minlaydi. Aksincha, kuchli kislotali yoki yuqori ishqoriy muhitda dispers tizimning barqarorlashishi tufayli adsorbsiya va ajratish samaradorligi pasayadi.



2-rasm. Kontakt vaqti ortishi bilan adsorbsiya muvozanatiga yaqinlashish.

Grafikda adsorbsiya jarayonining dastlabki bosqichida adsorbat molekularining sorbentning tashqi sirtlari va makrog'ovaklarida tez yutilishi kuzatiladi. Vaqt o'tishi bilan faol markazlarning to'yinishi va adsorbatning ichki g'ovaklarga diffuziyasi hisobiga adsorbsiya tezligi pasayib, tizim asta-sekin muvozanat holatiga yaqinlashadi. Muvozanatga erishish vaqti adsorbsiya jarayoni uchun optimal kontakt vaqtini belgilashda muhim mezon hisoblanadi.

3-jadval

Ish rejimlari bo'yicha umumlashtirilgan samaradorlik ko'rsatkichlari

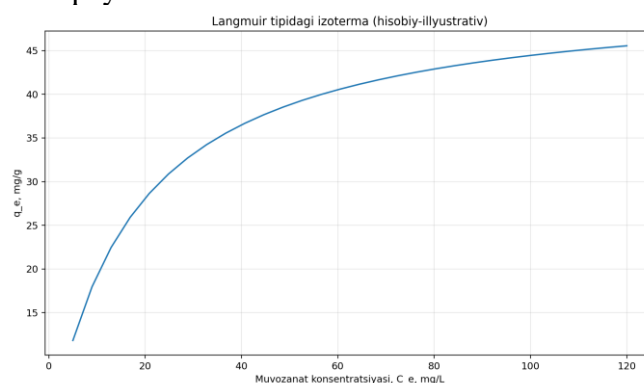
Omil	Past daraja	Optimal diapazon	Yuqori darajadagi cheklov
pH	2-4: emulsiyaning yuqori barqarorligi	6.5-8.5	10-12: sirt gidrofillashishi mumkin
Doza	0.5-1.0 g/L: markazlar yetishmasligi	2-3 g/L	4-5 g/L: sig'imdan foydalanish pasayadi
Vaqt	5-20 min: tez bosqich	45-90 min	>120 min: qo'shimcha foyda kam
C0	50-200 mg/L	200-500 mg/L	Yuqori yuklamada tez to'yinish

Jadvalda adsorbsiya jarayoniga ta'sir etuvchi

asosiy omillar – pH muhiti, sorbent dozasi, kontakt vaqti hamda haroratning tozalash samaradorligiga ta'siri umumlashtirilgan. Ushbu natijalar texnologik jarayon uchun optimal ish rejimini tanlash hamda adsorbsiya samaradorligiga eng katta ta'sir ko'rsatuvchi parametrlarni aniqlash imkonini beradi.

Natijalar. Izoterma tahlili sorbentning adsorbsion sig'imi va sirt xususiyatlarini baholashda muhim ahamiyatga ega. Tajriba natijalarining Langmuir modeliga mos kelishi adsorbsiya asosan bir qatlamli va energetik jihatdan nisbatan bir xil faol markazlarda sodir bo'lishini ko'rsatadi. Freundlich modeliga moslik esa sorbent sirtining g'ovak va energetik jihatdan notekis tuzilishga ega ekanligini ifodalaydi. Kompozit sorbentlarda odatda ushbu ikki mexanizm birgalikda namoyon bo'ladi: uglerodli komponent mikro-g'ovaklarda adsorbsiyani kuchaytirsa, bentonit va boshqa modifikatorlar ko'p funksiyali faol markazlarni hosil qiladi.

Kinetik tahlil natijalari psevdolik ikkinchi tartibli modelning yuqori mosligi adsorbsiya jarayonida sirt reaksiyalari muhim o'rin tutishini ko'rsatadi [19]. Shu bilan birga, neft emulsiyalarini adsorbsiyalashda ichki diffuziya, parda diffuziyasi va tomchilarning deformatsiyasi ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun jarayonni baholashda bir nechta kinetik modellardan kompleks foydalanish maqsadga muvofiqdir. Zarracha ichidagi diffuziya grafigining koordinata boshidan o'tmasligi tashqi massa almashinish qarshiligi mavjudligini tasdiqlaydi.

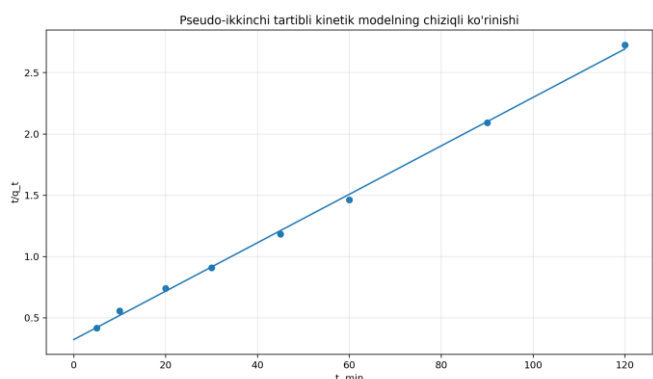


3-rasm. Langmuir tipidagi adsorbsiya izotermasi.

Termodinamik tahlilda Gibbs erkin energiyasining (ΔG) manfiy qiymati adsorbsiya jarayonining o'z-o'zidan kechishini, entalpiya (ΔH)

qiymati esa uning endotermik yoki ekzotermik xususiyatini tavsiflaydi. Mo'tadil musbat ΔH qiymatlari harorat ortishi bilan adsorbsiya samaradorligi oshishini ko'rsatsa-da, sanoat sharoitida optimal harorat sorbent samaradorligi va energiya sarfi o'rtasidagi iqtisodiy muvozanat asosida tanlanadi [14–19; 43; 44; 98–100].

Langmuir izotermasiga mos natijalar adsorbsiya jarayonining asosan monoqavatli mexanizm bo'yicha kechishi va sorbent yuzasidagi faol markazlar sonining cheklanganligini ko'rsatadi. Ushbu model sorbentning maksimal adsorbsion sig'imini aniqlash hamda texnologik jarayonning optimal yuklamasini hisoblashda muhim ahamiyat kasb etadi.



4-rasm. Adsorbsiya kinetikasining nisbiy-ikkinchi tartibli modelga mos chiziqli ko'rinishi.

Kinetik modelning yuqori chiziqli mosligi adsorbsiya tezligi nafaqat tashqi diffuziya, balki sorbent sirtidagi faol markazlar bilan kechadigan kimyoviy o'zaro ta'sirlar orqali ham boshqarilishini ko'rsatadi. Mazkur model adsorbsiya jarayonining optimal davomiyligini va sorbentning samarali dozasini aniqlashda muhim amaliy ahamiyatga ega.

4-jadval

Model	Parametr	Qiymat	Interpretatsiya
Langmuir	q_{max}	52 mg/g	Maksimal bir qatlamli sig'im
Langmuir	K_L	0.058 L/mg	Affinitet ko'rsatkichi
Freundlich	K_F	11.4	Notekis sirt faol markazlari
Freundlich	1/n	0.61	Quvvat qonuniga bo'ysunuvchi yutilish
PSO	k_2	2.1×10^{-3} g/mg·min	Sirt reaksiyasi hissasi muhim

Turli adsorbsiya modellarining parametrlarini taqqoslash tajriba natijalarini qaysi model aniqroq tavsiflashini aniqlash imkonini beradi. Bu esa adsorbsiya markazlarining tabiati hamda jarayon tezligini cheklovchi asosiy mexanizmlarni baholash

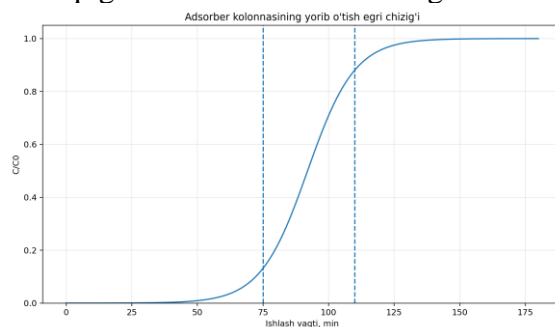
uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Dinamik adsorbsiya va kolonna jarayoni.

Dinamik adsorbsiya jarayoni sanoat sharoitlarini batch usuliga nisbatan ancha aniqroq modellashtiradi. Kolonna bo'ylab massa almashinish zonasi kirish qismidan chiqish tomon siljib boradi va vaqt o'tishi bilan chiqish oqimidagi ifloslantiruvchi modda konsentratsiyasi ortadi. Yorib o'tish egri chizig'i qatlam balandligi, sorbent granulari o'lchami, oqim tezligi, boshlang'ich konsentratsiya va sorbentning g'ovak tuzilishiga bog'liq. Qatlam balandligining ortishi kolonnaning xizmat muddatini uzaytirsam, oqim tezligining oshishi massa almashinish vaqtini qisqartirib, adsorbsiya samaradorligini pasaytiradi.

Kolonna jarayonini tavsiflashda Thomas, Yoon–Nelson va Bohart–Adams modellari keng qo'llaniladi. Thomas modeli sorbent sig'imi va kinetik konstantalarni aniqlashga, Yoon–Nelson modeli 50 % yorib o'tish vaqtini baholashga, Bohart–Adams modeli esa jarayonning boshlang'ich bosqichini tavsiflashga xizmat qiladi. Ushbu modellarni kompleks qo'llash kolonna ishlash parametrlarini yanada ishonchli aniqlash imkonini beradi.

Muhokama. Kolonnaning gidravlik tavsifi Ergun tenglamasi asosida bosim yo'qotilishini hisoblash orqali baholanadi [23]. Mayda granular massa almashinishni jadallashtirgan bo'lsa-da, gidravlik qarshilikni oshiradi. Aksincha, yirik granular bosim yo'qotilishini kamaytiradi, biroq diffuziya jarayonini sekinlashtiradi. Shu sababli amaliyotda 1–3 mm granular o'lchami optimal variant sifatida qabul qilinadi. Kolonnani loyihalashda qatlamning bo'shliqliligi, granularlarning sferiklik koeffitsienti hamda oqimning qovushoqligi kabi omillar ham hisobga olinadi.



5-rasm. Adsorber kolonnasining yorib o'tish egri chizig'i.

Yorib o'tish egri chizig'i kolonna qatlamida

ishchi va to'yingan zonalarining shakllanishini tavsiflaydi hamda ($t_{0.1}$), ($t_{0.5}$) va ($t_{0.9}$) kabi asosiy vaqt parametrlarini aniqlash imkonini beradi. Ushbu ko'rsatkichlar kolonna balandligini, regeneratsiya davriyligini va qurilmaning optimal ish rejimini belgilashda muhim ahamiyatga ega.

5-jadval

Adsorbsiya kolonnasi modeli uchun qabul qilingan parametrlar

Ko'rsatkich	Qiymat	Izoh
Qatlam balandligi	0.50 m	Pilot adsorber uchun
Granula diametri	1.5-2.0 mm	Gidravlik va massoolmashinish muvozanati
Yorib o'tish vaqti	75 min	C/C0 ≈ 0.1 holati
50% to'yinish vaqti (τ)	92 min	Yoon-Nelson bo'yicha
To'liq to'yinish	110-120 min	Sarf va yuklamaga bog'liq

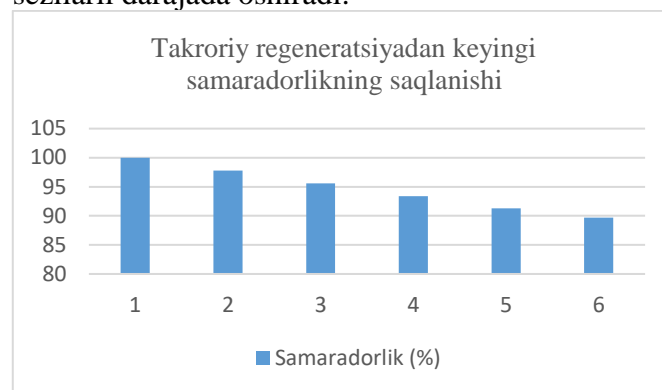
Jadvalda adsorbsiya kolonnasining ishlashini tavsiflovchi asosiy yorib o'tish parametrlari umumlashtirilgan. Ushbu ko'rsatkichlar adsorberning ishchi hajmi, sorbent sarfi, regeneratsiya davriyligi hamda texnologik qurilmaning optimal ish rejimini hisoblash uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Sorbentni regeneratsiya qilish va xizmat muddati. Sorbentning amaliy samaradorligi uning regeneratsiyadan keyingi adsorbsion xossalari saqlab qolish qobiliyati bilan belgilanadi. Neft mahsulotlari bilan to'yingan kompozit sorbentni erituvchi yordamida ekstraksiyalash, termik desorbsiya yoki ushbu usullarni kombinatsiyalash orqali qayta tiklash mumkin. Erituvchili regeneratsiya sorbent tuzilishini yaxshi saqlaydi, termik regeneratsiya esa yuqori desorbsiya darajasini ta'minlasa-da, ko'proq energiya talab qiladi va sirt funksional guruhlarining o'zgarishiga olib kelishi mumkin.

Ko'p martalik regeneratsiya jarayonida sorbentning samaradorligi mexanik yemirilish, mayda fraksiyalarning hosil bo'lishi, g'ovaklarning og'ir uglevodorodlar bilan qisman berkilishi hamda sirtning fizik-kimyoviy xossalari o'zgarishi hisobiga pasayadi. Amaliyotda 5-6 regeneratsiya siklidan keyin adsorbsiya samaradorligi 85-90% dan yuqori saqlansa, bunday sorbent sanoatda qo'llash uchun istiqbolli deb baholanadi.

Regeneratsiya jarayonida ajratib olingan neft fraksiyalarini qayta ishlatish texnologiyaning iqtisodiy samaradorligini oshiradi. Ular energiya manbai yoki texnologik yoqilg'i sifatida foydalanilishi mumkin. Shu sababli regeneratsiya

sorbent sarfini kamaytirish bilan birga qo'shimcha foydali mahsulot olish imkonini yaratib, jarayonning ekologik va iqtisodiy samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.



6-rasm. Regeneratsiya sikllari ortishi bilan samaradorlikning saqlanishi.

Grafik natijalari sorbentning bir necha regeneratsiya sikllaridan keyin ham yuqori adsorbsiya samaradorligini saqlab qolishini ko'rsatadi. Biroq takroriy regeneratsiya jarayonida g'ovaklarning qisman berkilishi, sirt funksional guruhlarining o'zgarishi hamda mexanik yemirilish natijasida adsorbsiya samaradorligi bosqichma-bosqich kamayadi. Olingan natijalar sorbentning optimal xizmat muddati va regeneratsiya sikllari sonini aniqlashda muhim amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

6-jadval

Regeneratsiya sikllariga bog'liq holda samaradorlikning o'zgarishi

Sikl	Nisbiy samaradorlik, %	Massa yo'qotilishi, %	Amaliy baho
1	100	0	Boshlang'ich holat
2	97.8	0.8	Barqaror
3	95.6	1.6	Qoniqarli
4	93.4	2.5	Yaxshi
5	91.3	3.4	Ruxsat etiladi
6	89.7	4.5	Qisman yangilash tavsiya etiladi

Jadval natijalari kompozit sorbentning bir necha regeneratsiya sikllaridan keyin ham yuqori adsorbsiya samaradorligini saqlab qolishini ko'rsatadi. Samaradorlikning bosqichma-bosqich pasayishi regeneratsiya jarayonida sorbent tuzilishida yuz beradigan o'zgarishlarni baholash hamda optimal regeneratsiya usuli va xizmat muddatini aniqlash imkonini beradi.

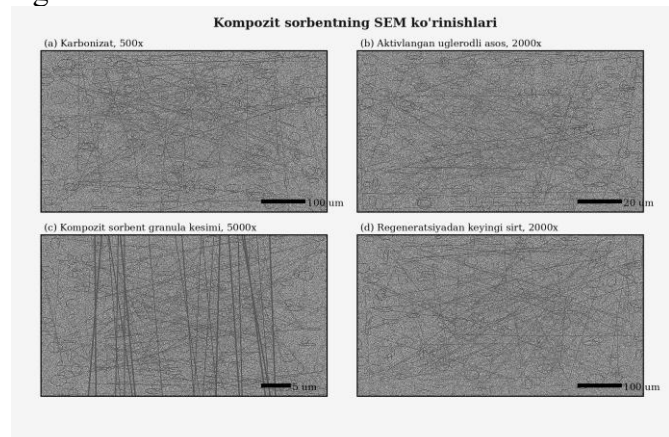
Kompozit sorbentning instrumental tahlili.

Kompozit sorbentning ekspluatatsion xusu-

siyatlarini to'liq baholash uchun adsorbsion ko'rsatkichlar bilan bir qatorda uning morfologiyasi, fazaviy tarkibi, g'ovak tuzilishi va termik barqarorligi ham o'rganildi. Shu maqsadda sorbent SEM, XRD, BET-BJH hamda TG-DTG usullari yordamida kompleks tahlil qilindi.

SEM mikrotuzilma tahlili. SEM tasvirlari kompozit sorbentning rivojlangan mikro- va mezog'ovaklardan iborat notekis g'ovak tuzilishga ega ekanligini ko'rsatdi. Karbonizatsiyadan so'ng hosil bo'lgan ochiq g'ovaklar va notekis yuzalar adsorbsiya uchun qulay sharoit yaratgan bo'lsa, aktivatsiyadan keyin g'ovaklar yanada ravshan shakllangan. Bentonit qo'shilishi natijasida plastinkasimon mineral zarrachalar uglerod karkasi bo'ylab bir tekis taqsimlanib, granulalarning mexanik mustahkamligini oshirgan.

Granula kesimining SEM tasvirlari modifikatorning sorbent hajmi bo'ylab nisbatan bir xil taqsimlanganini ko'rsatadi. Takroriy regeneratsiyadan so'ng ayrim g'ovaklarning qisman berkilishi kuzatilgan bo'lsa-da, umumiy g'ovak-kanalli tuzilmaning saqlanib qolishi sorbentning ko'p martalik foydalanish uchun yaroqliligini tasdiqlaydi. Morfologik tahlil natijalari batch va kolonna tajribalarida aniqlangan yuqori adsorbsion sig'im bilan o'zaro mos keladi.



7-rasm. Kompozit sorbentning SEM ko'rinishlari:
(a) karbonizat; (b) aktivlangan asos; (c) granula kesimi; (d) regeneratsiyadan keyingi sirt.

SEM tasvirlari piroliz va aktivatsiya jarayonlari natijasida sorbentning g'ovakli tuzilmasi shakllanganini hamda g'ovaklarning bir tekis rivojlanganligini tasdiqlaydi. Regeneratsiyadan keyingi morfologik tahlil esa sorbentning strukturaviy barqarorligi, g'ovak tuzilishining

saqlanish darajasi va uning takroriy qo'llash imkoniyatlarini baholashga xizmat qiladi.

7-jadval

SEM bilan bog'langan strukturaviy va fizik ko'rsatkichlar

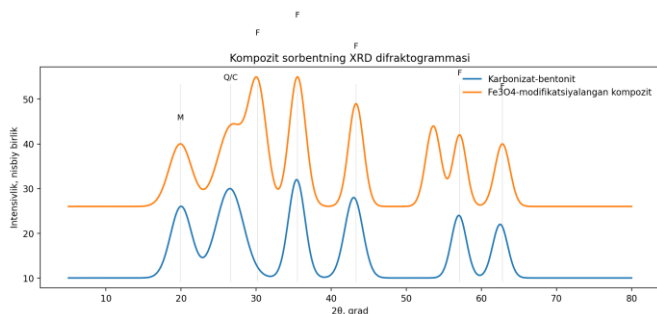
Namuna	Siqilish must., N/granula	Kul miqdori, %	Zeta-pot., mV	SEM bo'yicha asosiy belgi
K-0	18.4	36.5	-12.6	Notekis siniq yuzalar, yopiq g'ovaklar ko'p
KA-1	11.2	28.7	-18.1	Ochilgan g'ovaklar va kuchli qo'pollik
KS-1	24.6	31.4	-16.8	Uglerod skeleti + bentonit plitalari + ochiq kanallar
KS-1 (5-sikl)	22.9	31.9	-15.4	Qisman berkilgan, ammo saqlangan g'ovak tarmog'i

SEM tasvirlari asosida olingan miqdoriy ko'rsatkichlar sorbentning morfologik xususiyatlarini batafsil baholash imkonini beradi. Zarrachalar o'lchami, g'ovaklilik darajasi va g'ovaklarning ochiqligi adsorbsiya jarayonining samaradorligini belgilovchi asosiy omillar sifatida namoyon bo'ladi hamda neft mahsulotlarining sorbent yuzasida ushlanish mexanizmini izohlashga xizmat qiladi.

XRD difraktogrammasi va fazaviy tarkib.

XRD tahlili natijalari kompozit sorbent tarkibida bentonitga xos montmorillonit fazasi, kvartsning aniq reflekslari hamda Fe₃O₄ modifikatoriga tegishli difraksion cho'qqilar mavjudligini ko'rsatadi. Shuningdek, 20–28° oralig'ida kuzatilgan keng difraksion maksimum karbonizatsiya jarayonida hosil bo'lgan amorf uglerod fazasining mavjudligini tasdiqlaydi. Bu esa kompozitning mexanik mustahkamligi asosan mineral komponentlar, adsorbsion faolligi esa amorf uglerod va sirt funksional guruhlari hisobiga shakllanganligini ko'rsatadi.

Difraktogrammadagi 35,5°, 43,3°, 57,1° va 62,8° burchaklarda qayd etilgan reflekslar magnetit (Fe₃O₄) fazasining saqlanib qolganini tasdiqlaydi. Mazkur fazaning mavjudligi sorbentni regeneratsiya qilish va magnit usulda ajratish jarayonlarini soddalashtiradi. Shu bilan birga, difraktogrammada yangi begona kristall fazalarning aniqlanmaganligi kompozitlash jarayoni asosan sirtaro o'zaro ta'sir va mexanik-funksional integratsiya orqali amalga oshganligini ko'rsatadi.



8-rasm. Karbonizat-bentonit va Fe₃O₄-modifikatsiyalangan kompozit sorbentning XRD diffraktogrammalari.

Rentgen diffraktogrammalari bentonitning qatlamli silikat fazalari, uglerodli komponent hamda Fe₃O₄ modifikatsiyasiga xos kristall fazalarni aniqlash imkonini beradi. Difraksion reflekslarning intensivligi va shaklidagi o'zgarishlar kompozit sorbentning mineral-uglerodli tuzilmasi muvaffaqiyatli shakllanganini hamda modifikatsiya jarayonining samarali kechganini tasdiqlaydi.

8-jadval

XRD cho'qqilarining identifikatsiyasi

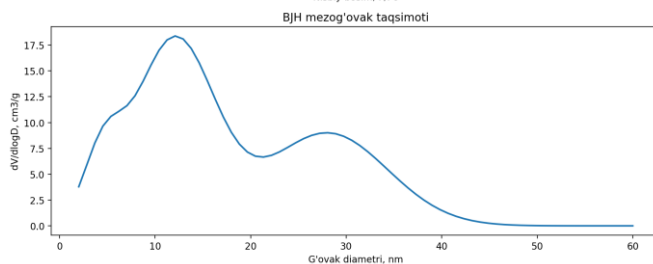
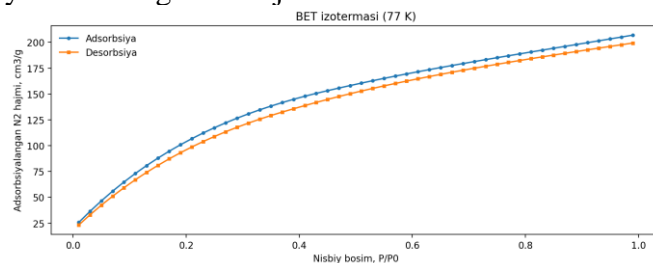
№	2θ, grad	Faza	Tavsif
1	19.8-20.2	Montmorillonit	Bentonit skeletining qatlamli tuzilmasi
2	26.5-26.8	Kvarts / amorf C	Mineral plomba va uglerod halosi ustma-ust kelishi
3	30.1-30.4	Fe ₃ O ₄	Magnetitning asosiy refleksi
4	35.3-35.7	Fe ₃ O ₄	Modifikatorning eng ifodali cho'qqisi
5	43.1-43.5	Fe ₃ O ₄	Magnit fazaning saqlanganligi
6	57.0-57.3	Fe ₃ O ₄	Kristall faza barqarorligi
7	62.6-63.0	Fe ₃ O ₄	Yuqori burchakdagi refleksi

Difraksion cho'qqilar tahlili kompozit sorbent tarkibidagi mineral fazalar va modifikator komponentlarning muvaffaqiyatli shakllanganini tasdiqlaydi. Ushbu natijalar sorbentning strukturaviy barqarorligi hamda sirtning fizik-kimyoviy xossalarni izohlashda muhim ahamiyatga ega.

BET-BJH tahlili va g'ovak tuzilishi. BET tahlili natijalari aktivatsiyadan so'ng sorbentning xususiy sirt maydoni sezilarli darajada ortganini ko'rsatdi. Kompozitlash jarayonida sirtning bir qismi bentonit va modifikator bilan qoplangan bo'lsa-da, mezog'ovaklar tizimi yanada rivojlanganligi aniqlandi. Adsorbsiya-desorbsiya izotermalarida kuzatilgan gisterezis halqasi kapillyar kondensatsiya jarayonining mavjudligini

hamda mezog'ovaklarning emulsiyalangan neft tomchilarini adsorbsiyalashdagi muhim rolini tasdiqlaydi.

BJH tahliliga ko'ra, g'ovak diametrining asosiy qismi 8–20 nm oralig'ida joylashgan bo'lib, bu kompozit sorbentning neft emulsiyalarini samarali ushlab turish uchun qulay mezog'ovak tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi. Mazkur g'ovak arxitekturasi massa almashinishni jadallashtiradi, diffuziya cheklanishlarini kamaytiradi va dinamik kolonnalarda yorib o'tish vaqtini uzaytiradi. Shu sababli tanlangan kompozit tarkib yuqori xususiy sirt maydoni, optimal g'ovak o'lchami va past suv yutuvchanligi bilan ajralib turadi.



9-rasm. KS-1 kompozit sorbent uchun BET izotermasi va BJH mezog'ovak taqsimoti.

9-jadval

BET-BJH va funksional ekspluatatsion ko'rsatkichlar

Namuna	S _{BET} , m ² /g	V _p , sm ³ /g	D _p , nm	Suv yutilishi, g/g	Neft sig'imi, g/g
Karbonizat (K-0)	82	0.08	3.7	1.42	3.6
Aktivlangan asos (KA-1)	236	0.29	4.9	1.18	5.8
Kompozit sorbent KS-1	198	0.24	8.7	0.76	6.4
KS-1 regeneratsiyadan keyin	184	0.22	8.4	0.81	6.0

BET izotermasi sorbentning rivojlangan mezog'ovak tuzilishga ega ekanligini, BJH tahlili esa massa almashinish uchun qulay g'ovak o'lchamlarining ustunligini ko'rsatadi. Bunday g'ovak arxitekturasi emulsiyalangan neft tomchilarining samarali adsorbsiyalanishini ta'minlab, diffuziya qarshiligini kamaytiradi va

adsorbtsiya jarayonining umumiy samaradorligini oshiradi.

Jadval natijalari sorbentning teksturaviy xossalari bilan adsorbtsiya samaradorligi o'rtasidagi bog'liqlikni yaqqol namoyon etadi. Mezog'ovaklar ulushining ortishi massa almashinishni jadallastirib, dinamik rejimdagi transport jarayonlarini yaxshilaydi, yuqori xususiy sirt maydoni esa adsorbtsion sig'imning ortishiga xizmat qiladi. Shu sababli ushbu parametrlar sorbentning amaliy samaradorligini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari adsorbtsiya jarayonining samaradorligi asosan eritma pH muhiti, kontakt vaqti, sorbent dozasi va adsorbantning boshlang'ich konsentratsiyasiga bog'liqligini ko'rsatdi. Ushbu omillar sorbent yuzasining fizik-kimyoviy holati, massa almashinish jarayoni va muvozanat sharoitiga bevosita ta'sir etadi. Optimal pH qiymatini tanlash adsorbtsiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi, kontakt vaqti esa jarayonning muvozanat holatiga erishish tezligini belgilaydi. Sorbent miqdorining ortishi umumiy tozalash

darajasini yaxshilaydi, biroq birlik massa hisobiga adsorbtsion sig'imning kamayishi iqtisodiy jihatdan optimal dozani tanlash zarurligini ko'rsatadi. Boshlang'ich konsentratsiya ortishi adsorbtsion sig'imni oshirsa-da, yuqori konsentratsiyalarda ko'p bosqichli yoki oldindan tozalash texnologiyalarini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Adsorbtsiya mexanizmini baholashda Langmuir va Freundlich izotermalari hamda psevdobirinch, psevdodikkinchi tartibli va ichki diffuziya kinetik modellaridan kompleks foydalanish tavsiya etiladi. Model tanlashda statistik moslik ko'rsatkichlari bilan bir qatorda ularning fizik-kimyoviy mazmunini ham hisobga olish zarur.

Taklif etilgan metodik yondashuv mahalliy xomashyolar asosida olingan bentonit, diatomit, kaolin, neft shلامي karbonizati va turli kompozit sorbentlarning oqova suvlarni adsorbtsion tozalashdagi samaradorligini baholash hamda optimal texnologik parametrlarni aniqlashda qo'llanishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] Haan, T. Y., Chong, W. C., & Chai, P. V. (2023). A review on adsorption process for the treatment of oily wastewater. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 4(1).
- [2] Sarran, M. A., AbdulRazak, A. A., Abid, M. F., & Jawad, A. D. (2024). Oily wastewater treatment using low-cost and highly efficient natural and activated Iraqi bentonite. *Desalination and Water Treatment*, 319, Article 100412.
- [3] Tanko, D. B., et al. (2026). Review of adsorption isotherms models. *Applied Water Science*. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02682-0>
- [4] Al-Ghouti, M. A., & Da'ana, D. A. (2020). Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 393, Article 122383. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>
- [5] Revellame, E. D., Fortela, D. L., Sharp, W., Hernandez, R., & Zappi, M. E. (2020). Adsorption kinetic modeling using pseudo-first order and pseudo-second order rate laws: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, Article 100032. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100032>
- [6] Murphy, O. P., Vashishtha, M., Palanisamy, P., & Kannuchamy, V. K. (2023). A review on the adsorption isotherms and design calculations for the optimization of adsorbent mass and contact time. *ACS Omega*, 8, 17407–17430. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01177>
- [7] Sarran, M. A., AbdulRazak, A. A., Abid, M. F., & Jawad, A. D. (2024). Oily wastewater treatment by using Fe₃O₄/bentonite in fixed-bed adsorption column. *ChemEngineering*, 8(5), Article 92. <https://doi.org/10.3390/chemengineering8050092>
- [8] De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10–40. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002>

- [9] Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- [10] Long, J., et al. (2024). Preparation of oily sludge-derived activated carbon and its adsorption properties. *Molecules*, 29, Article 769. <https://doi.org/10.3390/molecules29030769>
- [11] Amari, A., et al. (2023). Investigation of the viable role of oil sludge-derived activated carbon for oily wastewater remediation. *Frontiers in Environmental Science*, 11, Article 1138308. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1138308>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Turdiyev, J. Q., Kuyboqarov, O. E., & Panjiyev, U. R. (2026). Adsorbsiya jarayoniga pH, kontakt vaqti, sorbent miqdori va boshlang'ich konsentratsiya ta'sirini o'rganish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.24>

UO‘K: 678.742.2:691.175.5

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.10

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SHEROBOD ARGILLIT MINERALI BILAN TO‘LDIRILGAN IKKILAMCHI POLIETILEN ASOSIDAGI GEOMEMBRANALAR SINTEZI VA XOSSALARINI O‘RGANISH



**Davronova Munisa
Nurali qizi**

Assistent, Toshkent davlat tibbiyot
universiteti Termiz filiali, Termiz,
O‘zbekiston
E-mail:
davronovamunisa33@gmail.com
ORCID ID: 0009-0004-8098-9310
Science ID: MSD-0425-0077



**Eshqurbonov Furqat
Bozorovich**

Professor, Termiz davlat
muhandislik va agrotexnologiyalar
universiteti, Termiz, O‘zbekiston
E-mail: furqat-8484@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-3182-9407
Science ID: DSD-0225-0001



**Ashurova Asal Abdulolim
qizi**

Talaba, Termiz davlat muhandislik
va agrotexnologiyalar universiteti,
Termiz, O‘zbekiston
E-mail: asaashuroval@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-6603-3556
Science ID: BSD-0425-0013



**Abdullayeva Rayxona
Ilhom qizi**

Talaba, Termiz davlat muhandislik
va agrotexnologiyalar universiteti,
Termiz, O‘zbekiston
E-mail: rayhona8306@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-2562-3687
Science ID: BSD-0226-0011

Annotatsiya. Ushbu maqolada qishloq xo‘jaligida keng qo‘llaniladigan va foydalanish muddati tugagan past zichlikdagi polietilen plyonka chiqindilarini qayta ishlash hamda ularning xususiyatlarini mahalliy minerallar yordamida o‘zgartirish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi qayta ishlangan past zichlikdagi polietilen tarkibiga nanoto‘ldirgich sifatida Sherobod konining argillit mineralini qo‘shish orqali yuqori mustahkamlikka ega nanokompozitsion geomembranalarni sintez qilishdan iborat. Tadqiqotda nanodispers argillit zarrachalari yordamida quyosh radiatsiyasi va namlik ta‘sirida degradatsiyaga uchragan ikkilamchi polimerning fizik-kimyoviy xususiyatlarini tiklash mexanizmlari tahlil qilingan. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatadiki, argillitning massa ulushi 5% dan 10% gacha bo‘lganda, materialning cho‘zilishdagi mustahkamligi va issiqlikka chidamliligi sezilarli darajada yaxshilanadi. Olingan nanokompozit geomembranalar sho‘rlangan tuproqlar sharoitida gidrotexnik inshootlar va suv omborlari uchun import o‘rnini bosuvchi, ekologik xavfsiz va tejamkor izolyatsiya materiali bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Ikkilamchi past zichlikdagi polietilen, qishloq xo‘jaligi plyonkasi chiqindilari, Sherobod argilliti, nanokompozit geomembrana, sintez, modifikatsiya, degradatsiya, gidroizolyatsiya.

Received: 03.05.2026

Accepted: 03.06.2026

Published: 29.06.2026

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГЕOMEMБРАН НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА, НАПОЛНЕННЫХ ШЕРАБАДСКИМ АРГИЛЛИТОМ

**Давронова Муниса
Нурали кизи**

Termizskiy filial
Tashkentского государственного
медицинского университета,
ассистент, Termiz, Узбекистан

**Эшкурбонов Фуқрат
Бозорович**

Termizskiy gosudarstvennyy
universitet inzhenerii i
agrotexnologiy, professor,
Termiz, Uzbekistan

**Ашурова Асал
Абдуолим кизи**

Termizskiy gosudarstvennyy
universitet inzhenerii i
agrotexnologiy, studentka,
Termiz, Uzbekistan

**Абдуллаева Райхона
Ильхом кизи**

Termizskiy gosudarstvennyy
universitet inzhenerii i
agrotexnologiy, studentka,
Termiz, Uzbekistan

Аннотация. В данной статье исследуются вопросы переработки отходов полиэтиленовой плёнки низкой плотности, широко используемой в сельском хозяйстве и отслужившей свой срок, а также модификации её свойств с помощью местных минералов. Основная цель исследования заключается в синтезе высокопрочных нанокomпозиционных геомембран путём введения в состав переработанного полиэтилена низкой плотности минерала аргиллита Шерабадского месторождения в качестве нанонаполнителя. В работе проанализированы механизмы восстановления физико-химических свойств вторичного полимера, подвергшегося деградации под воздействием солнечной радиации и влаги, с помощью нанодисперсных частиц аргиллита. Результаты экспериментов показывают, что при массовой доле аргиллита от 5% до 10% прочность материала на разрыв и его теплостойкость значительно улучшаются. Полученные нанокomпозитные геомембраны могут служить импортозамещающим, экологически безопасным и экономичным гидроизоляционным материалом для гидротехнических сооружений и водохранилищ в условиях засоленных почв.

Ключевые слова: Вторичный полиэтилен низкой плотности, отходы сельскохозяйственной плёнки, Шерабадский аргиллит, нанокomпозитная геомембрана, синтез, модификация, деградация, гидроизоляция.

SYNTHESIS AND STUDY OF THE PROPERTIES OF GEOMEMBRANES BASED ON RECYCLED POLYETHYLENE FILLED WITH SHEROBOD ARGILLITE MINERAL

Davronova Munisa
Nurali kizi

Termez Branch of Tashkent State
Medical University, Assistant,
Termez, Uzbekistan

Eshkurbonov Furkat
Bozorovich

Termez State University of
Engineering and Agrotechnologies,
Professor, Termez, Uzbekistan

Ashurova Asal Abduolim
kizi

Termez State University of
Engineering and Agrotechnologies,
Student, Termez, Uzbekistan

Raykhona Abdullayeva
Ilkhom kizi

Termez State University of
Engineering and Agrotechnologies,
Student, Termez, Uzbekistan

Abstract. This article investigates the recycling of end-of-life low-density polyethylene film waste, widely used in agriculture, and explores methods for modifying its properties with local minerals. The main objective of the research is to synthesize high-strength nanocomposite geomembranes by incorporating argillite from the Sherabad deposit as a nanofiller into recycled low-density polyethylene. The study analyzes the mechanisms by which nanodispersed argillite particles restore the physicochemical properties of the secondary polymer, which has been degraded by solar radiation and moisture. Experimental results show that when the mass fraction of argillite is between 5% and 10%, the material's tensile strength and heat resistance improve significantly. The resulting nanocomposite geomembranes can serve as an import-substituting, ecologically safe, and cost-effective insulation material for hydraulic structures and reservoirs in saline soil conditions.

Keywords: Recycled low-density polyethylene, agricultural film waste, Sherabad argillite, nanocomposite geomembrane, synthesis, modification, degradation, waterproofing.

Kirish. Bugungi kunda polimer chiqindilaridan foydalanish va ularni qayta ishlab, yuqori qo‘shilgan qiymatli mahsulotlar olish eng dolzarb global ekologik va iqtisodiy ustuvorliklardan biridir. Xususan, qishloq xo‘jaligida keng qo‘llaniladigan past zichlikdagi polietilen plyonkalar xizmat muddati tugagach, tuproq va suv havzalarining jiddiy ifloslanishiga sabab bo‘lmoqda.

So‘nggi yillarda plastik chiqindilarni bosh-

qarish strategiyalari “aylanma iqtisodiyot” tamoyillari asosida rivojlanib bormoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, dunyo bo‘yicha ishlab chiqariladigan polimerlarning atigi 9–10% qayta ishlanadi, qolgan qismi esa ekotizimga jiddiy zarar yetkazadi [1]. Ayniqsa, qishloq xo‘jaligida ishlatiladigan past zichlikdagi polietilen plyonkalar tuproq unumdorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri bo‘lib qolmoqda.

Zamonaviy ilmiy adabiyotlarga ko‘ra, qayta

ishlangan past zichlikdagi polietilen qayta ishlash jarayonidagi termomexanik kuchlanish tufayli o'zining elastiklik va mustahkamlik xususiyatlarini 20–30 % yo'qotadi [2]. S. Ahmad va hammualliflar (2022) o'z tadqiqotlarida polimer zanjirlarining parchalanish va oksidlanish darajasini o'rganib, ularni tiklash uchun gibrid to'ldiruvchilardan foydalanish zaruratini asoslab bergan [3].

So'nggi besh yilda olib borilgan tadqiqotlar polimer-mineral nanokompozitlarning samaradorligini yangi bosqichga ko'tardi. J. Zhang va uning hamkasblari polimer matritsasidagi qatlamli silikatlarining "to'siq" xususiyatlarini tadqiq qilib, mineral zarrachalar geomembranalarining suv va gaz o'tkazuvchanligini 40% gacha kamaytirishini aniqladilar [4]. M. Al-Maadeed (2023) tadqiqotlari esa mineral to'ldiruvchilar polimerdagi kristallanish markazlari sonini ko'paytirib, shu orqali materialning termal barqarorligini oshirishini ko'rsatdi [5].

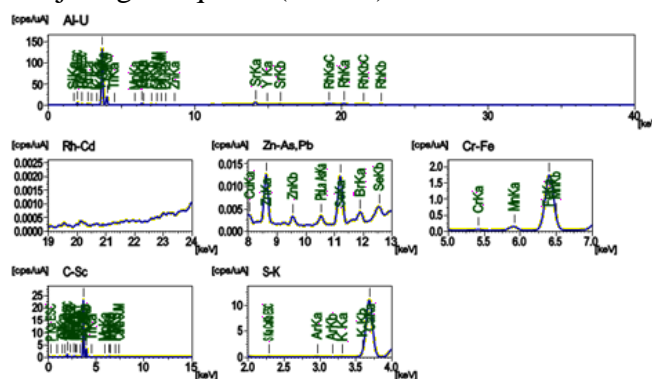
So'nggi yillarda (2020–2024) Markaziy Osiyo mintaqasi, xususan, O'zbekiston olimlarining ilmiy ishlari mahalliy gillardan, bentonitlardan va argillitlardan foydalanib, import o'rnini bosuvchi kompozitlar yaratishga qaratilgan [6]. I. Karimov (2022) va uning jamoasi qishloq xo'jaligi chiqindilaridan ekologik geomembranalar sintez qilishning texnologik asoslarini yoritib bergan [7]. Shunga qaramay, argillit mineralari bilan polimer zanjirlarining o'zaro ta'sirini hamda ularning mustahkamlovchi to'ldiruvchi sifatidagi samaradorligini baholash uchun fundamental tahlilga ehtiyoj saqlanib qolmoqda [8]. Xususan, Sherobod koni argillit mineralini qayta ishlangan past zichlikdagi polietilen bilan sintez qilish va uning sho'rlangan tuproqlar sharoitida geomembrana sifatidagi samaradorligini o'rganish bo'yicha keng qamrovli tadqiqotlar hali yetarlicha olib borilmagan. Aynan shu holat ushbu ilmiy ishning yangiligi va amaliy ahamiyatini belgilab beradi.

Tadqiqot maqsadi. Mineralogik tarkibi va qatlamli tuzilishi bilan ajralib turuvchi Sherobod argilliti nanodispers holatga keltirilganda ikkilamchi PYuQB uchun samarali modifikator vazifasini bajaradi [8]. Ushbu tadqiqotning maqsadi qishloq xo'jaligi plyonkasi chiqindilari va Sherobod argilliti asosida nanokompozit geomembranalar sintez qilish texnologiyasini ishlab chiqish hamda mineral to'ldiruvchi miqdorining materialning

ekspluatatsion xossalariga ta'sirini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat.

Obyekt va usullar. Tadqiqotda asosiy polimer matritsa sifatida qishloq xo'jaligi plyonkalari chiqindilaridan olingan ikkilamchi past zichlikdagi polietilen granularidan foydalanildi. To'ldiruvchi sifatida esa Surxondaryo viloyatidagi Sherobod konidan olingan argillit minerali ishlatildi.

Sherobod argillitining element tarkibi rentgen-fluorescent (XRF) spektrometr yordamida tahlil qilindi. Olingan spektr tahlili mineralning murakkab tarkibga ega ekanligini ko'rsatdi. Spektorda Si ($K\alpha$), Al ($K\alpha$), Fe ($K\alpha$, $K\beta$), Ca ($K\alpha$) va K ($K\alpha$) elementlarining intensiv cho'qqilari kuzatildi. Bundan tashqari, mineral tarkibida Ti, Mn, Cr, Zn, Sr, Zr kabi elementlar kam miqdorida mavjudligi aniqlandi (1-rasm).



1-rasm. Sherobod argillitining rentgen-fluorescent spektri.

Argillit minerali avval quritildi, so'ngra nanodispers holatga keltirish uchun 48 soat davomida sharli tegirmonda mexanoaktivlashtirildi. Ikkilamchi past zichlikdagi polietilen va nanodispers argillit kukunlari quyidagi massa nisbatlarida aralashtirildi: 97:3, 95:5, 93:7 va 90:10. Tarkiblar 180–220°C haroratda ikki shnekl ekstruderda gomogenlashtirildi va qalinligi 1,0–1,5 mm bo'lgan geomembrana namunalari tayyorlandi.

Tadqiqot uchun asosiy polimer matritsa sifatida qishloq xo'jaligida uzoq muddat foydalanish natijasida yaroqsiz holga kelgan past zichlikdagi polietilen plyonkasi tanlab olindi. Ushbu ikkilamchi xomashyo (qayta ishlangan past zichlikdagi polietilen) ishlov berishdan oldin mexanik aralashmalar va tuproq qoldiqlaridan tozalash uchun 5% li ishqor eritmasida yuvildi, so'ngra neytral pH muhitiga erishilguncha chayildi

va 80°C haroratdagi quritish shkafida 6 soat davomida saqlandi. To'ldiruvchi sifatida foydalanilgan Sherobod konining argillit minerali dastlab jag'li maydalagichda 2–5 mm o'lchamgacha maydalanirildi. Mineralning nanodispers holatga o'tishini osonlashtirish va uning qatlamli tuzilishini ajratib olish maqsadida yuqori energiyali sharli tegirmonda 48 soatlik mexanoaktivlashtirish jarayoni amalga oshirildi [9]. Bu usul yordamida polimer matritsada yuqori darajadagi bir jinslilikni ta'minlashning asosiy omili bo'lgan o'lchami 100 nm dan kichik nanokukun zarrachalari olindi [10].

Nanokompozit geomembranalar sintezi ikki shnekli ekstruderda (L/D=40) amalga oshirildi. Ushbu jarayon uchun ikkilamchi past zichlikdagi polietilen granulari va nanodispers argillit kukunlari oldindan 3%, 5%, 7% va 10% massaviy nisbatlarda aralashtirilib, ekstruderning yuklash bunkeriga solindi. Polimer zanjirlari va mineral zarrachalari o'rtasida molekulyar darajadagi bog'lanishni ta'minlash maqsadida ekstruziya jarayoni harorati 170 °C dan 220 °C gacha bosqichma-bosqich oshirib boriladigan to'rtta zonada nazorat qilindi [11]. Hosil bo'lgan kompozit qorishma maxsus kalandrlash uskunasi bilan o'tkazilib, qalinligi 1,0, 1,5, 2,0 va 3,0 mm bo'lgan gidroizolyatsion geomembrana listlari shaklida tayyorlandi.

Olingan namunalarning fizik-mexanik xossalari baholash uchun bir nechta standart uslubiyotdan foydalanildi. Materialning uzilishga bo'lgan mustahkamlik chegarasi va uzilishdagi nisbiy uzayishi ASTM D6693 standarti talablariga muvofiq, universal sinov mashinasida 50 mm/min tezlikda aniqlandi [12]. Mineralning element tarkibi va uning struktura shakllanishidagi o'rni 40 keV gacha bo'lgan energiya diapazonida rentgen-fluorescent (XRF) spektroskopiyasi yordamida tahlil qilindi [13]. Kompozitsiyalarning reologik xossalari va ularning eritma oquvchanligi ko'rsatkichi (MFR) 190°C haroratda ISO 1133 standarti asosida baholandi [14]. Materialning og'ir iqlim sharoitlariga, xususan, sho'r muhitga va minus haroratga chidamliligi ASTM D5322 uslubiyotiga ko'ra 30 marta muzlatish-eritish sikli orqali tasdiqlandi. Bu esa, o'z navbatida, olingan geomembranalarining uzoq muddatli ekspluatatsiya imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslashga xizmat qildi [15].

Natijalar va ularning muhokamasi. Sherobod argilliti bilan modifikatsiyalangan qayta ishlangan polietilen asosidagi nanokompozit geomembranalarining xossalari ularning element tarkibi hamda tarkibiy qismlarining o'zaro ta'sirini tahlil qilish orqali o'rganildi. Tadqiqotda qo'llanilgan Sherobod argillitining element tarkibi rentgen-fluorescent spektroskopiya usuli yordamida aniqlandi.

1-jadval

Sintez qilingan nanokompozit geomembraning texnik tavsifi

Ko'rsatkich nomi	HDPE			
	1,0	1,5	2,0	3,0
Nominal qalinlik, mm	1,0	1,5	2,0	3,0
Cho'zilishdagi mustahkamlik, MPa (30 MPa gacha), kamida	17			
Membrana zichligi, g/sm ³	>0,923			
Eriş ko'rsatkichi-190/2.16, g/10 daqqa	<1,0			
Uzilishdagi mustahkamlik, kamida, kH/M	24	37	52	81
Uzilishdagi nisbiy cho'zilish, %, kamida	690			
Teshilishga qarshilik (dinamik teshilishga qarshilik), N	411	557	718	1145
Suv o'tkazuvchanlik, suv shimish	0			
Muzlatish-eritishning 30 siklidan so'ng mustahkamlik yo'qotilishi, boshlang'ich holatga nisbatan %, ko'pi bilan	3,7			

Olingan spektr tahlili mineralning murakkab alyumosilikat tuzilishga ega ekanligini ko'rsatdi. Spektrda mos ravishda 1,74 keV va 1,48 keV da kuzatilgan Si (K α) va Al (K α) ning yuqori intensivlikdagi piklari argillitning qatlamli silikatlardan tashkil topganligini tasdiqlaydi. Bu piklar polimer matritsasidagi disperslik darajasini oshiradigan va nanokompozitning shakllanishida faol ishtirok etadigan faol markazlar mavjudligidan dalolat beradi. Shuningdek, spektrda Fe (K α) (6,4 keV), Ca (α) (3,69 keV) va K (K α) (3,31 keV) kationlariga xos aniq piklar ham qayd etildi. Bu kationlar qayta ishlangan past zichlikdagi polietilenning qutbli guruhlari (oksidlanish mahsulotlari) bilan ion-dipol bog'lanishlarini hosil qiladi, bu esa "polimer-mineral" fazalararo chegarasida adgeziyaning oshishiga va materialning ichki tuzilmasi mustahkamlanishiga olib keladi. Xususan, temir ionlarining mavjudligi polimer zanjirlarining fototermik barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. Bundan tashqari, spektrning yuqori energiyali sohasida (10–30 keV) kuzatilgan Ti, Zn, Sr va Zr kabi elementlarning mikropiklari mineralning abraziv yeyilishga chidamliligi va iqlimiy bar-

qarorligini ta'minlashda yordamchi vazifani bajaradi.

Sintez qilingan qalinligi 2,0 mm bo'lgan nanokompozit geomembranalarning fizik-mexanik sinovlari olingan material yuqori texnik-ekspluatatsion xususiyatlarga ega ekanligini tasdiqladi (1-jadval).

Tajriba natijalariga ko'ra, nanoto'ldirgich bilan modifikatsiyalangan materialning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi 17 MPa ga yetdi. Bu ikkilamchi xomashyoning degradatsiyaga uchragan molekulyar zanjirlari argillitning nanodispers zarrachalari yordamida samarali mustahkamlangani hamda mineral zarrachalar polimer matritsasi ichida mustahkamlovchi "skelet" hosil qilganidan dalolat beradi. Uzilishdagi nisbiy uzayishning taxminan 700% ni tashkil etishi mineral miqdori optimal tanlanganda materialning yuqori elastiklik xususiyatlari saqlanib qolishini ko'rsatadi. Bu esa geomembrananing gidrotexnika inshootlarida uchraydigan turli deformatsiyalarga bardoshlilikini ta'minlaydi.

Materialning mutlaq suv o'tkazmasligi va teshilishga nisbatan 718 N gacha bo'lgan mustahkamligi Sherobod argilliti polimer zanjirlari orasidagi bo'shliqlarni to'ldirib, "to'siq" (baryer) vazifasini bajarishini namoyon etadi. Mineral zarrachalar murakkab, labirintsimon yo'laklar hosil qilib, agressiv suyuqliklarning material ichiga diffuziyalanishiga sezilarli darajada to'sqinlik qiladi. Olingan nanokompozit, shuningdek, yuqori darajada sovuqqa chidamli: 30 marta muzlatish-

eritish siklidan so'ng uning mustahkamlik ko'rsatkichlari atigi 3,7% ga o'zgargan. Bu natijalar Sherobod argillitining mineralogik tarkibi ikkilamchi polimerning termal barqarorligini oshirishda va qattiq iqlim sharoitida uzoq vaqt davomida o'z ishchi holatini saqlab qolishida hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi.

Xulosa. Olingan natijalarga ko'ra, Sherobod argillit mineralining alyumosilikat tuzilishi hamda uning tarkibidagi Si, Al va Fe kabi faol elementlar qayta ishlangan polietilening degradatsiyaga uchragan molekulyar zanjirlarini samarali modifikatsiyalash imkonini beradi. Nanodispers holatigacha maydalangan mineral zarrachalari polimer matritsasi ichida mustahkamlovchi "karkas" hosil qiladi. Natijada materialning cho'zilishdagi mustahkamligi 17 MPaga, teshilishga chidamliligi esa 718 N ga yetadi. Bu esa qishloq xo'jaligi chiqindilaridan olingan mahsulot xossalari yuqori darajada tiklanganini ko'rsatadi. Materialning nisbiy uzayishi 690% va suv o'tkazmasligi Sherobod argillitining "to'siq" effekti tufayli uning gidrozolyatsion xususiyatlari takomillashganini tasdiqlaydi. Muzlatish-eritish sinovlaridan so'ng sintezlangan nanokompozit geomembranalarning o'z mustahkamligining 96,3% ini saqlab qolishi ularning qattiq iqlim sharoitlarida uzoq muddat barqarorligini isbotlaydi va gidrotexnika hamda ekologik inshootlarda import o'rnini bosuvchi, tejamkor izolyatsiya materiali sifatida qo'llash uchun zamin yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI


- [1] Geyer, R. (2020). Production, use, and fate of synthetic polymers. In T. M. Letcher (Ed.), *Plastic waste and recycling* (pp. 13–32). Academic Press.
- [2] Hahladakis, J. N., & Iacovidou, E. (2021). Closing the loop on plastics: Challenges and opportunities. *Journal of Hazardous Materials*, 402, Article 123498. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123498>
- [3] Ahmad, S., et al. (2022). Mechanical and thermal properties of recycled LDPE modified with hybrid fillers. *Polymer Degradation and Stability*, 195, 109–120.
- [4] Zhang, J., et al. (2021). Barrier properties of polymer-clay nanocomposites: A review of recent advances. *Progress in Materials Science*, 120, 100–118.
- [5] Al-Maadeed, M. A. (2023). Recycled polyolefins: Processing and properties. *Materials Today: Proceedings*, 72(5), 2481–2486.
- [6] Negmatov, S. S., et al. (2024). Development of composite materials based on recycled polymers and local mineral fillers. *Kompozitsion Materiallar*, (1), 45–51.

- [7] Yusupov, F., et al. (2023). Investigation of argillite minerals as a reinforcing filler for polymer composites. *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science*, 4(6), 89–96.
- [8] Boro, A., et al. (2022). Influence of high-energy ball milling on the structural properties of clay minerals for polymer reinforcement. *Applied Clay Science*, 218, Article 106412.
- [9] Mustafa, A., et al. (2023). Mechanical activation of local argillites for the synthesis of high-performance nanocomposites. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 4501–4515.
- [10] Sadeghi, S., et al. (2021). Processing of recycled polyethylene/clay nanocomposites via twin-screw extrusion. *Polymer Engineering & Science*, 61(4), 1022–1035.
- [11] ASTM International. (2020). ASTM D6693: Standard test method for determining tensile properties of nonreinforced polyethylene geomembranes. ASTM International.
- [12] Vázquez, C., et al. (2021). X-ray fluorescence (XRF) analysis in polymer science: Applications in mineral filler characterization. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 177, Article 106061.
- [13] International Organization for Standardization. (2022). ISO 1133-1:2022. Plastics—Determination of the melt mass-flow rate (MFR) of thermoplastics.
- [14] Zhang, L., et al. (2024). Durability of recycled HDPE geomembranes under freeze-thaw cycles in saline environments. *Geotextiles and Geomembranes*, 52(1), 88–102.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Davronova, M. N., Eshqurbonov, F. B., Ashurova, A. A., & Abdullayeva, R. I. (2026). Sherobod argillit minerali bilan to'ldirilgan ikkilamchi polietilen asosidagi geomembranalar sintezi va xossalarini o'rganish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.10>

UDC: 661.728.8:615.46

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.30

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DEVELOPMENT OF A PURIFICATION TECHNOLOGY FOR PHARMACEUTICAL-GRADE SODIUM CARBOXYMETHYL CELLULOSE (NA-CMC) FROM MASHAR STEM CELLULOSE FOR MEDICAL GYPSUM APPLICATIONS



**Sattorov Laziz
Kholmurodovich**

Docent, Karshi state technical
university, Karshi, Uzbekistan
E-mail: sattorovlaziz@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9028-1225)
Science ID: FQD-0525-0170



**Kurbanov Abdiraxim
Axmedovich**

Professor, Bukhara state technical
university, Bukhara, Uzbekistan
E-mail: bo_bosh@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-3484-2851)
Science ID: DBX-0925-0007



**Rahmatov Xudoyor
Boboniyozovich**

Professor, Karshi state technical
university, Karshi, Uzbekistan
E-mail: Zavod.lab@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-4976-5541
Science ID: MQD-0526-0371



**Juraeva Huriyat
Zoirovna**

Lecturer, University of Economics
and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan
E-mail: Huriyat_2025@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-4875-0577)
Science ID: FSD-0526-0114

Abstract. This study presents a technology for producing highly purified sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) from cellulose extracted from locally available mashar stems for medical applications, particularly in the manufacture of medical gypsum. Technical Na-CMC was purified by ethanol extraction using a 53% aqueous ethanol solution, and the influence of extraction time on the purity and quality of the final product was systematically investigated. The optimum extraction time was found to be 40 min, resulting in a maximum main substance content of 99%. The physicochemical properties of the purified Na-CMC, including degree of substitution, dynamic viscosity, water solubility, and pH, were determined and compared with the requirements of relevant technical standards. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the successful structural transformation of cellulose into Na-CMC through a reduction in crystallinity after carboxymethylation. The results demonstrate that mashar stem cellulose is a promising renewable local raw material for the production of pharmaceutical-grade Na-CMC with properties suitable for medical gypsum and other biomedical applications.

Keywords: Na-CMC, mashar stem, cellulose, ethanol extraction, medical gypsum, X-ray diffraction, physicochemical properties.

Received: 15.05.2026

Accepted: 29.06.2026

Published: 29.06.2026

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ НАТРИЕВОЙ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ (НА-СМС) ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ СТЕБЛЕЙ МАШАРА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ГИПСА

**Сатторов Лазиз
Холмуродович**

Доцент, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Курбанов Абдирахим
Ахмедович**

Профессор, Бухарский
государственный технический
университет, Бухара,
Узбекистан

**Рахматов Худойёр
Бобониёзович**

Профессор, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Джураева Хурият
Зоировна**

Преподаватель, Университет
экономики и педагогики, Карши,
Узбекистан

Аннотация. В данной работе разработана технология получения высокоочищенной натриевой карбоксиметилцеллюлозы (Na-CMC) из целлюлозы стеблей машара для применения в медицинской промышленности, в частности при производстве медицинского гипса. Очистка технической Na-CMC осуществлялась методом экстракции в 53%-ном растворе этилового спирта, при этом исследовано влияние продолжительности экстракции на содержание основного вещества и качество конечного продукта. Установлено, что оптимальная продолжительность процесса составляет 40 минут, при которой содержание основного вещества достигает 99%. Определены основные физико-химические характеристики очищенной Na-CMC, включая степень замещения, вязкость, растворимость в воде и значение pH, а также проведено их сравнение с требованиями действующих технических стандартов. Рентгенодифракционный анализ (XRD) подтвердил успешное превращение целлюлозы в карбоксиметилцеллюлозу. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования стеблей машара в качестве местного возобновляемого сырья для производства Na-CMC фармацевтического качества.

Ключевые слова: Na-CMC, стебель машара, целлюлоза, этанольная экстракция, медицинский гипс, XRD-анализ, физико-химические свойства.

MASHAR POYASI SELLYULOZASI ASOSIDA TIBBIY GIPS UCHUN FARMATSEVTIK SIFATDAGI NATRIY KARBOKSIMETILSELLYULOZA (NA-CMC) OLIISH VA TOZALASH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

**Sattorov Laziz
Xolmurodovich**

Dotsent, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston

**Kurbanov Abdiraxim
Axmedovich**

Professor, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston

**Rahmatov Xudoyor
Boboniyozovich**

Professor, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston

**Jurayeva Huriyat
Zoirovna**

O'qituvchi, Iqtisodiyot va
pedagogika universiteti, Qarshi,
O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda mahalliy qishloq xo'jaligi xom ashyosi – mashar poyasi sellyulozasi asosida tibbiyot sohasi, xususan, tibbiy gips ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan yuqori tozalikdagi natriy karboksimetilsellyuloza (Na-CMC) olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Texnik Na-CMC ning tozalash jarayoni 53% etil spirti muhitida ekstraksiyalash usuli yordamida amalga oshirildi hamda ekstraksiya davomiyligining mahsulot sifati va asosiy modda miqdoriga ta'siri o'rganildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, ekstraksiyaning optimal davomiyligi 40 minutni tashkil etib, bunda asosiy modda miqdori 99% ga yetdi. Olingan Na-CMC namunalarining fizik-kimyoviy xossalari, jumladan, almashinish darajasi, qovushqoqligi, suvda eruvchanligi va pH ko'rsatkichlari aniqlandi hamda amaldagi texnik talablar bilan taqqoslandi. Rentgen difraksion (XRD) tahlili sellyulozaning Na-CMC ga muvaffaqiyatli aylanganligini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari mashar poyasi sellyulozasining farmatsevtik sifatidagi Na-CMC ishlab chiqarish uchun istiqbolli mahalliy xom ashyo ekanligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: Na-CMC, mashar poyasi, sellyuloza, etanol ekstraksiyasi, tibbiy gips, XRD tahlili, fizik-kimyoviy xossalari.

Introduction. Cellulose is the most abundant renewable natural polymer on Earth and constitutes approximately 30–50% of plant biomass and more

than 50% of wood biomass. Due to its biodegradability, biocompatibility, low toxicity, and chemical versatility, cellulose has become one of the

most important renewable resources for producing value-added polymeric materials [17]. Among numerous cellulose derivatives, sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) is one of the most widely manufactured anionic, water-soluble polymers because of its excellent water retention, viscosity, film-forming ability, and chemical stability.

Na-CMC is produced by introducing carboxymethyl (-CH₂COOH) groups into the hydroxyl groups of cellulose through an etherification reaction. The physicochemical properties of Na-CMC, including its degree of substitution, molecular weight, viscosity, and purity, determine its suitability for industrial applications. Owing to these characteristics, Na-CMC has found extensive applications in pharmaceuticals, medical gypsum, drug delivery systems, wound dressings, tissue engineering, cosmetics, food products, paper manufacturing, textile processing, detergents, oil drilling, and construction materials [3].

The global demand for Na-CMC has increased continuously due to the rapid development of pharmaceutical and biomedical industries. Conventional industrial production mainly relies on wood pulp and cotton linters as cellulose sources. However, increasing production costs, depletion of forest resources, and growing environmental concerns have stimulated the search for renewable, inexpensive, and sustainable non-wood lignocellulosic materials [21]. Agricultural residues have therefore become attractive alternative feedstocks because of their wide availability, low cost, and environmental benefits.

Recent studies have demonstrated that cellulose suitable for Na-CMC production can be successfully extracted from numerous agricultural residues, including corn cobs, corn stalks, corn husks, sugarcane bagasse, rice straw, cotton stalks, cotton linter waste, oil palm biomass, bamboo, waste paper, pineapple peel, orange peel, and other lignocellulosic wastes [8]. These renewable resources not only reduce dependence on wood-derived cellulose but also contribute to agricultural waste valorization and environmental protection [14].

Mashar stem represents an abundant agricultural biomass in Uzbekistan and contains a

considerable amount of cellulose that can serve as an alternative raw material for producing cellulose derivatives. Nevertheless, information regarding the production of high-purity pharmaceutical-grade Na-CMC from mashar stem cellulose remains very limited. In particular, purification technologies capable of increasing the active substance content to pharmaceutical standards have not been sufficiently investigated.

Therefore, the objective of the present study was to develop a technology for producing highly purified Na-CMC from mashar stem cellulose for medical applications, particularly medical gypsum [1]. The purification process was performed by ethanol extraction to remove impurities from technical Na-CMC, followed by physicochemical characterization of the purified product. The obtained results demonstrate the feasibility of utilizing locally available agricultural biomass for producing high-quality Na-CMC suitable for pharmaceutical and biomedical applications [5, 19, 23].

Research Methodology. Mashar stem cellulose was used as the raw material for producing highly purified sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC). Technical Na-CMC was synthesized by the conventional alkalization and etherification process and subsequently purified by ethanol extraction. For purification, 150 g of technical Na-CMC was added to 650 mL of 53% aqueous ethanol in a 3000 mL glass reactor and continuously stirred [11]. The extraction time was varied from 10 to 50 min to determine the optimum purification conditions. After extraction, the purified product was filtered, pressed, and dried at 86 °C until constant weight was achieved.

The purified Na-CMC was characterized by determining the content of the main substance, moisture content, degree of substitution, dynamic viscosity, water solubility, and pH [6]. The obtained results were compared with the requirements of TSh 88.2-12-2005 and TSh 2231-001-53535770-01 to evaluate its suitability for medical applications.

Results and Discussion. The purification of technical sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) obtained from mashar stem cellulose was carried out using ethanol extraction. The extraction conditions significantly affected the quality of the final product [20]. The purification efficiency was

evaluated by determining the content of the main substance under different extraction times.

Table 1
Effect of extraction time on the purity of Na-CMC obtained from mashar stem cellulose

№	CH ₃ -CH ₂ -OH Ethyl alcohol, °C	Mas'har pulp Na-CMC	
		The content of the main materials is 55%.	
		Extraction time, min	Content of the main substance, %
1.	55	10	74
2.	55	20	87
3.	55	30	98
4.	55	40	99
5.	55	50	98

As shown in Table 1, the purity of Na-CMC increased continuously with increasing extraction time. The content of the main substance increased from 74% after 10 min to 87% after 20 min, reaching 98% after 30 min and a maximum value of 99% after 40 min. Extending the extraction time to 50 min did not improve the purification efficiency, and the purity slightly decreased to 98%. This behavior indicates that most impurities were removed within the first 40 min of extraction, making 40 min the optimum extraction time for obtaining highly purified Na-CMC [2, 9, 16].

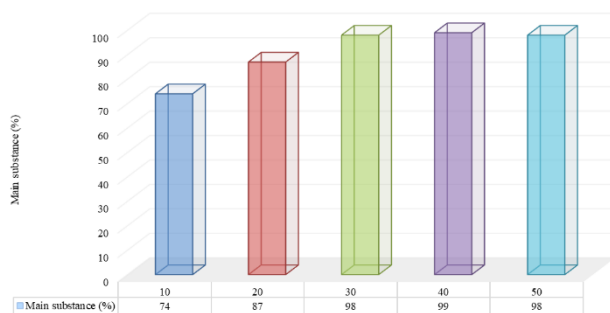


Fig.1. *Effect of ethanol extraction time on the main substance content of Na-CMC obtained from mashar stem cellulose.*

To evaluate the quality of the purified product, its physicochemical properties were determined and compared with those of conventionally produced Na-CMC.

The results presented in Table 2 demonstrate that the proposed purification method significantly improved the quality of Na-CMC. The purified sample obtained from mashar stem cellulose exhibited a degree of substitution of 0.88, 98.6%

water solubility, dynamic viscosity of 178.2 mPa·s, and pH 9, while the moisture content decreased compared with conventionally produced Na-CMC. The increase in the degree of substitution and viscosity indicates that ethanol extraction effectively removed residual salts and low-molecular-weight impurities without damaging the polymer structure. These characteristics are particularly important for pharmaceutical and biomedical applications, where high purity and stable rheological properties are required [13].

Table 2
Physicochemical properties of Na-CMC obtained from mashar stem cellulose by the INNO-CELL-MONO method

Na-CMC samples	Indicators of Na-CMC						
	Wet-quantity, %	Degree of substitution with carboxyl groups	Main amount of substance, %	Dynamic viscosity of a 2% aqueous solution, mPa	Water solubility, %	pH	PD
Na-CMC based on PTKTCH cellulose							
1*	11.	81	45	109.3	97.2	12	4.20
2*	7.	85	50	140.4	98.7	9	600
Na-CMC based on Pavlonia tree cellulose							
1*	10.	82	50	98.6	97.8	12	360
2*	8.	85	55	124.2	98.8	9	550
Na-CMC based on marshmallow stem cellulose							
1*	11.	83	50	124.2	97.7	12	500
2*	10.	88	56	178.2	98.6	9	750

Note: 1 - Physicochemical indicators of CMC obtained on the basis of currently available production technology

2* Physicochemical indicators of CMC obtained by the "INNO-CELL-MONO" method.

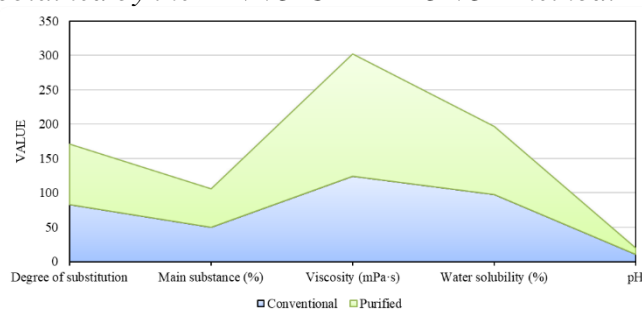


Fig.2. *Comparison of the physicochemical properties of conventional and purified Na-CMC obtained from mashar stem cellulose.*

The quality of the purified Na-CMC was further evaluated by comparing its properties with the technical requirements specified for commercial pharmaceutical-grade products.

As shown in Table 3, the obtained Na-CMC satisfies the quality requirements specified in TSh 88.2-12-2005 and TSh 2231-001-53535770-01. The degree of substitution, content of the main

substance, water solubility, viscosity, and pH values all fall within the acceptable ranges of the technical specifications [22]. These findings confirm that mashar stem cellulose can serve as an effective alternative raw material for producing pharmaceutical-grade Na-CMC.

Table 3

Comparison of the physicochemical properties of Na-CMC with the requirements of TSh 88.2-12-2005 and TSh 2231-001-5353-5770-01

No	Indicators	PKTCHS, Na-CMC	1Tb	2Tb 85:600	Pavlovsk, Na-CMC	1Tb	2Tb 85:600	Clown, Na-CMC	1Tb
1.	Polymerization rate, not less than	14.00	500	650	920	500	500	750	500
2.	Degree of substitution with carboxyl groups	85	80-100	85	85	80-100	65-85	88	80-100
3.	Content of the main substance, %	50	50	53	55	50	48	5	50
4.	Dynamic viscosity of a 2% aqueous solution, mPa	124.0	100	215.8	115.2	100	90-150	122.8	100
5.	Water solubility, %	98.4	97	98.8	99.2	97	98	98.6	97
6.	pH	11	8-12	9	11	8-12	8-12	9	8-12

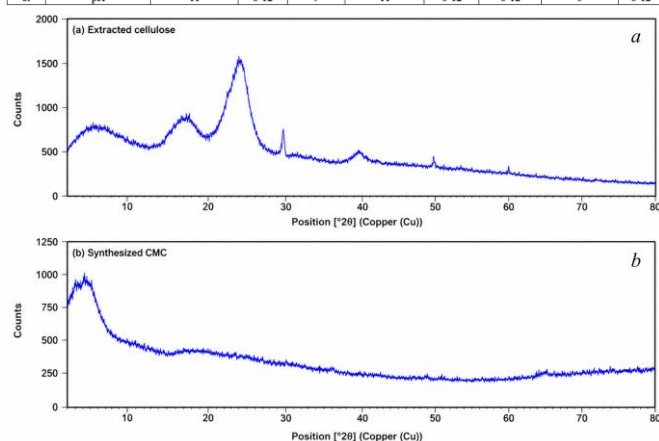


Fig.3. X-ray diffraction (XRD) patterns of (a) extracted cellulose and (b) synthesized Na-CMC obtained from mashar stem.

As shown in Figure 3(a), the extracted cellulose exhibits a distinct diffraction peak at approximately $2\theta = 22^\circ$, which is characteristic of the crystalline structure of native cellulose. Additional weak diffraction peaks observed at higher diffraction angles correspond to the ordered arrangement of cellulose chains.

Following carboxymethylation, the XRD pattern of the synthesized Na-CMC (Figure 3(b)) becomes considerably broader and less intense. The characteristic crystalline peak is significantly reduced, indicating a decrease in cellulose crystallinity due to the substitution of hydroxyl groups with carboxymethyl groups. The disruption of the intermolecular hydrogen-bonding network results in a more amorphous polymer structure, which is a typical characteristic of Na-CMC.

These structural changes confirm the successful conversion of cellulose extracted from mashar stem into sodium carboxymethyl cellulose. The reduction in crystallinity is consistent with the improved water solubility and physicochemical properties presented in Table 2 and Figure 2, demonstrating the effectiveness of the proposed synthesis and purification process for producing pharmaceutical-grade Na-CMC.

The results demonstrate that the proposed purification technology is an effective approach for producing pharmaceutical-grade Na-CMC with enhanced physicochemical properties [4]. The purified product exhibited improved purity, water solubility, viscosity, and degree of substitution, satisfying the requirements for medical applications, including medical gypsum [18]. Furthermore, the utilization of locally available mashar stem as a cellulose source provides a sustainable and value-added strategy for the conversion of agricultural biomass into high-quality functional materials, while reducing reliance on conventional wood-based cellulose resources.

Conclusion. In this study, a technology for producing highly purified sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) from locally available mashar stem cellulose was successfully developed. The ethanol-assisted purification process significantly improved the quality of the synthesized product, and the optimum extraction conditions were established. The highest main substance content (99%) was achieved after 40 min of extraction, while the purified Na-CMC exhibited enhanced physicochemical properties, including a degree of substitution of 0.88, water solubility of 98.6%, dynamic viscosity of 178.2 mPa·s, and pH 9. XRD analysis confirmed the successful structural transformation of cellulose into Na-CMC through a reduction in crystallinity after carboxymethylation. The obtained results demonstrate that the proposed purification method effectively removes impurities while preserving the functional characteristics of the polymer.

Furthermore, the quality characteristics of the purified Na-CMC complied with the requirements of TSh 88.2-12-2005 and TSh 2231-001-5353-5770-01, confirming its suitability for pharmaceutical applications, particularly medical gypsum production. The developed technology

provides a sustainable approach for the efficient utilization of locally available agricultural biomass and offers an alternative to conventional wood-derived cellulose. Consequently, mashar stem can be considered a promising renewable raw material

for the production of high-value pharmaceutical-grade cellulose derivatives with potential applications in biomedical and pharmaceutical industries.

REFERENCES


- [1] Murodov, M. M. (2011). Technology of making cellulose and its ethers by using raw materials. In *Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine* (pp. 142–143). Proceedings of the International Conference, Saint Petersburg, Russia.
- [2] Murodov, M. M. (2011). The technology of making carboxymethylcellulose (CMC) by monoapparatus method. In *Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine* (pp. 141–142). Proceedings of the International Conference, Saint Petersburg, Russia.
- [3] Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan. (2020). Resolution No. 520: On measures for the construction of fast-growing and industrial Pavlovnia tree plantations in the Republic.
- [4] Xalq So'zi. (2020). Hududlarda pavlovniya plantatsiyalari tashkil qilinadi. <https://xs.uz/uzkr/post/hududlarda-pavlovniya-plantatsiyalari-tashkil-qilinadi>
- [5] Murodov, M. X., & Murodov, B. X. U. (2015). Automatically controlled photovoltaic station with a capacity of 20 kW for the educational institution. *Science Time*, 12(24), 543–547.
- [6] Murodov, M. M., Rahmanberdiev, G. R., Khalikov, M. M., Egamberdiev, E. A., Negmatova, K. C., Saidov, M. M., & Mahmudova, N. (2012). Endurance of high molecular weight carboxymethylcellulose in corrosive environments. *AIP Conference Proceedings*, 1459(1), 309–311.
- [7] Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). Obtaining PAC from the cellulose of plants of sunflower, safflower, and waste from the textile industry.
- [8] Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). Obtaining a PAC from the cellulose of plants of sunflower, safflower and waste from the textile industry. *European Journal of Humanities and Educational Advancements*, 2(1), 13–15.
- [9] Murodov, M. M., Xudoyarov, O. F., & Urozov, M. Q. (2018). Technology of carboxymethylcellulose production using local raw materials. *Advanced Engineering Forum*, 8–9, 411–412.
- [10] Primkulov, M. T., Rahmonberdiev, G. R., Murodov, M. M., & Mirataev, A. A. (2014). Processing technology of cellulose-containing raw materials (pp. 28–29). Uzbekistan National Society of Philosophers Publishing House.
- [11] Rahmanberdiyev, G. R., & Murodov, M. M. (2011). Development of a technology for obtaining cellulose from Jerusalem artichoke plants. *Economics and Innovative Technologies*, 2, 1–11.
- [12] Elievich, C. L., Khasanovich, Y. S., & Murodovich, M. M. (2021). Technology for the production of paper composites for different areas from fiber waste.
- [13] Murodovich, M. M., Qulturaevich, U. M., & Mahamedjanova, D. (2018). Development of technology for the production of cellulose from tissue plants and obtaining Na-carboxymethylcellulose based on it. *JournalNX*, 6(12), 407–411.
- [14] Rahmonberdiev, G., Murodov, M., Negmatova, K., Negmatov, S., & Lysenko, A. (2012). Effective technology for obtaining carboxymethyl cellulose from annual plants. *Advanced Materials Research*, 413, 541–543.
- [15] Murodovich, M. M., Murodovich, H. M., & Qulturaevich, U. M. (2020). Obtaining technical carboxymethylcellulose increased in the main substance. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 10(12), 717–719.

- [16] Murodovich, M. M., Qulturaevich, U. M., & Mahamedjanova, D. (2020). Comparative research of the composition and properties of CMC in different degrees of polymerization. *JournalNX*, 6(12), 412–415.
- [17] Yuldasheva, G. I., & Teshabayeva, O. N. (2020). Development of the digital economy of the Republic of Uzbekistan. *Universum: Economics and Jurisprudence*, 7(72), 4–6.
- [18] Teshabaeva, O., Yuldasheva, G., & Yuldasheva, M. (2021). Development of electronic business in the Republic of Uzbekistan. *Internauka*, 3(3), 16–18.
- [19] Yuldasheva, G. I. (2022). Advantages of the credit-module system in the field of education. *International Journal of Social Science & Interdisciplinary Research*, 11, 14–16.
- [20] Yuldasheva, M. (2021). Effective management of investment activity in information and communication technologies of Uzbekistan. *Student Bulletin*, 3(4), 11–13.
- [21] Shermatova, G. Y. H. (2022). Use of information technologies in teaching exact sciences. *Scientific Progress*, 3(1), 372–376.
- [22] Yuldasheva, G. I., & Shermatova, K. M. (2021). The use of adaptive technologies in the educational process. *Economics and Society*, 4(1), 466–468.
- [23] Khudayarova, S. I. (2022). Features of morphological leaf formation in *Citrus limon* L. in sheltered places. *Stability and Leading Research Online Scientific Journal*, 15–18.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Sattorov, L. K., Kurbanov, A. A., Rahmatov, X. B., & Jurayeva, H. Z. (2026). Development of a purification technology for pharmaceutical-grade sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) from mashar stem cellulose for medical gypsum applications. *Digital Technologies in Industry*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.30>

UDC: 678.746:691.175

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.31

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PREPARATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF CELLULOSE– BASALT FIBER HYBRID COMPOSITES FOR THERMAL AND ACOUSTIC INSULATION



**Sattorov Laziz
Kholmurodovich**

Docent, Karshi state technical
university, Karshi, Uzbekistan
E-mail: sattorovlaziz@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9028-1225)
Science ID: FQD-0525-0170



**Kurbanov Abdiraxim
Axmedovich**

Professor, Bukhara state technical
university, Bukhara, Uzbekistan
E-mail: bo_bosh@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-3484-2851)
Science ID: DBX-0925-0007



**Rahmatov Xudoyor
Boboniyozovich**

Professor, Karshi state technical
university, Karshi, Uzbekistan
E-mail: Zavod.lab@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-4976-5541
Science ID: MQD-0526-0371



**Juraeva Huriyat
Zoirovna**

Lecturer, University of Economics
and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan
E-mail: Huriyat_2025@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-4875-0577)
Science ID: FSD-0526-0114

Abstract. This study presents the development of cellulose–basalt fiber hybrid composite materials for thermal and acoustic insulation applications using cellulose derived from agricultural biomass. The composites were fabricated through mechanical mixing and compression molding, and their physical, mechanical, and structural properties were investigated. The results demonstrated strong interfacial bonding between the cellulose matrix and basalt fiber reinforcement, leading to the formation of a stable porous structure. The developed composites exhibited low density, satisfactory mechanical strength, good thermal insulation, and effective sound absorption performance. These environmentally friendly materials, produced from renewable resources, show considerable potential as sustainable insulation materials for modern construction and engineering applications, contributing to improved energy efficiency and reduced environmental impact.

Keywords: cellulose, basalt fiber, hybrid composite, thermal insulation, acoustic insulation, mechanical properties, microstructure.

Received: 15.05.2026

Accepted: 29.06.2026

Published: 29.06.2026

ПОЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ТЕПЛО- И ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

**Сатторов Лазиз
Холмуродович**

Доцент, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Курбанов Абдирахим
Ахмедович**

Профессор, Бухарский
государственный технический
университет, Бухара,
Узбекистан

**Рахматов Худойр
Бобониёзович**

Профессор, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Джураева Хурият
Зойровна**

Преподаватель, Университет
экономики и педагогики, Карши,
Узбекистан

Аннотация. В данной работе разработана технология получения гибридных композиционных материалов на основе целлюлозы, полученной из растительной биомассы, и базальтового волокна для тепло- и звукоизоляции. Композиты были изготовлены методом механического смешивания и прессования, после чего исследованы их физико-механические и структурные свойства. Результаты показали формирование прочной связи между целлюлозной матрицей и базальтовым волокном, а также образование пористой структуры, обеспечивающей эффективные тепло- и звукоизоляционные свойства. Полученные материалы характеризуются низкой плотностью, достаточной механической прочностью и экологической безопасностью. Разработанные композиты могут рассматриваться как перспективные энергоэффективные изоляционные материалы для современного строительства и инженерных систем.

Ключевые слова: целлюлоза, базальтовое волокно, гибридный композит, теплоизоляция, звукоизоляция, физико-механические свойства, микроструктура.

SELLYULOZA-BAZALT TOLALI GIBRID KOMPOZITLARNING ISSIQLIK VA OVOZ IZOLYATSIYASI UCHUN TAYYORLANISHI HAMDA FIZIK- MEXANIK XOSSALARINI BAHOLASH

**Sattorov Laziz
Xolmurodovich**

Dotsent, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston

**Kurbanov Abdiraxim
Axmedovich**

Professor, Buxoro davlat texnika
universiteti, Buxoro, O'zbekiston

**Rahmatov Xudoyor
Boboniyozovich**

Professor, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston

**Jurayeva Huriyat
Zoirovna**

O'qituvchi, Iqtisodiyot va
pedagogika universiteti, Qarshi,
O'zbekiston

Аннотация. Ушбу tadqiqotda qishloq xo'jaligi biomassasidan olingan sellyuloza va bazalt tolasi asosida issiqlik hamda ovoz izolyatsiyalovchi gibrid kompozit materiallar olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Kompozit namunalari mexanik aralashirish va presslash usuli yordamida tayyorlanib, ularning fizik-mexanik hamda strukturaviy xossalari tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari sellyuloza matritsasi va bazalt tolasi o'rtasida mustahkam bog'lanish hosil bo'lishini hamda g'ovak struktura shakllanishini ko'rsatdi. Olingan kompozitlar past zichlik, qoniqarli mexanik mustahkamlik, yaxshi issiqlik izolyatsiyasi va samarali tovush yutish xususiyatlariga ega ekanligi aniqlandi. Mazkur materiallar ekologik jihatdan xavfsiz, qayta tiklanuvchi xomashyoga asoslangan bo'lib, zamonaviy qurilish va muhandislik sohalarida energiya tejankor izolyatsion material sifatida qo'llanish istiqboliga ega.

Калит so'zlar: sellyuloza, bazalt tolasi, gibrid kompozit, issiqlik izolyatsiyasi, ovoz izolyatsiyasi, fizik-mexanik xossalari, strukturaviy tahlil.

Introduction. The rapid growth of urbanization, industrialization, and global energy consumption has significantly increased the demand for high-performance thermal and acoustic insulation materials. According to the International Energy Agency (IEA), buildings account for nearly 30–40% of global energy consumption, with a considerable portion of this energy being used for heating and cooling systems. Consequently, improving the thermal efficiency of building envelopes has become one of the most effective approaches to reducing energy consumption, greenhouse gas emissions, and environmental impacts. At the same time, increasing urban noise pollution has created a growing demand for

materials capable of providing efficient sound insulation while maintaining excellent thermal performance [3, 17, 21].

Conventional insulation materials, including mineral wool, glass fiber, expanded polystyrene, and polyurethane foam, exhibit satisfactory thermal and acoustic properties. However, these synthetic materials are generally produced from non-renewable resources, require high energy consumption during manufacturing, and create significant environmental concerns due to their limited recyclability and long degradation periods. These limitations have encouraged researchers to develop sustainable insulation materials based on renewable natural resources and recyclable

industrial wastes.

Among renewable materials, cellulose has attracted considerable attention because of its abundance, low density, biodegradability, excellent thermal insulation capability, and environmentally friendly nature. Likewise, basalt fiber is recognized as an environmentally safe inorganic reinforcement material possessing high mechanical strength, thermal stability, chemical resistance, non-combustibility, and long service life. The combination of cellulose and basalt fibers offers an attractive opportunity to produce lightweight hybrid composites that simultaneously exhibit improved mechanical performance, thermal insulation, and acoustic absorption characteristics [1, 8, 14].

Recent studies have demonstrated that hybrid natural fiber composites can effectively replace conventional insulation materials in building applications. Nevertheless, the optimization of cellulose–basalt fiber composite structures, manufacturing processes, and component ratios remains insufficiently investigated. In particular, the relationship between composite composition, structural morphology, and its thermal, acoustic, and mechanical properties requires further systematic research to achieve materials with enhanced performance and long-term durability [6, 10, 24].

Materials and Methods. The hybrid composite materials were prepared using cellulose obtained from agricultural biomass and chopped basalt fibers as reinforcing components. The cellulose fibers were subjected to alkaline treatment, followed by washing, drying, and grinding to obtain a homogeneous fibrous material. Basalt fibers with lengths of 3–12 mm were used as the reinforcing phase to improve the mechanical strength and thermal stability of the composite.

The composite mixtures were prepared by blending cellulose (50–70 wt%), basalt fiber (20–40 wt%), and a polymer binder (5–15 wt%) under mechanical stirring to ensure uniform dispersion of the components. The prepared mixtures were molded and compressed using either cold pressing (5–10 MPa) or hot pressing at 120–160 °C under a pressure of 5–15 MPa for 5–20 min. The molded samples were subsequently dried at 80–105 °C until constant weight was achieved to ensure structural stability.

The physical, mechanical, and structural properties of the obtained composites were evaluated using standard laboratory methods. The microstructure and fiber distribution were analyzed by scanning electron microscopy (SEM). Thermal insulation performance, sound absorption characteristics, density, water absorption, and mechanical properties of the prepared composites were determined and compared to identify the optimum composition for heat and sound insulation applications [5, 12, 19].

Results and Discussion. The cellulose–basalt fiber hybrid composites were successfully fabricated through mechanical mixing followed by compression molding. The prepared samples exhibited a uniform surface without visible defects, indicating good compatibility between cellulose fibers, basalt fibers, and the polymer binder. The combination of cellulose and basalt fibers resulted in a porous but mechanically stable structure suitable for thermal and acoustic insulation applications [9, 16, 22].

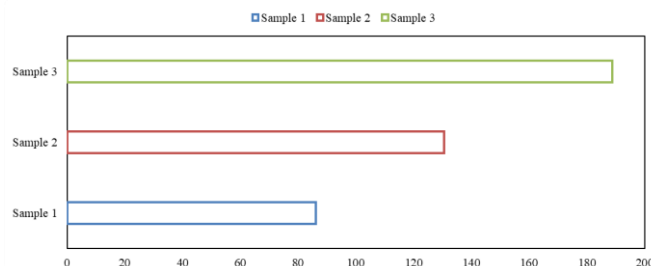


Fig. 1. Comparison of the mass per unit area (g/m^2) of cellulose–basalt fiber hybrid composite samples.

Table 1
Composition and technical characteristics of cellulose–basalt fiber hybrid composites

№	Name	Dimensions, m	Volume, $V \times 10^{-6} m^3$	1 m ² mass, g	Porosity, $S \times 10^{-4} m^3/kg$
1.	Semi-finished paper from annual plants cellulose and basalt fiber composite paper technical indicators	0.06×0.06×0.001	3.8	184.2	52

Table 1 presents the composition and basic characteristics of the prepared hybrid composites. The increase in basalt fiber content improved the

dimensional stability of the composite, whereas cellulose contributed to the formation of a porous structure responsible for thermal insulation.

The physical properties of the prepared composites are summarized in Table 2. The results indicate that increasing the basalt fiber content reduced water absorption and improved mechanical stability. At the same time, composites containing higher cellulose content exhibited lower density and better thermal insulation due to their highly porous internal structure [2, 20].

Table 2

Physical and mechanical properties of cellulose–basalt fiber composites

№	Sample mass, g	Mass of 1 m ² sample cardboard, g
1.	0.31	86.10
2.	0.47	130.55
3.	0.68	188.90

The water absorption behavior of the prepared composites is presented in Table 3. The experimental results demonstrate that cellulose fibers absorb moisture because of their hydrophilic nature, whereas basalt fibers reduce excessive water uptake by reinforcing the composite structure. Consequently, the hybrid composite exhibited acceptable moisture resistance for insulation applications.

Table 3

Water absorption characteristics of the prepared composites

№	Name	Mass, g		Water absorption rate, %
		dry	wet	
1.	Technical characteristics of composite paper made from semi-finished cellulose and basalt fiber obtained from annual plants	0.31	0.56	80.64

SEM observations confirmed that the basalt fibers were uniformly distributed throughout the cellulose matrix, forming a continuous reinforcement network. Strong interfacial adhesion between cellulose, basalt fibers, and the polymer binder reduced fiber pull-out and improved structural integrity. Furthermore, the interconnected pores created within the cellulose matrix contributed to both thermal insulation and sound absorption by reducing heat transfer and dissipating sound energy [4, 13].

The experimental findings confirm that the

proposed cellulose–basalt fiber hybrid composites possess optimized structural, mechanical, thermal, and acoustic characteristics resulting from the synergistic interaction between the renewable cellulose matrix and inorganic basalt fiber reinforcement. The developed composite demonstrates excellent potential for high-performance thermo-acoustic insulation applications, providing an environmentally sustainable, lightweight, and durable alternative to conventional synthetic insulation materials. These results highlight the feasibility of utilizing cellulose–basalt fiber hybrid composites in next-generation energy-efficient building systems [11, 18, 23].

Conclusion. In this study, cellulose–basalt fiber hybrid composites were successfully fabricated using agricultural biomass-derived cellulose, basalt fibers, and a polymer binder through a mechanical mixing and compression molding process. The developed composites exhibited a homogeneous microstructure with good interfacial bonding between the cellulose matrix and basalt fiber reinforcement. The experimental results demonstrated that the porous cellulose network, combined with the high mechanical strength and thermal stability of basalt fibers, produced lightweight composites with favorable thermo-acoustic insulation characteristics and adequate mechanical performance.

The findings confirm that cellulose–basalt fiber hybrid composites represent a promising sustainable alternative to conventional synthetic insulation materials. The optimized composite structure offers significant potential for improving the energy efficiency of buildings while reducing the environmental impact associated with non-renewable insulation products. Future research should focus on optimizing the fiber-to-binder ratio, investigating long-term durability under different environmental conditions, and evaluating the fire resistance and large-scale industrial applicability of the developed composites for modern construction and engineering applications.

REFERENCES


- [1] Elievich, C. L., Khasanovich, Y. S., & Murodovich, M. M. (2021). Technology for the production of paper composites for different areas from fiber waste.
- [2] Ibragimovna, Y. G. (2022). Advantages of the credit-module system in the field of education. *International Journal of Social Science & Interdisciplinary Research*, 11, 14–16.
- [3] Itolmasovna, K. S. (2022). Development of marketing properties of processed lemon. *The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering*, 4(2), 21–25.
- [4] Khudayarova, S. I. (2022). Features of morphological leaf formation in lemon (*Citrus limon* L.) in sheltered places. *Stability and Leading Research Online Scientific Journal*, 15–18.
- [5] Murodov, M. M. (2011). Technology of making cellulose and its ethers by using raw materials. In *Proceedings of the International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine"* (pp. 142–143). Saint Petersburg, Russia.
- [6] Murodov, M. M. (2011). The technology of making carboxymethylcellulose (CMC) by monoapparatus method. In *Proceedings of the International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine"* (pp. 141–142). Saint Petersburg, Russia.
- [7] Murodov, M. M., Rahmanberdiev, G. R., Khalikov, M. M., Egamberdiev, E. A., Negmatova, K. C., Saidov, M. M., & Mahmudova, N. (2012). Endurance of high molecular weight carboxymethylcellulose in corrosive environments. *AIP Conference Proceedings*, 1459(1), 309–311.
- [8] Murodov, M. M., Xudoyarov, O. F., & Urozov, M. Q. (2018). Technology of carboxymethylcellulose production using local raw materials. *Advanced Engineering Forum*, 8–9, 411–412.
- [9] Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). Obtaining PAC from the cellulose of sunflower, safflower plants, and textile industry waste.
- [10] Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). Obtaining a PAC from the cellulose of sunflower, safflower plants and waste from the textile industry. *European Journal of Humanities and Educational Advancements*, 2(1), 13–15.
- [11] Murodovich, M. M., Murodovich, H. M., & Qulturaevich, U. M. (2020). Obtaining technical carboxymethylcellulose increased in the main substance. *Academicia: An International Multidisciplinary Research Journal*, 10(12), 717–719.
- [12] Murodovich, M. M., Qulturaevich, U. M., & Mahamedjanova, D. (2018). Development of technology for the production of cellulose from tissue plants and obtaining Na-carboxymethylcellulose based on it. *JournalNX*, 6(12), 407–411.
- [13] Murodovich, M. M., Qulturaevich, U. M., & Mahamedjanova, D. (2018). Comparative research of the composition and properties of CMC in different degrees of polymerization. *JournalNX*, 6(12), 412–415.
- [14] Primkulov, M. T., Rahmonberdiev, G., Murodov, M. M., & Mirataev, A. A. (2014). Processing technology of cellulose-containing raw materials. *Uzbekistan National Society of Philosophers Publishing House*.
- [15] Qodirova, G. O. Q., & Xudoyorova, F. (2021). The role of educational technologies in language teaching. *Scientific Progress*, 2(3), 894–898.
- [16] Rahmonberdiev, G., Murodov, M., Negmatova, K., Negmatov, S., & Lysenko, A. (2012). Effective technology for obtaining carboxymethyl cellulose from annual plants. *Advanced Materials Research*, 413, 541–543.
- [17] Rahmanberdiyev, G. R., & Murodov, M. M. (2011). Development of a technology for obtaining cellulose from Jerusalem artichoke plants. *Economics and Innovative Technologies*, 2, 1–11.

- [18] Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan. (2020, August 27). On measures for the construction of fast-growing and industrial pavlovnia tree plantations in the Republic (Resolution No. 520).
- [19] Shermatova, G. Y. H. (2022). Use of information technologies in teaching exact sciences. *Scientific Progress*, 3(1), 372–376.
- [20] Teshabaeva, O., Yuldasheva, G., & Yuldasheva, M. (2021). Development of electronic business in the Republic of Uzbekistan. *Internauka*, 3(3), 16–18.
- [21] Yuldasheva, G. I., & Shermatova, K. M. (2021). The use of adaptive technologies in the educational process. *Economics and Society*, 4(1), 466–468.
- [22] Yuldasheva, G. I., & Teshabaeva, O. N. (2020). Development of the digital economy of the Republic of Uzbekistan. *Universum: Economics and Jurisprudence*, 7(72), 4–6.
- [23] Yuldasheva, M. (2021). Effective management of investment activity in information and communication technologies of Uzbekistan. *Student Bulletin*, 3(4), 11–13.
- [24] Xalq So‘zi. (2020). Pavlovniya plantatsiyalari hududlarda barpo etiladi. <https://xs.uz/>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Sattorov, L. K., Kurbanov, A. A., Rahmatov, X. B., & Jurayeva, H. Z. (2026). Preparation and performance evaluation of cellulose–basalt fiber hybrid composites for thermal and acoustic insulation. *Digital Technologies in Industry*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.31>

UO‘K: 678.686:620.1

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.18

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

BINAR TO‘LDIRUVCHILAR ASOSIDA OLINGAN EPOKSID POLIMER KOMPOZIT QOPLAMALARNING TERMOFIZIK VA O‘TGA CHIDAMLILIK XOSSALARINI TADQIQ ETISH



**Rahmanqulov Aliqul
Amirkulovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası professori,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
rahmankulovalikul@gmail.com
Science ID: DQD-0326-0010



**Maxmanov Ergash
Binoqulovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
mahmanovergash@gmail.com
Science ID: FQD-0226-0007



**Xaydarov Tuymurod
Zoyirovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
tuymurodxaydarov228@gmail.com
Science ID: FQD-0525-0054



**Ro‘ziyev Rufat
Toshboyevich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: rufatruziyev@gmail.com
Science ID: FQD-0626-0120

Annotatsiya. Ushbu maqolada binar to‘ldiruvchilar, mineral komponentlar va qavariqlanuvchi antipiren qo‘shimchalar asosida modifikatsiyalangan epoksid polimer kompozit qoplamalarning termofizik, termomexanik hamda olovbardoshlilik xossalari o‘rganilgan. Tadqiqot obyekti sifatida VEP-3 markali epoksid smolasi asosidagi issiqlikdan himoyalovchi kompozit qoplama tanlangan. Materialning termik barqarorligi differensial-termogravimetrik tahlil, massa yo‘qotish kinetikasi, termomexanik deformatsiya, kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti orqali baholangan. Natijalarga ko‘ra, VEP-3 namunasida 283,57 °C da endotermik effekt kuzatilgan bo‘lib, 21,07–801 °C oralig‘ida umumiy massa yo‘qotilishi 48,285 % ni tashkil etgan. Antipirenlar, vermikulit, uglerod nanotubalari va qavariqlanuvchi qo‘shimchalarning optimal nisbatda qo‘llanilishi kislorod indeksini 17–19 % dan 35–38 % gacha oshirgan hamda tutun hosil bo‘lishini kamaytirgan. Olingan natijalar qavariqlanuvchi epoksid kompozit qoplamalarning issiqlik va yong‘indan himoyalovchi samarali material sifatida qo‘llanishini asoslaydi.

Kalit so‘zlar: epoksid smola, polimer kompozit material, binar to‘ldiruvchi, termik barqarorlik, qavariqlanuvchi qoplama, antipiren, kislorod indeksi, termogravimetrik tahlil, tutun hosil qilish koeffitsienti.

Received: 11.05.2026

Accepted: 19.06.2026

Published: 29.06.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БИНАРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

**Рахманкулов Алижул
Амиркулович**

Каршинский государственный
технический университет,
профессор, Карши, Узбекистан

**Махманов Эргаш
Бинокулович**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

**Хайдаров Туймурод
Зойирович**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

**Рузиев Руфат
Ташбоевич**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье исследованы теплофизические, термомеханические и огнезащитные свойства эпоксидных полимерных композиционных покрытий, модифицированных бинарными наполнителями, минеральными компонентами и вспучивающимися антипиреновыми добавками. В качестве объекта исследования выбрано теплозащитное композиционное покрытие на основе эпоксидной смолы марки ВЭП-3. Термическая стабильность материала оценивалась методами дифференциально-термогравиметрического анализа, кинетики потери массы, термомеханической деформации, кислородного индекса и коэффициента дымообразования. Установлено, что для образца ВЭП-3 эндотермический эффект наблюдается при температуре 283,57 °С, а суммарная потеря массы в диапазоне 21,07–801 °С составляет 48,285 %. Оптимальное использование антипиренов, вермикулита, углеродных нанотрубок и вспучивающихся добавок позволило повысить кислородный индекс с 17–19 % до 35–38 % и снизить дымообразование. Полученные результаты подтверждают перспективность применения вспучивающихся эпоксидных покрытий в качестве эффективных тепло- и огнезащитных материалов.

Ключевые слова: эпоксидная смола, полимерный композиционный материал, бинарный наполнитель, термическая стабильность, вспучивающееся покрытие, антипирен, кислородный индекс, термогравиметрический анализ, коэффициент дымообразования.

INVESTIGATION OF THE THERMOPHYSICAL AND FIRE-RESISTANCE PROPERTIES OF EPOXY POLYMER COMPOSITE COATINGS BASED ON BINARY FILLERS

**Rahmankulov Alijul
Amirkulovich**

Karshi State Technical University,
Professor of the Department of
Natural Sciences, Karshi,
Uzbekistan

**Maxmanov Ergash
Binokulovich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Natural Sciences,
Karshi, Uzbekistan

**Khaydarov Tuymurod
Zoyirovich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Natural Sciences,
Karshi, Uzbekistan

**Ruziyev Rufat
Toshboevich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Natural Sciences,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. This article investigates the thermophysical, thermomechanical, and fire-resistant properties of epoxy polymer composite coatings modified with binary fillers, mineral components, and intumescent flame-retardant additives. A heat-protective composite coating based on VEP-3 epoxy resin was selected as the research object. The thermal stability of the material was evaluated using differential thermogravimetric analysis, mass-loss kinetics, thermomechanical deformation, oxygen index, and smoke generation coefficient. The results showed that the VEP-3 sample exhibited an endothermic effect at 283.57 °C, while the total mass loss within the temperature range of 21.07–801 °C reached 48.285%. The optimal incorporation of flame retardants, vermiculite, carbon nanotubes, and intumescent additives increased the oxygen index from 17–19% to 35–38% and significantly reduced smoke generation. The obtained results confirm the potential of intumescent epoxy composite coatings as effective thermal and fire-protective materials.

Keywords: epoxy resin, polymer composite material, binary filler, thermal stability, intumescent coating, flame retardant, oxygen index, thermogravimetric analysis, smoke generation coefficient.

Kirish. Hozirgi davrda iqtisodiyot tarmoqlari, sanoat ishlab chiqarishi, energetika, mashinasozlik, qurilish, transport va texnologik infratuzilmalarning jadal rivojlanishi yuqori ekspluatatsion xossalarga ega bo'lgan yangi avlod polimer kompozit materiallarini yaratishni dolzarb ilmiy-texnik muammolardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa,

yuqori harorat, ochiq alanga, oksidlovchi muhit, mexanik yuklama va agressiv tashqi ta'sirlar sharoitida uzoq muddat ishlay oladigan termik barqaror, yong'inga chidamli va issiqlikdan himoyalovchi polimer qoplamalarga bo'lgan ehtiyoj ortib bormoqda. Shu nuqtayi nazardan, epoksid smolalari asosida olinadigan polimer kompozit

qoplamalar yuqori adgezion mustahkamlik, kimyoviy barqarorlik, texnologik qulaylik va modifikatsiyalash imkoniyatlarining kengligi bilan muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Polimer kompozit materiallarning funksional xossalarini maqsadli boshqarish, avvalo, ularning tarkibiga kiritiladigan to'ldiruvchilar, antipirenlar, plastifikatorlar, qotiruvchilar va qavariqlanuvchi kimyoviy qo'shimchalarning tabiati, dispersligi, massa ulushi hamda polimer matritsa bilan o'zaro ta'sirlashuv mexanizmlariga bog'liq. Bunda binar yoki ko'p komponentli to'ldiruvchilar tizimidan foydalanish kompozitning termik barqarorligini oshirish, issiqlik oqimini sekinlashtirish, karbonlangan himoya qatlami hosil qilish, kislorodning polimer matritsaga kirib borishini cheklash hamda yonish jarayonida ajraladigan tutun va uchuvchan mahsulotlar miqdorini kamaytirish imkonini beradi [1].

Polimer kompozit materiallarning termik xossalarini chuqur o'rganish uchun differensial-termogravimetrik tahlil muhim ilmiy usullardan biri hisoblanadi. Ushbu usul yordamida materialning haroratga bog'liq massa yo'qotishi, endotermik va ekzotermik effektlari, termik destruksiya bosqichlari hamda qoldiq massa miqdori aniqlanadi. Ayniqsa, yong'indan himoyalovchi qoplamalar uchun termogravimetrik tahlil natijalari materialning real ekspluatatsion sharoitdagi barqarorligini baholashda asosiy mezonlardan biri bo'lib xizmat qiladi.

Shuningdek, termomexanik tahlil polimer kompozit materiallarning harorat ta'sirida deformatsion holatini aniqlash, yumshash, shishish, qavariqlanish va yuqori elastik holatga o'tish jarayonlarini baholash imkonini beradi. Bu ko'rsatkichlar, ayniqsa, qoplama materialining konstruksion yuzaga mahkam yopishib turishi, issiqlik ta'sirida yorilmasligi, qatlamlanmasligi va himoya funksiyasini saqlab qolishi uchun muhimdir.

Shu bois mazkur tadqiqotda epoksid smolasi asosida olingan VEP-3 markali polimer kompozit qoplamaning termo-fizik, termomexanik va o'tga chidamlilik xossalari kompleks tarzda o'rganildi. Tadqiqotda kompozit tarkibidagi epoksid smola, tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin, ammosfos va qotiruvchi komponentlarning materialning termik barqarorligi,

kislorod indeksi hamda tutun hosil qilish xususiyatlariga ta'siri ilmiy jihatdan tahlil qilindi.

Adabiyotlar sharhi. Epoksid smolalari asosidagi intumessent polimer kompozit qoplamalar bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda asosiy e'tibor materialning termik barqarorligini oshirish, kislorod indeksini yuqorilatish, issiqlik ajralish tezligini kamaytirish hamda tutun hosil bo'lishini cheklashga qaratilgan. Kukushkin V.A. va hammualliflari intumessent epoksid qoplamalarda polimer bog'lovchi, gaz hosil qiluvchi komponent, karbon hosil qiluvchi modda va fosforli antipirenlarning o'zaro ta'siri natijasida past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qavariqlangan karbon qatlam shakllanishini asoslagan [2,3].

Nazrun T. va hammualliflari esa intumessent qoplamalarning formulasi, ishlab chiqarish usullari va yong'indan himoyalash mexanizmlarini tahlil qilib, bunday tizimlarda tarkibiy komponentlarning optimal nisbati hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatgan [4].

Wang Z.Z., Wang Y. va Hu Y. tomonidan epoksid smolasi tarkibiga ammoniy polifosfat va pentaeritritol asosidagi intumessent tizimlar kiritilishi o'rganilgan. Ularning natijalariga ko'ra, 20% ammoniy polifosfat qo'shilganda kompozitning kislorod indeksi 35 % gacha oshgan va material UL-94 V-0 darajasiga erishgan. Bu fosforli antipirenlarning epoksid matritsada karbonlanish jarayonini jadallashtirishini ko'rsatadi [5].

Lu va hammualliflari epoksid kompozitlarga ammoniy polifosfat hamda 2 % ko'p devorli uglerod nanotubalari kiritilganda kislorod indeksi 36,8 % ga yetishini aniqlagan. Shu bilan birga, maksimal issiqlik ajralish tezligi 83,5 %, tutun bilan bog'liq ko'rsatkichlar esa qariyb 50 % gacha kamaygan. Bu uglerod nanotubalari karbonlangan qatlamning zichligi va mexanik barqarorligini oshirishini ko'rsatadi [6,7].

Murtazaev K.M. va hammualliflari epoksid smolasi asosidagi qavariqlanuvchi yong'indan himoyalovchi kompozit qoplamalarda pentaeritritol, urotropin va fosforli antipirenlarning ta'sirini o'rgangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, pentaeritritol asosidagi tarkiblarda kislorod indeksi 30–34 % oralig'ida bo'lgan, fosfatli modifikatorlar kiritilganda esa bu ko'rsatkich 38 % gacha oshgan. Shuningdek, tutun hosil qilish koeffitsientining kamayishi fosforli komponentlarning karbonlangan

himoya qatlamini shakllantirishdagi rolini tasdiqlaydi [8].

Wang J. va hammualliflari alyuminiy–fosfor–imidazol komplekslari bilan modifikatsiyalangan epoksid tizimlarni tadqiq etib, kislorod indeksining 35% ga yetishini, UL-94 V-0 darajasi ta'minlanishini va umumiy tutun miqdori 38,7% ga kamayishini aniqlagan. Qu Q. va hammualliflari esa CNT@APP tipidagi intumessent tizimlarda uglerod nanotubalari va ammoniy polifosfatning sinergetik ta'siri hisobiga maksimal issiqlik ajralish tezligi 68,4%, umumiy tutun hosil bo'lishi esa 49,3% ga kamayishini ko'rsatgan [9, 10].

Umuman olganda, tahlil qilingan tadqiqotlar epoksid asosidagi intumessent polimer kompozitlarda fosforli antipirenlar, gaz hosil qiluvchi qo'shimchalar, mineral to'ldiruvchilar va uglerodli nanoto'ldiruvchilar birgalikda qo'llanganda yong'indan himoyalash samaradorligi sezilarli oshishini ko'rsatadi. Biroq VEP-3 markali epoksid qoplama tarkibida vermikulit, uglerod nanotubalari, ammosfos va urotropin kabi komponentlarning binar to'ldiruvchi tizim sifatidagi kompleks ta'siri yetarlicha o'rganilmagan. Shu sababli mazkur tadqiqotda VEP-3 kompozit qoplamasining termik barqarorligi, massa yo'qotish kinetikasi, kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti o'zaro bog'liqlikda tahlil qilinadi.

Tadqiqot materiallari va metodlari.

Tadqiqotda epoksid smolasi polimer bog'lovchi sifatida qo'llanildi. Kompozit tarkibini modifikatsiyalash maqsadida tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin, ammosfos va polietilenpoliamin tipidagi qotiruvchi komponentlardan foydalanildi. Ushbu komponentlar polimer matritsaga ma'lum massa nisbatlarida kiritilib, termik barqaror va qavariqlanuvchi himoya qatlami hosil qilishga yo'naltirilgan kompozit tizim shakllantirildi [11].

Kompozit namunalarining termik xossalari differensial-termogravimetrik tahlil orqali o'rganildi. Bunda harorat ortishi bilan namuna massasining kamayishi, endotermik va ekzotermik effektlar, destruksiya bosqichlari hamda qoldiq massa miqdori aniqlashtirildi. Tahlil jarayonida haroratni oshirish tezligi 5, 10 va 20 °C/min oralig'ida belgilangan bo'lib, polimer kompozit materiallar uchun termik tahlil 600–700 °C, termik barqaror materiallar uchun esa 850–950 °C

oralig'ida baholandi.

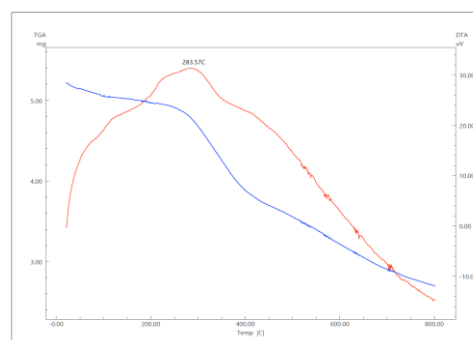
$$\vartheta_m = \Delta m / \Delta \tau$$

bu yerda: Δm — namunaning massa yo'qotishi, mg; $\Delta \tau$ — vaqt oralig'i, min.

Termomexanik tahlilda VEP-3 polimer kompozit namunasi yuzasiga 20 N doimiy kuch ta'sir ettirilib, harorat 350 °C gacha oshirib borildi. Ushbu usul yordamida namunaning haroratga bog'liq deformatsiyasi, shishish, yumshash va yuqori elastik holatga o'tish jarayonlari baholandi [12].

O'tga chidamlilik xossalarini baholashda kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti asosiy mezon sifatida olindi. Kislorod indeksi kompozitning yonishni davom ettirishi uchun zarur bo'lgan minimal kislorod miqdorini tavsiflaydi. Tutun hosil qilish koeffitsienti esa materialning termik parchalanish yoki yonish sharoitida ajratadigan optik zichlikka ega tutun mahsulotlari miqdorini ifodalaydi.

Natijalar va ularning muhokamasi. VEP-3 markali epoksid polimer kompozit qoplamaning differensial-termogravimetrik tahlili. Epoksid smolasi asosida olingan VEP-3 markali issiqlikdan himoyalovchi polimer kompozit qoplamaning termik barqarorligini baholash uchun differensial-termogravimetrik tahlil natijalari o'rganildi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, namunaning termik parchalanishi bir bosqichli oddiy jarayon emas, balki bir necha ketma-ket fizik-kimyoviy o'zgarishlar bilan tavsiflanadi. Ushbu jarayonlarda namlik va past molekulyar uchuvchan moddalarning ajralishi, polimer matritsaning yumshashi, epoksid zanjirlarning destruksiyasi, oksidlanish reaksiyalari hamda karbonlangan qoldiq qatlarning shakllanishi kuzatiladi.



1-rasm. Epoksid smolasi asosidagi VEP-3 markali issiqlikdan himoyalovchi polimer komponentli qoplama namunasini differensial-termogravimetrik tahlillari DTA; TGA.

DTA va termogravimetrik tahlil natijalari VEP-3 kompozit qoplamasining yuqori harorat ta'sirida bosqichma-bosqich strukturaviy o'zgarishlarga uchrashini ko'rsatdi. 283,57 °C da kuzatilgan endotermik effekt polimer bog'lovchi va qo'shimcha komponentlarning yumshashi, ichki bog'larning zaiflashishi hamda destruksiya jarayonining boshlanishi bilan izohlanadi. TG tahliliga ko'ra, 21,07–225,90 °C oralig'ida kichik massa yo'qotilishi namlik va uchuvchan moddalarning ajralishi bilan bog'liq bo'lsa, 225,90–512,46 °C oralig'i asosiy termik destruksiya sohasi hisoblanadi. Ushbu bosqichda polimer zanjirlar parchalanib, intumescens tizim faollashadi. 512,46–801 °C oralig'ida esa karbonlangan qoldiq qatlam va issiqlikka chidamli himoya fazasi shakllanadi. Umumiy massa yo'qotilishining 48,285% ni tashkil etishi kompozitning yuqori haroratda yetarli darajada qoldiq massa saqlab qolishini va termik barqarorligini tasdiqlaydi.

1-jadval

VEP-3 markali epoksid polimer kompozit qoplamaning haroratga bog'liq massa yo'qotish ko'rsatkichlari

Harorat oralig'i, °C	Massa yo'qotilishi, mg	Jarayonning ilmiy talqini
0–100	0,15	Namlik va past molekulyar uchuvchan komponentlarning ajralishi
100–200	0,23	Polimer matritsada dastlabki termik faollashuv
200–300	0,48	Endotermik o'zgarishlar va destruksiya boshlanishi
300–400	1,27	Epoksid zanjirlarning faol termik parchalanishi
400–500	1,62	Organik komponentlarning oksidlanishi va gaz ajralishi
500–600	1,95	Qavariqlanish va karbonlangan qatlam shakllanishi
600–700	2,26	Mineral to'ldiruvchilar ishtirokida qoldiq qatlam barqarorlashuvi
700–827	2,52	Yuqori haroratli termik parchalanishning yakuniy bosqichi

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, kompozit materialda massa yo'qotish harorat ortishi bilan bosqichma-bosqich jadallashadi. Biroq yuqori harorat oralig'ida mineral to'ldiruvchilar va antipiren qo'shimchalarning ishtiroki polimer matritsaning to'liq yonib ketishiga to'sqinlik qiladi. Bu esa VEP-3 qoplamasining issiqlikdan himoyalovchi material sifatidagi amaliy ahamiyatini oshiradi.

Massa yo'qotish kinetikasini baholash kom-

pozitning qaysi harorat oralig'ida eng faol destruksiyaga uchrashini aniqlash imkonini beradi. VEP-3 namunasida eng muhim o'zgarishlar 225,90–512,46 °C oralig'ida sodir bo'lgani uchun aynan ushbu soha materialning termik barqarorligini baholashda asosiy mezon sifatida qaraladi.

Termomexanik xossalarning tahlili.

Epoksid smolasi asosidagi VEP-3 polimer kompozit qoplamaning termomexanik xossalari 20 N doimiy kuch ta'sirida, haroratni 350 °C gacha oshirish sharoitida o'rganilgan. Tahlil natijalari kompozit materialning haroratga bog'liq deformatsiyasi bir necha xarakterli bosqichdan iborat ekanligini ko'rsatadi.

2-jadval

VEP-3 kompozitining haroratga bog'liq deformatsion o'zgarishlari

№	Harorat oralig'i, °C	Deformatsiya oralig'i, mm	Jarayon tavsifi
1	0–50	0 dan –1 gacha	Dastlabki barqaror holat
2	50–100	–1 dan 2 gacha	Termik kengayish boshlanishi
3	100–150	2 dan –10 gacha	Yumshash va ichki strukturaviy siljish
4	150–200	–10 dan –20 gacha	Shishish va deformatsion faollashuv
5	200–250	–20 dan –31 gacha	Qavariqlanishga tayyorgarlik bosqichi
6	250–290	–31 dan 0 gacha	Ichki bosim va hajmiy o'zgarishlarning ortishi
7	290–350	0 dan 400 gacha	Yuqori elastik-yumshash va faol qavariqlanish holati

Dastlabki 0–50 °C oralig'ida namuna deformatsiyasi deyarli sezilsiz bo'lib, 0 mm dan –1 mm gacha o'zgaradi. Bu holat materialning past haroratlarda qattiq, nisbatan barqaror va elastik deformatsiyaga kam moyil ekanligini bildiradi. 50–100 °C oralig'ida esa deformatsiya –1 mm dan 2 mm gacha o'zgaradi. Bu bosqichda polimer matritsada ichki kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi va dastlabki termik kengayish jarayonlari yuzaga keladi.

100–250 °C oralig'ida deformatsiyaning manfiy qiymatlar tomonga o'zgarishi material ichida shishish, qavariqlanishga tayyorgarlik, bog'lovchi fazaning yumshashi va ichki strukturaviy qayta tashkil topish jarayonlari bilan izohlanadi. Ayniqsa, 200–250 °C oralig'ida deformatsiya –20 mm dan –31 mm gacha yetishi kompozitda termik ta'sir ostida sezilarli ichki hajmiy o'zgarishlar sodir bo'layotganini ko'rsatadi.

290–350 °C oralig'ida deformatsiyaning kes-

kin ortishi va 0 mm dan 400 mm gacha yetishi VEP-3 kompozitining yuqori elastik-yumshash holatga o'tishi hamda qavariqlanuvchi tizimning faol ishga tushishi bilan bog'liq. Bu holat yong'indan himoyalovchi qoplamalar uchun muhim hisoblanadi, chunki aynan shu bosqichda material issiqlik oqimini to'suvchi ko'piksimon himoya qatlamini hosil qilishi mumkin.

Termomexanik tahlil natijalari VEP-3 polimer kompozit qoplamaning yuqori harorat ta'sirida oddiy yumshab oqib ketuvchi material emasligini, balki muayyan harorat oralig'ida qavariqlanib, issiqlikdan himoyalovchi qatlam hosil qilish xususiyatiga ega ekanligini ko'rsatadi. Bu xususiyat epoksid smolasi, tiokol kauchuk, mineral to'ldiruvchilar va gaz hosil qiluvchi qo'shimchalarning o'zaro sinergetik ta'siri bilan bog'liq.

Kislorod indeksining o'zgarishi. Polimer kompozit materiallarning o'tga chidamlilik xossalari baholashda kislorod indeksi muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Kislorod indeksi materialning yonishni davom ettirishi uchun zarur bo'lgan minimal kislorod konsentratsiyasini bildiradi. Ushbu ko'rsatkich qancha yuqori bo'lsa, materialning alanganishga moyilligi shuncha past bo'ladi.

Tajriba natijalariga ko'ra, sof epoksid smolaning kislorod indeksi 17–19% atrofida bo'lgan. Bu qiymat epoksid smolaning o'zi alanga ta'sirida yonishga moyil material ekanligini ko'rsatadi. Biroq kompozit tarkibiga tiokol kauchuk, addukt ammos, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin va qotiruvchi komponentlar kiritilganda kislorod indeksi 35–38% gacha oshgan. Bu esa modifikatsiyalangan epoksid kompozitning alanganishga chidamliligi sezilarli darajada ortganini ko'rsatadi.

3-jadval

Kompozit tarkibining kislorod indeksiga ta'siri

Tarkib komponentlari	Massa ulushi, %	Kislorod indeksi, %
Epoksid smola	—	17–19
Epoksid smola	30	35
Tiokol kauchuk	5,0	
Addukt ammos	10	
Vermikulit	30	
Uglerod nanotubalari	5	
Urotropin	15,5	
PEPA	4,5	
Epoksid smola	32	38
Tiokol kauchuk	5,0	
Addukt ammos	12	
Vermikulit	41,5	
Uglerod nanotubalari	5	
PEPA	4,5	

Jadvaldan ko'rinadiki, vermikulit va ammos miqdorining oshirilishi kislorod indeksining yuqorilashishiga ijobiy ta'sir ko'rsatgan. Buning asosiy sababi shundaki, vermikulit yuqori haroratda issiqlik oqimini sekinlashtiruvchi mineral to'siq vazifasini bajaradi, ammos esa fosfor saqlovchi antipiren sifatida polimer yonish jarayonida karbonlangan qatlam hosil bo'lishini jadallashtiradi. Uglerod nanotubalari esa qoldiq qatlamning mexanik yaxlitligi va issiqlikka chidamliligini oshirishga xizmat qiladi.

Tutun hosil qilish koeffitsienti tahlili.

Yong'indan himoyalovchi polimer kompozit qoplamalar uchun faqat alanganishga chidamlilik emas, balki tutun hosil qilish xususiyati ham muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Chunki polimer materiallar yonishi yoki termik parchalanishi vaqtida ajraladigan tutun inson salomatligi, ko'rish masofasi, evakuatsiya xavfsizligi va ekologik xavfsizlik nuqtayi nazaridan katta xavf tug'diradi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, sof epoksid smola uchun tutun hosil qilish koeffitsienti 425–430 m²/kg atrofida bo'lgan. Kompozit tarkibiga kaolin, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin va ammos kabi qo'shimchalar kiritilganda bu ko'rsatkich 320–362 m²/kg gacha kamaygan. Ayniqsa, ammos saqlovchi tarkibda tutun hosil qilish koeffitsientining 320–360 m²/kg oralig'ida bo'lishi fosforli antipirenlarning tutun kamaytiruvchi samaradorligini tasdiqlaydi.

4-jadval

Epoksid polimer kompozit qoplamaning kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti

Tarkib	Qavariqlanish harorati, °C	Kislorod indeksi, %	Tutun hosil qilish koeffitsienti, m ² /kg
Epoksid smola	—	17–18	425–430
Epoksid smola + tiokol kauchuk + kaolin + vermikulit + UNT + urotropin	250–350	35	350–362
Epoksid smola + tiokol kauchuk + kaolin + vermikulit + UNT + ammos	350–450	38	320–360

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, epoksid smolasi asosidagi qavariqlanuvchi kompozit qoplamalarda fosfor saqlovchi antipirenlarning qo'llanilishi tutun hosil qilish jarayonini pasaytiradi. Bu holat yonish jarayonida fosforli birikmalarning polimer matritsa bilan o'zaro ta'sirlashib, karbonlangan himoya qatlamini

shakllantirishi va uchuvchan yonuvchan mahsulotlarning ajralishini cheklashi bilan izohlanadi.

Qavariqlanuvchi himoya qatlaming hosil bo'lish mexanizmi. VEP-3 markali epoksid polimer kompozit qoplamaning yong'indan himoyalash samaradorligi qavariqlanuvchi himoya qatlaming hosil bo'lishi bilan bevosita bog'liq. Harorat ta'sirida kompozit tarkibidagi gaz hosil qiluvchi komponentlar parchalanib, uchuvchan mahsulotlar ajratadi. Shu bilan bir vaqtda antipirenlar polimer bog'lovchining karbonlanish jarayonini tezlashtiradi, mineral to'ldiruvchilar esa hosil bo'lgan qatlamning issiqlikka chidamliligini va mexanik barqarorligini oshiradi.

Natijada qoplama yuzasida ko'piksimon, g'ovak, past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega karbonlangan qatlam hosil bo'ladi. Ushbu qatlam issiqlik oqimining asosiy materialga o'tishini sekinlashtiradi, kislorodning polimer matritsaga kirib borishini cheklaydi, uchuvchan yonuvchan mahsulotlarning ajralishini kamaytiradi, alanga bilan bevosita kontaktni susaytiradi hamda qoplamaning o'tga chidamlilik muddatini oshiradi.

Demak, VEP-3 kompozitining yuqori samaradorligi alohida komponentning emas, balki

epoksid smola, tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin va ammos fos kabi komponentlarning kompleks sinergetik ta'siri bilan belgilanadi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida epoksid smolasi asosidagi VEP-3 markali polimer kompozit qoplamaning yuqori termik barqarorlik, qavariqlanuvchi himoya qatlam hosil qilish va o'tga chidamlilik xususiyatlariga ega ekanligi aniqlandi. Differensial-termogravimetrik tahlil kompozitning termik parchalanishi bir necha bosqichda kechishini ko'rsatib, yuqori haroratlarda karbonlangan barqaror himoya qatlam hosil bo'lishi tasdiqlandi. Termomexanik tahlil esa harorat ortishi bilan materialning yumshashi va qavariqlanuvchi struktura shakllanishini ko'rsatdi. Tarkibga tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, ammos fos, urotropin va PEPA kabi qo'shimchalar kiritilishi kislorod indeksini 35–38 % gacha oshirib, tutun hosil bo'lishini kamaytirdi. Natijalar modifikatsiyalangan VEP-3 kompozit qoplamaning issiqlik va yong'indan himoyalovchi samarali material sifatida qo'llash imkoniyatini ilmiy jihatdan asoslaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ruziev, R., Nurkulov, F., Rakhmankulov, A., & Djalilov, A. (2023). Investigation of physico-chemical properties of heat-protective polymer materials. *International Scientific Journal Science and Innovation, Series A*, 2(9), 176–179.
- [2] Кукушкин, В. А., Субботин, В. Е., Щепетова, А. Ю., & Яшин, Н. В. (2023). Огнезащитная эффективность и адгезионная прочность терморасширяющихся композиционных материалов на основе эпоксидных смол, окисленного графита и армирующих наполнителей. *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии*, 11.
- [3] Кукушкина, Ю. В., Зюкин, С. В., & Горбунова, И. Ю. (2011). Анализ кинетических моделей процесса отверждения композиции на основе ЭД-20 и диаминодифенилсульфона. *Успехи в химии и химической технологии*, 25(3), 119.
- [4] Рахмонкулов, А. А., Рўзиев, Р. Т., & Хайдаров, Т. З. (2022). Влияние электропроводящих наполнителей на структурные параметры и теплопроводность поливинилиденфторида. *Universum: технические науки*, 12(105), 5–10.
- [5] Shao, Z.-B., Zhang, J., Jian, R.-K., Sun, C.-C., Li, X.-L., & Wang, D.-Y. (2021). A strategy to construct multifunctional ammonium polyphosphate for epoxy resin with simultaneously high fire safety and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 149, 106529. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106529>
- [6] Yan, H., Wei, J., Yin, B., & Yang, M. (2015). Effect of the surface modification of ammonium polyphosphate on the structure and property of melamine–formaldehyde resin microencapsulated ammonium polyphosphate and polypropylene flame retardant composites. *Polymer Bulletin*, 72(10), 2723–2742. <https://doi.org/10.1007/s00289-015-1432-2>


- [7] Khaydarov, T. Z., Rahmankulov, A. A., Karimov, M. U., & Djalilov, A. T. (2023). Research of thermal analysis of polyethylene composites based on carbon nanotubes. *American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture*, 1(8), 69–72. <https://grnjournal.us/index.php/AJEMA/article/view/1094>
- [8] Муртазаев, К., Мухиддинов, Д., & Нуркулов, Ф. (2022). Наполненные эпоксидные композиты с повышенной огнестойкостью вспученные покрытия. *Аниқ фанлар серияси*, 3(133/1), 1–8. <https://doi.org/10.59251/2181-1296.v1.1312.116>
- [9] Wang, J., Wang, J., Yang, S., Xu, R., Ding, G., Liu, W., Sun, J., Chen, K., Duan, L., Zhou, G., Liu, X., & Huo, S. (2025). Metal-phosphorus-imidazole synergistic complexes for enhancing latency and fire safety in single-component epoxy resins. *Polymer Degradation and Stability*, 239, 111383. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2025.111383>
- [10] Khaydarov, T., & Qalandarov, F. (2025). Enhancing thermal stability of polyethylene composites through organo-inorganic modification. *Universum: Chemistry*, 137(11). <https://doi.org/10.32743/UniChem.2025.137.11.21041>
- [11] Рўзиев, Р. Т., Рахмонкулов, А. А., Нуркулов, Ф. Н., & Джалилов, А. Т. (2023). Исследование термических свойств высоконаполненных акриловых композиций. *Universum: технические науки*, 1(103), 17–19.
- [12] Рузиев, Р. Т., Рахмонкулов, А. А., Нуркулов, Ф. Н., & Джалилов, А. Т. (2023). Акрил сополимерлари асосидаги ВАМЖ-1 маркали иссиқликдан ҳимояловчи полимер композитли қопламанинг дериватаграмма ва СЭМ анализ натижаларини таҳлил қилиш. *ҚарДУ хабарлари*, 5/1(60), 7–11.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Rahmanqulov, A. A., Maxmanov, E. B., Xaydarov, T. Z., & Ro'ziyev, R. T. (2026). Binar to'ldiruvchilar asosida olingan epoksid polimer kompozit qoplamalarning termofizik va o'tga chidamlilik xossalarni tadqiq etish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar / Digital Technologies in Industry*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.18>

YENGIL SANOAT TARMOQLARI
ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
LIGHT INDUSTRIES

UO‘K: 677.21.021.151

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.13

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

LINTERLASH JARAYONI SAMARADORLIGINI OSHIRISH BO‘YICHA
ILMIY TADQIQOTLARNING ANALITIK TAHLILI VA TADQIQOT
YO‘NALISHINI ASOSLASH



**Nazirov Raxmatjon
Rasulovich**

Totali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti katta ilmiy xodim, t.f.n., dotsent, Toshkent, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0006-68325428



**Karimov Maxmud
Raxmatovich**

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, t.f.f.d., dotsent, Termiz, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0007-2321-0341
Science ID: FSD-1125-0019



**Abduqahorov
No‘monbek Oybek o‘g‘li**

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti tayanch doktaranti, Termiz, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0006-4340-8227
Science ID: FSD-0326-0039



**Muxammadiyev Umarali
Sheralievich**

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, t.f.f.d. (PhD), Termiz, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0005-5548-5257
Science ID: FSD-1125-0016

Annotatsiya. Mazkur maqolada linterlash jarayoni samaradorligini oshirish bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlil qilinib, mavjud linterlar konstruksiyasining afzallik va kamchiliklari o‘rganilgan. Tadqiqotlar natijasida linter ishchi kamerasidagi chigit to‘zitqichi konstruksiyasi jarayon samaradorligiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatishi aniqlanib, uni takomillashtirish ilmiy tadqiqotning asosiy yo‘nalishi sifatida asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: linterlash, momiq, chigit, to‘zitqich, arrali silindr, chigit valigi, ishchi kamera, unumdorlik, zichlik, linter.

Received: 08.05.2026

Accepted: 08.06.2026

Published: 29.06.2026

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО
ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЛИНТЕРОВАНИЯ И
ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Назиров Рохматжон
Расулович**

Научно-исследовательский институт волокнистых культур, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент, Ташкент, Узбекистан

**Каримов Махмуд
Рахматович**

Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент, Термез, Узбекистан

**Абдукахоров Нуманбек
Ойбек угли**

Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, базовый докторант, Термез, Узбекистан

**Мухаммадиев Умарали
Шералиевич**

Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Термез, Узбекистан

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор научных исследований, направленных на повышение эффективности процесса линтерования. Проведен анализ преимуществ и недостатков существующих конструкций линтеров. Установлено, что конструкция рыхлителя семян в рабочей камере оказывает существенное влияние на эффективность процесса, и обоснована необходимость его совершенствования как основного направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: линтерование, линт, семена хлопчатника, рыхлитель, пильчатый цилиндр, семенной валик, рабочая камера, производительность, плотность, линтер.

ANALYTICAL REVIEW OF SCIENTIFIC RESEARCH ON IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE LINTERING PROCESS AND JUSTIFICATION OF THE RESEARCH DIRECTION

**Nazirov Rakhmatjon
Rasulovich**

Research Institute of Fiber Crops,
Senior Research Fellow, Candidate
of Technical Sciences, Associate
Professor, Tashkent, Uzbekistan

**Karimov Makhmud
Rakhmatovich**

Termez State University of
Engineering and Agrotechnologies,
PhD in Technical Sciences,
Associate Professor, Termez,
Uzbekistan

**Abdukahorov Nomonbek
Oybek ugli**

Termez State University of
Engineering and Agrotechnologies,
Doctoral Researcher (PhD
Student), Termez, Uzbekistan

**Mukhammadiev Umarali
Sheralievich**

Termez State University of
Engineering and Agrotechnologies,
PhD in Technical Sciences, Termez,
Uzbekistan

Abstract. This article presents an analytical review of scientific research aimed at improving the efficiency of the lintering process. The advantages and disadvantages of existing linter designs were analyzed. The study revealed that the seed agitator design in the working chamber significantly affects process efficiency, and its improvement was substantiated as the main direction for further research.

Keywords: lintering, lint, cottonseed, seed agitator, saw cylinder, seed roll, working chamber, productivity, density, linter.

Kirish. Ma'lumki, linterning chigit bo'yicha o'tkazish qobiliyati momiq ajratib olish miqdoriga bog'liq. Linterlash jarayoni samaradorligi ko'p jihatdan chigit valigining zichligiga bog'liq bo'lib, bu zichlikni ta'minlash avtomatik tarzda zichlik regulatori orqali amalga oshirilishi lozim [1, 2].

Linterlash samaradorligini belgilaydigan muhim omillardan biri momiqni qirib olish intensivligi, ya'ni chigit massasi arra tishlari bo'ylab harakatanganda momiqning ajralishi va chigitlarning ishchi kameradan chiqarilishidir. Bu masala ko'plab tadqiqotchilar tomonidan o'rganilgan [3, 4, 5].

A.D. Bekmuxamedov tadqiqotlarida chigit valigining shakllanishi va uning harakatlanish jarayonida to'zitqich asosiy rol o'ynashi ko'rsatib berilgan. To'zitqich aylanishi natijasida chigitlar markazdan qochma kuch ta'sirida ishchi kamera devorlariga siljib, tashqi zich va ichki nisbatan siyrak halqasimon qatlamlarni hosil qiladi. Ushbu qatlamlarning o'lchamlari va joylashuvi kamera kesimi hamda profiliga bog'liq holda o'zgaradi [6].

ЦНИИХпром olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlar to'zitqichning diametri, ishchi kameradagi joylashuvi va aylanish chastotasi linter unumdorligiga bevosita ta'sir ko'rsatishini aniqlagan [7–9]. Jumladan, to'zitqich diametrining 115 mm dan 130 mm gacha oshirilishi chigit valigining aylanish tezligi hamda mashina unumdorligini yaxshilagan. Diametrni 180 mm gacha kattalashtirish va ishchi kamera hajmini kengaytirish ham unumdorlikni oshirgan bo'lsa-da, energiya sarfining ortishi va chigit valigi massasining ko'payishiga sabab bo'lgan.

B.A. Levkovich tadqiqotlarida to'rtta plankali to'zitqich eng samarali konstruktsiya sifatida tavsiya etilgan. Mazkur natijalar keyinchalik S.P. Ivanov va I.I. Xoxlov tomonidan ham tasdiqlangan. Ular 5LP linterida 2 tadan 8 tagacha plankali to'zitqichlarni sinovdan o'tkazib, eng yuqori samaradorlik aynan 4 plankali variantda kuzatilganini qayd etganlar [10]. Biroq ushbu tadqiqotlarda plankalar soni o'zgartirilgan bo'lsa-da, to'zitqich diametri va uning ishchi kameradagi joylashuvi bir xil

saqlangan.

I.I. Xoxlov linterlash jarayonining tezlik rejimlarini o'rganib, to'zitqich aylanish chastotasi linterning ish unumdorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini aniqlagan va uning qiymatini arrali silindr aylanish chastotasining 55–65 % oralig'ida tanlashni tavsiya etgan [10]. Shunga qaramay, amaliy sharoitlarda aylanish chastotalaridan ko'ra ishchi organlarning chiziqli tezliklari nisbatini hisobga olish maqsadga muvofiqroq deb qaraladi.

Linterlash samaradorligini oshirish hamda momiq sifatiga qo'yiladigan talablarning kuchayishi natijasida 1970–1980-yillarda PMP-160M va 5LP rusumli zamonaviy linterlar ishlab chiqilib, sanoat korxonalarida joriy etilgan.

Bu mashinalarda linterlash jarayoni chigitlar oqimini ishchi kameraga berish va arralar tishlari orqali chigit yuzasidan momiqni qirib olish orqali amalga oshiriladi. Momiq ajratish darajasi to'zitqich plankasi vertikal qismi uchi bilan arrali silindr garniturasida yuzasi orasidagi masofa bilan belgilanadi. Momiq ajratish foizining pastligi (1,5–2,0 %) tufayli chigitlarni ishchi kameradan chiqarish qiyinlashadi. Bu esa ularning linterlash zonasida uzoq turishiga, mexanik shikastlanishining ortishiga va momiq sifati pasayishiga olib keladi.

Texnik tavsiflarga ko'ra, 5LP linterining unumdorligi: birinchi linterlashda: 2000–2300 kg/soat; ikkinchi va uchinchi linterlashda: mos ravishda 1500–1700 va 1200–1300 kg/soatni tashkil etadi [11, 12, 13].

Ammo amaliyot va tajribalar shuni ko'rsatadiki, seriyali ishchi kamera va standart to'zitqich bilan jihozlangan 5LP linteri texnik tavsifnomasida ko'rsatilgan unumdorlikning faqat 50–60 % ini ta'minlaydi [11].

Tadqiqot metadalogiyasi Mashinalar unumdorligining pasayishi va mahsulot sifati yomonlashishining asosiy sabablaridan biri — to'zitqich konstruksiyasining takomillashmaganligidir (1-rasm). To'zitqich linterning asosiy ishchi organlaridan biri bo'lib, u aylanuvchi chigit valigini hosil qiladi va unga zarur zichlik beradi. Shu orqali linterlash jarayoni samaradorligi uchun asosiy shart-sharoit yaratiladi.

Chigit valigining zichlashuvi asosan plankalar orasidagi chigit massasining radial ko'chishi hisobiga amalga oshadi. Shu bilan birga, to'zitqich aylanganda chigitlar tashqi halqasimon qatlam bilan

o'zaro ta'sirlashib, uning aylanishini ta'minlaydi. Biroq konstruksiya kamchiliklari tufayli to'zitqich plankalari chigit valigida hosil bo'ladigan ariqchalarni to'liq bartaraf etmaydi. Bu esa arralar tishlarining, ayniqsa ularning yon yuzalari orqali momiqni qirib olishni cheklaydi va natijada mashinalar unumdorligi hamda momiq sifati pasayadi.

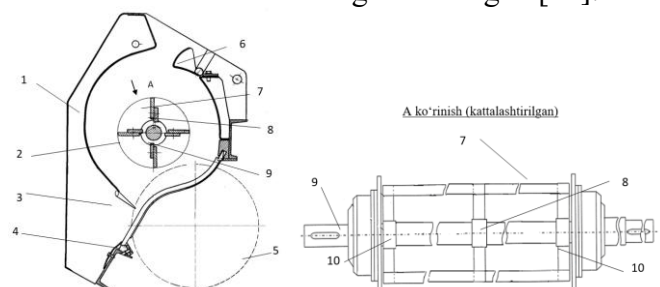
Shu sababli ishlab chiqarish talablarini qondirish uchun texnologik liniyalarda ikki batareya linter o'rnatiladi (PDI 30-2012), har biri 6 ta 5LP mashinalaridan iborat (jami 12 ta). Bu esa texnologik jarayonning murakkablashishiga, kapital va ekspluatatsiya xarajatlarining oshishiga hamda mahsulot tannarxining ko'payishiga olib keladi [11].

Linterlarning bosqichma-bosqich takomillashuvini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqarish ko'rsatkichlarining oshishi asosan quyidagi omillar bilan bog'liq:

- linter ishchi kamerasi hajmining oshirilishi;
- to'zitqich diametri va aylanish chastotasining oshirilishi;
- arrali silindr validagi arralar sonining ko'paytirilishi.

Biroq bu o'zgarishlar umumiy kamchilikka ega bo'lib, energiya sarfining oshishi, kapital va ekspluatatsiya xarajatlarining ko'payishi, momiq va chigit sifati pasayishi, mahsulot tannarxining oshishi hamda texnologik jarayonning murakkablashuviga olib keladi.

So'nggi yillarda xorij amaliyotida Xitoyda ishlab chiqarilgan MR-144D rusumli linterlar qo'llanilmoqda. Ular "Lebed" kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilib, "BEKTEMIR CHIGITNI LINTERLASH" korxonasiga o'rnatilgan [11].



1-rasm. 5LP linterining ishchi kamerasi sxemasi.

- 1 — ishchi kamera; 2 — to'zitqich; 3 — chigit tarog'i; 4 — kolosnik; 5 — arraliy silindr; 6 — zichlik klapani; 7 — plank; 8 — krestovina; 9 — val; 10 — flanes.

Tadqiqot natijalari. Xorijiy linterlarni o'rganish natijasida MR-144D linterlari konstruktsiya jihatdan mahalliy POM-160 linterlariga o'xshash ekanligi aniqlandi. Farqli jihatlari quyidagilar (2-rasm):

- ishchi kamera ko'ndalang kesim yuzasining kichraytirilganligi;

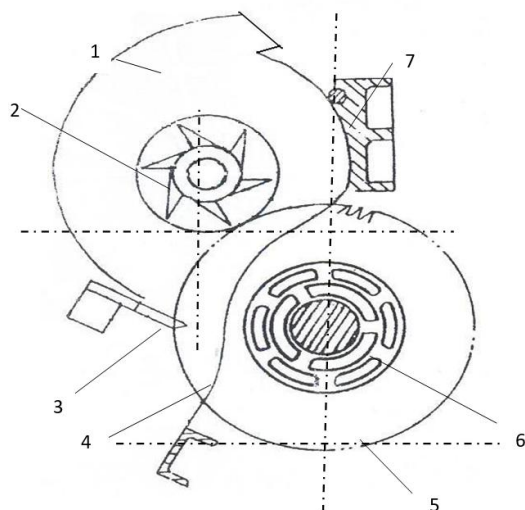
- kolosniklar profili konfiguratsiyasining o'zgartirilganligi;

- arralar sonining 144 tagacha kamaytirilishi (oraliq masofa 10 mm gacha oshirilgan);

- to'zitqich plankalari sonining 6 tagacha ko'paytirilishi;

- to'zitqich diametri taxminan 150 mm bo'lishi.

Bundan tashqari, Xitoy linterlarida momiq arralar tishlaridan havo yordamida emas, balki o'z-o'zidan tushirish usuli bilan ajratiladi. Bu esa ishlab chiqarish sexida changlanishni oshiradi va momiq yo'qotishlariga olib keladi.



2-rasm. MR-144D linterining ishchi kamerasi sxemasi

1 — ishchi kamera; 2 — to'zitqich; 3 — chigit tarog'i; 4 — kolosnik; 5 — arrali silindr; 6 — arra oraliq qistirmasi; 7 — zichlik klapani.

Aksincha, mahalliy linterlarda momiq havo oqimi yordamida arralardan ajratilib, konfuzorga uzatiladi, bu esa havo ifloslanishini va momiq yo'qotilishini kamaytiradi.

Xitoy linterlarining ishlash prinsipi asosan mahalliy linterlarga o'xshash. Ularning texnik ko'rsatkichlariga ko'ra unumdorlik: birinchi linterlashda: 3500–4500 kg/soat; ikkinchi va uchinchi linterlashda: mos ravishda 1000–1500 va 750–1000 kg/soatni tashkil etadi [11].

Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, chigitlarning boshlang'ich tukdorligi 11,6% va momiq ajratish o'rtacha 2,1% bo'lgan holda, Xitoy MR-144D linterining haqiqiy unumdorligi chigit bo'yicha 750 kg/mash.soatgacha, lint bo'yicha esa 30 kg/mash.soatgacha yetadi. BEKTEMIR CHIGITNI LINTERLASH" korxonasi o'tkazilgan tadqiqotlar natijalari Xitoy linterlari mahalliy linterlarga nisbatan sezilarli ustunlikka ega emasligini ko'rsatdi [11].

Xulosa va takliflar. Yuqorida keltirilgan tahlil va ishlash prinsiplari umumlashtirib, shunday xulosaga kelish mumkinki, asosiy ishchi organ — to'zitqich konstruktsiyasining mukammal emasligi sababli chigitlarning o'q bo'ylab harakati ta'minlanmaydi hamda arrali silindr arralarining yon yuzalarini linterlash jarayoniga jalb etish yetarli darajada amalga oshmaydi. Bu esa mashinalarning chigit va momiq bo'yicha unumdorligini pasaytiradi, momiq va chigit sifati yomonlashadi, elektr energiyasi va resurslar sarfi ortib ketadi. Shuning uchun mazkur ilmiy tadqiqot ishining yo'nalishi sifatida linter ishchi kamerasidagi chigit to'zitqichini takomillashtirish tanlab olindi, natijada linterlash jarayoni samaradorligini oshirish, sifatli mahsulot ishlab chiqarish, mashinalar ishonchliligi va unumdorligini oshirish hamda kapital va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishga erishish kutilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Сулаймонов, Р. Ш., Каримов, У. К., & Маруфханов, Б. Х. (2014). Совершенствование базовых звеньев пыльного линтера и его освоение в производстве. Работа 01. Совершенствование рабочих органов линтера 5ЛП (Отчет НИР № 1406). АО «Пахта sanoat ilmiy markazi».
- [2] Дьячков, В. В., Фадин, А. А., & Бакиев, Р. А. (1990). Создание модернизированного пыльного линтера с элементами автоматического управления его работой (Отчет ЦНИИХпрома). ЦНИИХпром.

- [3] Нуралиев, Э. К. (1990). Повышение эффективности линтерования хлопковых семян путем совершенствования рабочей камеры линтера (Кандидатская диссертация). ТИТЛП.
- [4] Махмудов, Ю. А. (1994). Совершенствование рабочей камеры и процесса линтерования с целью повышения эффективности выработки линта (Кандидатская диссертация). ТИТЛП.
- [5] Искандаров, К. К. (1998). Повышение эффективности линтерования хлопковых семян путем совершенствования рабочих органов камеры линтера (Кандидатская диссертация). ТИТЛП.
- [6] Бекмухамедов, А. Д. (1972). Пути повышения производительности и улучшения качества продукции пильных линтеров (Кандидатская диссертация). ТИТЛП.
- [7] Омонов, Ф. Б. (Ред.). (2008). Пахтани дастлабки ишлаш бўйича справочник. Voris-nashriyot.
- [8] Салимов, А. М., & Исмоилов, А. (2018). Саноат соҳалари технологияси. ТИТЛП.
- [9] Салимов, А. М. (2018). Товаршунослик. ТИТЛП.
- [10] Лугачев, А. Е., Мардонов, Б. М., Сулаймонов, Р. Ш., Пайзиев, Б. И., & Лугачев, А. А. (2009). Разработка теоретических основ линтерования и очистки линта в технологическом процессе (Отчет НИР). ТИТЛП.
- [11] Сулаймонов, Р. Ш., & Мадрахимов, Д. У. (2012). Модернизация и внедрение линтера 5ЛП (Отчет НИР № 25у-2011). АО «Рахтасаноат ilmiy markazi».
- [12] Зикриёев, Э. (Ред.). (1999). Первичная переработка хлопка-сырца. Мехнат.
- [13] Салимов, А. М., Лугачев, А. Е., & Ходжиев, М. Т. (2018). Технология первичной обработки хлопка. Адабиёт учкунлари.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Nazirov, R. R., Karimov, M. R., Abduqahorov, N. O. O., & Muxammadiyev, U. Sh. (2026). Linterlash jarayoni samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarning analitik tahlili va tadqiqot yo'nalishini asoslash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.13>

EKOLOGIYA, MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI
ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

UO'K: 628.3:541.18

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.4

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

KOAGULYATSIYA JARAYONI ASOSIDA SANOAT OQAVA SUVLARINI
TOZALASHNING NAZARIY ASOSLARI VA AMALIY YONDASHUVLARI



**Ikromov Abdulaziz
A'zamovich**

Toshkent davlat texnika universiteti
doktoranti, Toshkent, O'zbekiston
Science ID: FTN-0625-0027



**Urinov Ulug'bek
Komiljonovich**

Toshkent davlat texnika universiteti,
texnika fanlari doktori, Toshkent,
O'zbekiston



**Fayziyev Jahongir
Bahromovich**

Toshkent kimyo texnologiya ilmiy
tadqiqot instituti, texnika fanlari
doktori, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada sanoat oqava suvlarini tozalashda keng qo'llaniladigan koagulyatsiya–flokulyatsiya jarayonining ilmiy asoslari hamda ilg'or texnologik yondashuvlari tahlil qilinadi. Koagulyatsiya jarayoni kolloid va mayda dispers zarrachalarni destabilizatsiya qilish orqali ularni yirik floklarga birlashtirish va keyinchalik cho'ktirish imkonini beruvchi samarali fizik-kimyoviy usul sifatida qaraladi. Tadqiqotda metall asosli va metall bo'lmagan koagulyantlarning turlari, ularning xossalari hamda qo'llanish samaradorligi mavjud ilmiy manbalar asosida solishtirma tarzda o'rganildi. Shuningdek, jarayon samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillar, jumladan pH muhiti, koagulyant dozalari, harorat, aralashtirish sharoitlari va kolloid tizimlarning xususiyatlari tizimli ravishda tahlil qilindi. Turli sanoat oqava suvlarining fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari asosida koagulyatsiya jarayonining qo'llanilish imkoniyatlari baholandi. Olingan tahliliy natijalar koagulyatsiya asosidagi tozalash texnologiyalarini takomillashtirish, optimal ish sharoitlarini aniqlash hamda samarali texnologik yechimlarni ishlab chiqishda ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Sanoat oqava suvlari, koagulyatsiya jarayoni, flokulyatsiya, koagulyantlar, suvni tozalash texnologiyalari, fizik-kimyoviy usullar, tozalash samaradorligi.

Received: 05.05.2026

Accepted: 15.05.2026

Published: 29.06.2026

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К
ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ
ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ

Икромов Абдулазиз
Азамович

Докторант, Ташкентский
государственный технический
университет, Ташкент,
Узбекистан

Уринов Улугбек
Комилжонович

Доктор технических наук,
Ташкентский государственный
технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Файзиев Жахонгир
Бахромович

Ташкентский химико-
технологический научно-
исследовательский институт,
доктор технических наук,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматриваются научные основы и современные технологические подходы к процессу коагуляции–флокуляции, широко применяемому при очистке промышленных сточных вод. Процесс коагуляции рассматривается как эффективный физико-химический метод, обеспечивающий дестабилизацию коллоидных и мелкодисперсных частиц с последующим их объединением в крупные флокулы и осаждением. В исследовании проведён сравнительный анализ различных типов коагулянтов (на основе металлов и неметаллических соединений), их свойств и эффективности применения на основе существующих научных источников. Также системно проанализированы основные факторы, влияющие на эффективность процесса, включая pH среды, дозировку коагулянтов, температуру, условия перемешивания и характеристики коллоидных систем. На основе физико-химических показателей различных промышленных сточных вод оценены возможности применения коагуляционного метода. Полученные результаты служат научной основой для совершенствования технологий очистки воды, определения оптимальных условий процесса и разработки эффективных технологических решений.

Ключевые слова: промышленные сточные воды, коагуляция, флокуляция, коагулянты, технологии очистки воды, физико-химические методы, эффективность очистки.

THEORETICAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL APPROACHES TO INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT BASED ON THE COAGULATION PROCESS

Ikromov Abdulaziz
Azamovich

Doctoral student, Tashkent State
Technical University, Tashkent,
Uzbekistan

Urinov Ulugbek
Komiljonovich

Doctor of Technical Sciences,
Tashkent State Technical
University, Tashkent, Uzbekistan

Fayziyev Jahongir
Bahromovich

Doctor of Technical Sciences,
Tashkent Chemical-Technological
Research Institute, Tashkent,
Uzbekistan

Abstract. This article examines the scientific foundations and advanced technological approaches to the coagulation–flocculation process widely used in the treatment of industrial wastewater. Coagulation is considered an effective physicochemical method that enables the destabilization of colloidal and finely dispersed particles, followed by their aggregation into larger flocs and subsequent sedimentation. The study provides a comparative analysis of various types of coagulants (metal-based and non-metal-based), their properties, and application efficiency based on existing scientific sources. Additionally, the main factors affecting process efficiency, including pH conditions, coagulant dosage, temperature, mixing conditions, and characteristics of colloidal systems, are systematically analyzed. Based on the physicochemical parameters of different industrial wastewaters, the applicability of the coagulation process is evaluated. The obtained results serve as a scientific basis for improving water treatment technologies, determining optimal operating conditions, and developing effective technological solutions.

Keywords: industrial wastewater, coagulation process, flocculation, coagulants, water treatment technologies, physicochemical methods, treatment efficiency.

Kirish. Sanoat oqava suvlarini samarali | tozalash bugungi kunda ekologik barqarorlikni

ta'minlash va suv resurslaridan oqilona foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu yo'nalishda koagulyatsiya–flokulyatsiya jarayoni yuqori tezlikda kechishi hamda loyqalilik, og'ir metall ionlari va kolloid zarrachalarni samarali bartaraf etish qobiliyati bilan ajralib turadi [3]. Jarayon davomida suspenziyadagi mayda zarrachalar zaryadlarining neytrallanishi natijasida yirik floklar hosil bo'ladi va ular cho'ktirish orqali suvdan ajratiladi, bu esa tozalash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Shu sababli mazkur usul sanoat miqyosidagi oqava suvlarni tozalash texnologiyalari orasida eng keng qo'llaniladigan yondashuvlardan biri hisoblanadi. Biroq koagulyatsiya jarayoni har doim ham ideal sharoitda kechmaydi. Masalan, past harorat sharoitida mayda va mustahkam bo'lmagan floklar hosil bo'lishi mumkin, ular tashqi mexanik ta'sirlar ostida oson parchalanadi va cho'kish jarayonini qiyinlashtiradi. Bu holat tozalash samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu bois, jarayonni optimallashtirish, ya'ni koagulyatsiya va flokulyatsiya bosqichlarini takomillashtirish orqali yuqori sifatli tozalangan suv olish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Amaliyotda ushbu muammolarni bartaraf etish maqsadida koagulyatsiya yordamchi moddalaridan foydalaniladi [7]. Ular hosil bo'ladigan floklarning cho'kish tezligini oshiradi, zarrachalarning birikishini kuchaytiradi va natijada suvni ajratish jarayonini yaxshilaydi. So'nggi yillarda turli xil noorganik va organik tabiatga ega koagulyantlar sanoat va maishiy oqava suvlarni tozalashda keng qo'llanilmoqda. Shu bilan birga, oddiy cho'ktirish yoki filtrlash usullari asosan suspenziyadagi zarrachalarni ajratishda samarali bo'lsa-da, erigan moddalar va kolloid tizimlarni bartaraf etishda yetarli natija bermaydi. Aynan koagulyatsiya–flokulyatsiya jarayoni kolloid zarrachalarni samarali olib tashlashga imkon beruvchi asosiy texnologik bosqich hisoblanadi [2].

Koagulyatsiya jarayonining nazariy asoslari va mexanizmlari. Koagulyatsiya suv va sanoat oqava suvlarini tozalashda keng qo'llaniladigan asosiy fizik-kimyoviy jarayonlardan biri bo'lib, u yuqori samaradorligi va texnologik jihatdan soddaligi bilan ajralib turadi. Ushbu jarayon mikro-kolloid zarrachalar va suspenziyadagi qattiq moddalarni ajratib olishda muhim rol o'ynaydi. Koagulyatsiya jarayonida maxsus

reagentlar — koagulyantlar qo'llanilib, ular zarrachalar yuzasidagi elektr zaryadlarni neytrallash orqali ularning bir-biriga yaqinlashishi va yiriklashishini ta'minlaydi [6]. Natijada yirik floklar hosil bo'lib, ular keyinchalik cho'ktirish yoki filtrlash orqali suvdan ajratiladi.

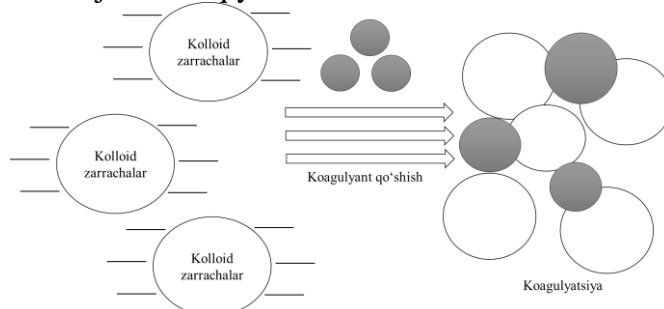
Koagulyatsiya mexanizmi bir qator omillarga bog'liq bo'lib, ularga muhitning pH darajasi, koagulyant miqdori, zarrachalarning zaryad xususiyatlari va eritmaning fizik-kimyoviy holati kiradi. Mazkur parametrlarning o'zaro ta'siri koagulyatsiya samaradorligini belgilaydi (1-rasm). Optimal sharoitlarda zarrachalarning destabilizatsiyasi tezlashadi va yirik, barqaror floklar hosil bo'ladi. Aks holda, hosil bo'lgan floklar mayda yoki beqaror bo'lishi mumkin.

1-jadval

Sanoat oqava suvlarining asosiy fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari

Oqava suv manbai	COD (mg O ₂ /l)	BOD ₅ (mg O ₂ /l)	Polifenollar miqdori (mg/l)	pH oralig'i	Biodegradatsiya indeksi
Chiqindi poligon filtrati	25000–60000	4000–15000	–	>7.5	<0.1
Farmatsevtika sanoati	7893–32500	1692–6000	–	4.0–9.2	0.09–0.59
Qog'oz-sellyuloza sanoati	1500–3800	560–1200	190–220	8–10	<0.2
Maishiy oqava suvlar	500–1000	250–500	–	7.2–8.4	>0.5

Suv tizimlarida uchraydigan kolloid zarrachalar asosan ikki turga ajratiladi: gidrofob va gidrofil kolloidlar. Gidrofob kolloidlar, masalan, loy zarrachalari va gidratlanmagan metall oksidlari, nisbatan beqaror bo'lib, ular koagulyatsiya jarayonida oson destabilizatsiyalanadi. Aksincha, gidrofil kolloidlar, jumladan sovun va ayrim organik moddalar, suv bilan mustahkam bog'langanligi sababli yuqori barqarorlikka ega bo'ladi va ularni ajratish nisbatan murakkab hisoblanadi. Bunday kolloidlar suvda barqaror dispers tizim hosil qilib, oddiy cho'ktirish usullari bilan ajratilishi qiyin kechadi.



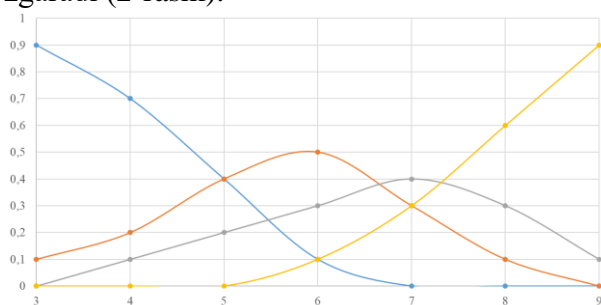
1-rasm. Koagulyatsiya sxemasi.

Koagulyatsiya jarayoni asosan suv tarkibidagi suspenziyadagi zarrachalarni ajratishga qaratilgan bo'lsa-da, uning samaradorligi zarrachalarning kelib chiqishi, kimyoviy tarkibi, o'lchami, shakli va zichligiga bevosita bog'liq. Shu sababli koagulyant turini to'g'ri tanlash va jarayon parametrlarini ilmiy asosda optimallashtirish muhim hisoblanadi [9]. Mazkur yondashuv sanoat oqava suvlarini chuqur tozalashda koagulyatsiya asosidagi ilg'or texnologiyalarni ishlab chiqish uchun nazariy va amaliy asos yaratadi.

Koagulyant tanlashning ilmiy asoslari.

Koagulyant tanlash suv va sanoat oqava suvlarini tozalash jarayonida muhim bosqich hisoblanadi, chunki har bir koagulyant ma'lum fizik-kimyoviy xususiyatlarga ega suv muhitida maksimal samaradorlikni namoyon etadi. Oqava suv tarkibi, jumladan uning kimyoviy va fizik ko'rsatkichlari, optimal koagulyant turini va uning dozasini aniqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Kimyoviy koagulyantlardan foydalanish sanoat oqava suvlarini dastlabki tozalashning asosiy usullaridan biri bo'lib, ular zarrachalar o'lchamini kattalashtirib, ularning tezroq cho'kishiga yordam beradi [1].

Amaliyotda keng qo'llaniladigan koagulyantlardan biri alyuminiy sulfat bo'lib, u iqtisodiy jihatdan maqbul va samaradorligi yuqori reagent hisoblanadi. Ushbu modda suvga qo'shilganda gidrolizlanib, alyuminiy gidroksidi hosil qiladi va kolloid zarrachalarni o'ziga biriktirib, floklar shakllanishiga olib keladi. Alyuminiy sulfatning samaradorligi muhitning pH qiymatiga bog'liq bo'lib, odatda neytralga yaqin sharoitlarda yuqori natija beradi. Gidroliz jarayonida hosil bo'ladigan alyuminiy ionlari turli shakllarda mavjud bo'lib, ularning xossalari pH va haroratga bog'liq ravishda o'zgaradi (2-rasm).



2-rasm. pH ga bog'liq holda alyuminiy gidroliz mahsulotlari (Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$).

$Al(OH)_3$ ning taqsimlanish diagrammasi.

Temir asosidagi koagulyantlar ham sanoat oqava suvlarini tozalashda keng qo'llaniladi. Jumladan, temir (III) xlorid organik moddalarni olib tashlash va rangsizlantirishda yuqori samaradorlikka ega. Ushbu koagulyantlar suvga qo'shilganda metall kationlar gidrolizlanib, polimer tuzilishga ega faol zarrachalarni hosil qiladi. Temir tuzlarining samaradorligi muhitning pH qiymatiga sezilarli darajada bog'liq bo'lib, ular kislotali sharoitda yanada faolroq bo'ladi. Past pH qiymatlarida erigan temir turlari musbat zaryadga ega bo'lib, kolloid zarrachalarni samarali destabilizatsiya qiladi, ishqoriy muhitda esa ularning zaryadi manfiy tomonga o'zgaradi.

So'nggi yillarda oldindan gidrolizlangan koagulyantlar, xususan polialyuminiy xlorid keng qo'llanila boshladi. Ushbu koagulyantning afzalligi shundaki, u pH o'zgarishlariga nisbatan kam sezgir bo'lib, past harorat sharoitida ham yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Bundan tashqari, u floklar hosil qilish jarayonini tezlashtiradi va suvda qoldiq alyuminiy miqdorini kamaytiradi. Shu jihatdan, polialyuminiy xlorid an'anaviy alyuminiy sulfatga nisbatan bir qator ustunliklarga ega bo'lib, zamonaviy suv tozalash texnologiyalarida muhim o'rin egallaydi.

Koagulyatsiya yordamchi moddalari tanlovi. Koagulyatsiya jarayonida yordamchi moddalarni to'g'ri tanlash tozalash samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Kationik polimerlar suv tarkibidagi zarrachalarning elektr zaryadlarini neytrallashtirish orqali ta'sir ko'rsatadi. Agar kolloid zarrachalar manfiy zaryadga ega bo'lsa, ushbu polimerlar ularni barqaror holatdan chiqarib, o'zaro yaqinlashishini ta'minlaydi. Natijada flokulyatsiya jarayoni sodir bo'lib, destabilizatsiyalangan zarrachalar gidravlik aralash-tirish kuchlari ta'sirida bir-biri bilan to'qnashadi va yirik agregatlar hosil qiladi. Dastlab mikrofloklar shakllanadi, keyinchalik ular yiriklashib, ko'zga ko'rinadigan floklar massalariga aylanadi.

Polielektrolitlar koagulyatsiya jarayonida keng qo'llaniladigan samarali yordamchi reagentlar hisoblanadi. Ular kam miqdorda qo'llanilganda ham yuqori natija beradi va noorganik koagulyantlarga nisbatan yaxshi eruvchanlik, yuqori samaradorlik hamda texnologik ustunliklarga ega. Shu bilan birga, ilmiy tadqiqotlarda tabiiy mineral asosidagi

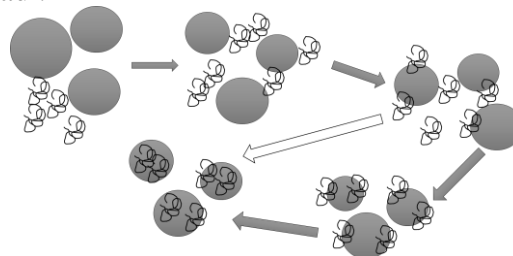
adsorbentlar, xususan bentonitdan foydalanish imkoniyatlari ham keng o'rganilgan. Bentonit murakkab tarkibli gil minerali bo'lib, uning tarkibida kremniy oksidlari, kvarts, kristobalit, opal, shuningdek feldshpat, slyuda, zeolit kabi silikat minerallari hamda ishqoriy yer metallari birikmalari mavjud.

Bentonitning o'ziga xos xususiyati uning nisbatan past manfiy zaryadga egaligidir, bu esa floklarning o'zaro birikishini osonlashtirib, yirik, zich va tez cho'kuvchi strukturalar hosil bo'lishiga olib keladi. Koagulyant bilan birgalikda qo'llanilganda bentonit suvni tiniqlashtirish jarayonini sezilarli darajada yaxshilaydi. Bundan tashqari, bentonitning tarkibiy xususiyatlari tufayli muhitning pH qiymati ortishi kuzatiladi, bu esa koagulyatsiya jarayonida gidrolizlangan zarrachalar shakllanishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Koagulyatsiya jarayoniga ta'sir etuvchi asosiy omillar. Koagulyatsiya–flokulyatsiya jarayonining samaradorligi bir qator texnologik va fizik-kimyoviy omillarga bog'liq bo'lib, ular jarayonning borishi va yakuniy natijaga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ushbu omillar qatoriga koagulyant miqdori, muhitning pH qiymati, aralashtirish tezligi, vaqt parametrlari hamda harorat kiradi. Optimal pH qiymati zarrachalarning zeta-potensialini, qoldiq loyqalilik darajasi hamda ifloslantiruvchilarni ajratib olish samaradorligini belgilaydi. Koagulyantlarning samaradorligi aynan ular uchun mos pH diapazonida maksimal bo'ladi. Shu bilan birga, pH qiymatining o'zgarishi eritmadagi gidroliz jarayonlari va eruvchanlikka ta'sir ko'rsatib, adsorbsiya mexanizmlarini boshqaradi. Koagulyantlar suvga qo'shilganda uning pH qiymatini o'zgartirishi mumkin, ayniqsa asosiyli yuqori bo'lgan reagentlarda polimer shakllar ulushi ortadi. Loyqalilik suv sifatining muhim ko'rsatkichlaridan biri bo'lib, u asosan suspenziyadagi zarrachalar miqdoriga bog'liq. Loyqalilik ortishi suv sifatining yomonlashuviga olib keladi va uni kamaytirish koagulyatsiya jarayonining asosiy maqsadlaridan biri hisoblanadi.

Harorat ham jarayon samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Past harorat sharoitida kolloid zarrachalar barqarorlashadi, metall ionlarining gidroliz reaksiyalari sekinlashadi va natijada zarrachalarni ajratib olish samaradorligi pasayadi. Bunday sharoitda mayda va beqaror floklar hosil

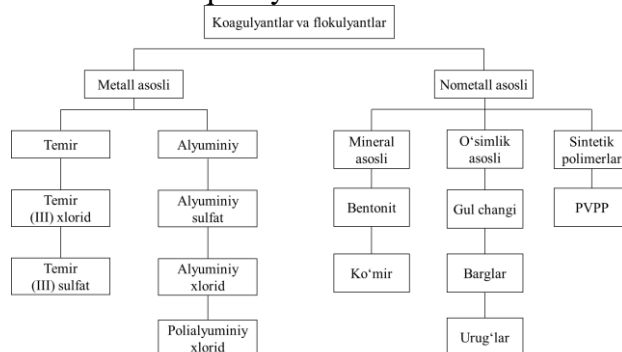
bo'lishi kuzatiladi. Shu bilan birga, temir asosidagi koagulyantlarda past haroratda gidroliz jarayonlari nisbatan tezroq kechib, $Fe(OH)_3$ cho'kmasi hosil bo'lishi orqali yirik floklar shakllanishiga imkon yaratadi.



3-rasm. Polimer asosidagi koagulyatsiya jarayonining prinsipi.

Koagulyatsiya jarayonida polielektrolitlardan foydalanish zarrachalar zaryadini neytrallash va ular orasida bog'lanish hosil qilish orqali floklar hosil bo'lishini kuchaytiradi (3-rasm). Kationik polimerlar manfiy zaryadlangan kolloid zarrachalarni destabilizatsiya qilib, ularning o'zaro to'qnashuv ehtimolini oshiradi. Yuqori dozadagi koagulyant qo'llanilganda "tortib olish koagulyatsiyasi" mexanizmi yuzaga kelib, kolloid zarrachalar yirik agregatlar tarkibiga tortiladi. Zeta-potensialning kamayishi va qarama-qarshi zaryadli flokulantlar qo'llanishi zarrachalarning birikish samaradorligini oshiradi.

Koagulyatsiya–flokulyatsiya jarayoni odatda tez aralashtirish bosqichi bilan boshlanib, undan keyin sekin aralashtirish va cho'ktirish bosqichlari bilan davom etadi. Aralashtirish vaqti va intensivligi, shuningdek apparatning geometrik xususiyatlari floklar hosil bo'lish jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Flokulyatsiya vaqti eritma tarkibiga qarab o'zgaradi, biroq ko'pincha qisqa muddatli tez aralashtirish bosqichi yetarli hisoblanadi.



4-rasm. Oqava suvlarni tozalashda qo'llaniladigan metall va metall bo'lmagan

koagulyantlar.

Koagulyatsiya jarayonini samarali amalga oshirish uchun turli turdagi koagulyantlardan foydalaniladi. Ular o'zining kelib chiqishi va kimyoviy tarkibiga ko'ra asosan metall asosli hamda metall bo'lmagan koagulyantlarga ajratiladi. Har bir guruh o'ziga xos fizik-kimyoviy xususiyatlarga ega bo'lib, muayyan sharoitlarda turli darajadagi samaradorlikni ta'minlaydi. Shu bois, koagulyant turini tanlash jarayonida suv tarkibi, pH muhiti va texnologik sharoitlar inobatga olinadi. Mazkur tasnif koagulyatsiya jarayonining ilmiy asoslarini tushunishda muhim ahamiyatga ega bo'lib, tegishli sxema orqali ifodalangan (4-rasm).

2-jadval

Koagulyantlarning afzallik va kamchiliklari

Koagulyant	Afzalliklari	Kamchiliklari
Alyuminiy sulfat (Al ₂ (SO ₄) ₃)	Arzon va keng qo'llaniladi. Taxminan pH ≈ 3.5 eritma hosil qiladi. Qo'llash oson.	Ortiqcha qo'llansa suvda qoldiq metall hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan cho'kma yuqori namlikka ega va suvsizlantirish qiyin.
Temir(III) xlorid (FeCl ₃)	Flok hosil qilish xususiyatlari yaxshi. Alyuminiy sulfatga o'xshash pH diapazonida samarali.	Korroziyaga ega, eritilishi qiyin. Ortiqcha qo'llansa suvda temir miqdori oshadi.
Kalsiy gidroksid (Ca(OH) ₂ , ohak)	Arzon va qo'llash oson. Polifenollar, yog' va COD ni kamaytiradi.	pH tez oshadi va ishqoriy muhit yuzaga keladi.
Polialyuminiy xlorid	Zarrachalarni yuqori samaradorlik bilan olib tashlaydi. pH kamayishi kam, kimyoviy sarf kamayadi.	Sog'liq uchun potensial xavf mavjud bo'lishi mumkin, jumladan nevrologik ta'sirlar.

Xulosa. Mazkur maqolada sanoat oqava suvlarini tozalashda koagulyatsiya–flokulyatsiya jarayonining ilmiy asoslari hamda zamonaviy

texnologik yondashuvlari tahlil qilindi. O'rganishlar natijasida ushbu jarayon kolloid va mayda dispers zarrachalarni destabilizatsiya qilish orqali ularni yirik floklarga birlashtirish va samarali ajratish imkonini beruvchi muhim fizik-kimyoviy usul ekanligi aniqlandi. Koagulyatsiya samaradorligi koagulyant turini tanlash, pH muhiti, reagent dozalari, harorat va aralashtirish sharoitlariga bevosita bog'liq bo'lib, optimal parametrlar tanlanganda yuqori tozalash darajasiga erishish mumkin. Alyuminiy va temir asosidagi koagulyantlar keng qo'llanilishi bilan birga, polialyuminiy xlorid kabi zamonaviy reagentlar yuqori samaradorligi va barqarorligi bilan ajralib turadi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, turli sanoat tarmoqlariga xos oqava suvlarning fizik-kimyoviy tarkibi ularni tozalashda individual yondashuvni talab etadi. Past biodegradatsiyaga ega bo'lgan oqava suvlar uchun koagulyatsiya jarayoni ayniqsa muhim bosqich hisoblanadi. Shu bilan birga, polielektrolitlar va tabiiy mineral qo'shimchalar flok hosil bo'lish jarayonini kuchaytirib, tozalash samaradorligini oshiradi. Kelgusida koagulyatsiya texnologiyalarini takomillashtirish, ularni boshqa tozalash usullari bilan uyg'unlashtirish va optimal ish sharoitlarini aniqlash sanoat oqava suvlarini samarali tozalashning asosiy yo'nalishlaridan biri bo'lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Bratby, J. (2016). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment (3rd ed.). IWA Publishing.
- [2] Bolto, B., & Gregory, J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Research, 41(11), 2301–2324. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012>
- [3] Wang, J., & Chen, H. (2019). Coagulation–flocculation process for industrial wastewater treatment: A review. Journal of Water Process Engineering, 28, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.002>
- [4] Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y., & Wu, T. Y. (2016). Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. Industrial & Engineering Chemistry Research, 55(16), 4363–4389. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>
- [5] Gregory, J. (2006). Particles in water: Properties and processes. Water Intelligence Online, 5, 9781780407314. <https://doi.org/10.2166/9781780407314>

- [6] Duan, J., & Gregory, J. (2003). Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100–102, 475–502. [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(02\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(02)00067-2)
- [7] Khojakulov, A., Ruziyev, U., Boymurodov, N., Shernazarov, I., Mashaev, E., & Shoyimova, K. (2024). Research and determination of parameters for extracting valuable components from technological waste. *BIO Web of Conferences*, 149, 01049.
- [8] Abdisamievich, S. A., Mamarasulovich, R. U., & Azamatugli, K. O. (2025). Development of technology for obtaining alumina from local raw materials. *Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности*, 3(2), 105–111.
- [9] Хужакулов, Н. Б., Рузиев, У. М., & Насирова, Н. Р. (2021). Исследования влияния качества биокека на показатели сорбционного выщелачивания. *Universum: технические науки*, (5-2 (86)), 20–23.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Ikromov, A. A., Urinov, U. K., & Fayziyev, J. B. (2026). Koagulyatsiya jarayoni asosida sanoat oqava suvlarini tozalashning nazariy asoslari va amaliy yondashuvlari. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.4>

SANOATDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR,
ILMIY-TEXNIK (ELEKTRON) JURNALI E-ISSN: 3030-3214
AXBOROT XATI

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” (e-ISSN: 3030-3214)

(<https://portal.issn.org/resource/ISSN/3030-3214>) **ilmiy-texnik jurnali** ochiq jurnal hisoblanib, mazkur jurnalning vazifasi ilm-fan taraqqiyotining modellashtiruvchi, ta’limning yutuqlari va istiqbollari, dolzarb muammolari va ularning yechimlarini, shuningdek, ishlab-chiqarish va ta’limning modernizatsiyalashuvi bosqichini yoritib borishdir. “Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnalining maqsadi belgilangan soha mutaxassislar va olimlarning tadqiqotlari va innovatsiyalari to’g’risidagi nashrlarini jamoatchilikka xabardor qilish, yosh avlodning fan va ta’lim sohasidagi qiziqishlarini oshirish va ilmiy konsepsiyalarini bayon etishdir.

Jurnalga: **05.00.00-TEXNIKA FANLARI, 04.00.00-GEOLOGIYA-MINERALOGIYA FANLARI, 02.00.00-KIMYO FANLARI** ixtisosliklari bo’yicha ilmiy maqolalar qabul qilinadi.

Jurnalga maqolalar: **o‘zbek, rus va ingliz** tillarida qabul qilinadi.

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali quyidagi yo‘nalishlar bo’yicha maqolalar qabul qilinadi:

- Kon-metallurgiya va ishlab chiqarish sanoati;
- Geologiya va neft-gaz sanoati;
- Kimyoviy texnologiya va qurilish;
- Yengil sanoat tarmoqlari;
- Ekologiya, mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi.

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnaliga chop qilingan har bir maqolaga raqamli identifikator (Digital Object Identifier <https://www.doi.org>) beriladi.

Jurnal quyidagi bazalarga indeksatsiya qilingan:

1. CYBERLENINKA — ilmiy elektron kutubxonasiga (<https://cyberleninka.ru/journal/n/sanoatda-raqamli-texnologiyalar?i=1131974>)
2. eLIBRARY.RU – Ilmiy elektron kutubxonasiga (https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?langid=1&id=81309)
3. ResearchBib – ilmiy elektron kutubxonasiga (<https://journalseeker.researchbib.com/view/issn/3030-3214>)
4. SLIB.UZ – Ilmiy elektron kutubxonasiga (<https://slib.uz/uz/journal/view?id=285>)
5. Har bir maqola Google akademiyasiga indeksatsiya qilinadi (<https://scholar.google.com/citations?user=mzU3-6QAAAAJ&hl=en&authuser=3>)
6. Index Copernicus – ilmiy jurnallar bazasi (<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=129473>)

Jurnal ta’rischilari:

- 1. Qarshi davlat texnika universiteti;**
- 2. “Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ;**

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan ro‘yxatga olingan 26.07.2023 yildagi №106679-sonli guvohnoma. Turkum nashrlarning chiqish ma’lumotlarini GOST 7.4-95 “Nashrlar. Chiqish ma’lumotlari” hamda GOST 7.56-2002 «Xalqaro standart turkum raqami» davlatlararo standartlar talablari asosida bo‘lishini to‘liq ta’minlash maqsadida, Alisher Navoiy nomidagi O‘zbekiston Milliy kutubxonasi bilan 2023 yil 12-dekabrda Davriy nashrlarga ISSN xalqaro standart raqami ISSN: 3030-3214 raqam berilgan.

MAQOLALARGA QO‘YILGAN TALABLAR

Maqolaning standart hajmi: 4-15 betli matn Word matn muharririda, o‘zbek, rus yoki ingliz tilida.

Maqola mualliflari 4 nafardan ko‘p bo‘lmasligi kerak. Mualliflarning har biri uchun to‘liq ma‘lumotlar ko‘rsatilishi lozim (ish joyi, lavozimi, ilmiy darajasi, ilmiy unvoni, shahar va davlati)

Maqolada shartli ravishda **kirish, Adabiyot tahlili va metodi, tadqiqot natijalari va muhokama, xulosa va takliflar, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatidan** iborat bo‘lishi lozim.

Annotatsiya, kalit so‘zlar Annotatsiya berilgan shakl va ko‘rinishda bo‘lishi lozim. Iltimos, bu shaklni o‘zgartirmang. Annotatsiya 100-250 so‘zdan hamda 4-20 kalit so‘zlardan iborat bo‘lishi lozim. Annotatsiya (ingliz tilida ABSTRACT) va kalit so‘zlar (keywords) xalqaro tizimlarda indekslanishi uchun (3 ta tilda) o‘zbek, rus va ingliz tilida ham berilishi zarur. Kalit so‘zlar 4-20 so‘zdan iborat maqoladagi asosiy urg‘u olgan atamalarni yozish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatidagi adabiyotlar oxirgi 10 yil ichidagi adabiyotlar ko‘rsatilishi tavsiya etiladi.

O‘lchov birliklari va belgilar SI xalqaro birliklar tizimida ko‘rsatilishi kerak.

Maqola materiallarining yuqoridagi talablarga mos kelmasligi nashrni rad etish uchun sabab bo‘lishi mumkin.

Maqola matniga qo‘yilgan talablar:

Sarlavha ko‘rinishi: Shrift “Times New Roman”, o‘lchami 14 pt, bosh harfdan, markazdan, chiziqcha yo‘q, qalin. Maqola sarlavhasi tepasida (1.5 intervaldan keyin), o‘ng burchakda - mualliflarning ismi va shariflari, odatiy shrift, o‘lchami 14 pt; chap burchakda - UO‘K indeksi;

Maqola sarlavhasi ostida - mualliflarning ismi va sharifi - qalin shriftda; ish joyi, lavozimi ilmiy unvoni, tashkilot nomi – 10 pt. o‘lchamdagi odatiy shriftda va 3x4 rasmi ko‘rsatilishi lozim.

Annotatsiya ko‘rinishi: “Times New Roman” shriftlar to‘plami, 14 pt. o‘lchamida, (1 intervaldan).

Kalit so‘zlar ko‘rinishi: “Times New Roman” shriftlar to‘plami, 14 pt. o‘lchamda.

Asosiy matnga talablar: Shrift “Times New Roman”, 14 pt., qator oralig‘i 1, xat boshi – 1 sm, sahifa chekkalari – chap va o‘ng – 1.5 sm; yuqori va pastki – 1.5 sm.

Jadval ko‘rinishi: Jadval nomi - “Times New Roman”, 14 pt oralig‘ida, qalin, markazda, jadvaldagi matn - “Times New Roman”, 10-14 pt., odatiy.

Formula kiritish talablar: Formulalar va maxsus belgilar faqat «Microsoft Equation-3» muharririda yoziladi. Formulalar chap tomonda joylashtiriladi.

Rasmlarga talablar: Rasmlar aniq ko‘ringan bo‘lishi kerak, chop etishga tayyor, matnga qo‘shilishi va GIF, BMP, JPEG formatida.

Adabiyotlar ro‘yxatiga talablar: “Times New Roman”, 14 pt o‘lchamda, kursiv, 4-30 ta (25% o‘z ishlariga havola), oxirgi 10 yilda nashr etilgan adabiyotlar bo‘lishi maqsadga muvofiq.

Adabiyotga havola keltirish raqami kvadrat qavs ichida, matnning tegishli joyida beriladi. Adabiyotlarga to‘g‘ri havola keltirish uchun www.snoska.info saytidan yoki <https://kursach37.com/oformlenie-spiska-literatury-po-gost/> veb resurlaridan foydalanish tavsiya etiladi.

Rasmlar JPEG, TIF, EPS yoki PSD formatlarida yetarlicha kengayishda (tiniqligi) (1:1 masshtabda kamida 300 dpi) alohida grafik fayllar sifatida yozib olinishi lozim.

Bog‘lanish uchun ma‘lumotlar, Har bir muallifning 3x4 rasmi, mualliflar ismi shariflari (to‘liq), ish joyi va lavozimi va elektron pochta manzili, ORCID (orcid.org tomonida ro‘yxatdan o‘tgan ID raqam ko‘rsatish tavsiya etiladi), Science ID (id.ilmuy.uz tomonida ro‘yxatdan o‘tgan ID raqam ko‘rsatish majburiy) va SPIN (elibrary.ru tomonida ro‘yxatdan o‘tgan ID raqam ko‘rsatish tavsiya etiladi) raqamlar va bog‘lanish uchun telefon raqamlari kiritilishi shart. **(Maqolaga materialni ochiq matbuotda nashr etilish imkoniyati to‘g‘risida ekspert xulosasi ilova qilinishi mumkin).**

Izoh: Maqolaning orginalligini aniqlangan (antiplagiat) hisoboti taqdim etish shart (originallik darajasi 80 foiz va undan yuqori bo‘lganda va yuqoridagi talablarga javob berganda, gramatik xatolar bo‘lmaganda maqola qabul qilinadi). Antiplagiatdan o‘tkazish manzili: <https://milliyantiplag.uz/>

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ (ЭЛЕКТРОННЫЙ) ЖУРНАЛ E-ISSN: 3030-3214
ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО**

Научно-технический журнал «Цифровые технологии в промышленности» (e-ISSN: 3030-3214 (<https://portal.issn.org/resource/ISSN/3030-3214>)) является открытым журналом, задачей которого является освещение моделирования прогресса науки, достижений и перспектив образования, актуальных проблем и их решений, а также этапов модернизации производства и образования. Цель научно-технического журнала «Цифровые технологии в промышленности» заключается в информировании специалистов в данной области, публикации исследований и инноваций ученых для общественности, повышении интереса молодого поколения к науке и образованию и изложению научных концепций.

В журнал принимаются научные статьи: **05.00.00-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ, 04.00.00-ГЕОЛОГИЯ-МИНЕРАЛОГИЯ, 02.00.00-ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ.**

Статьи в журнал принимаются: **узбекском, русском и английском языках.**

Научно-технический журнал «Цифровые технологии в промышленности» принимает статьи по следующим направлениям:

- Горно-металлургическая и обрабатывающая промышленность;
- Геология и нефтегазовая промышленность;
- Химическая технология и строительство;
- Легкая промышленность;
- Экология, охрана труда и техническая безопасность.

Цифровой идентификатор объекта (Digital Object Identifier <https://www.doi.org>) присваивается каждой статье, опубликованной в научно-техническом журнале «Цифровые технологии в промышленности».

Журнал индексируется в следующих базах данных:

1. КИБЕРЛЕНИНКА – научная электронная библиотека (<https://cyberleninka.ru/journal/n/sanoatda-raqamli-texnologiyalar?i=1131974>)
2. eLIBRARY.RU – научная электронная библиотека (https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?langid=1&id=81309)
3. ResearchBib – научная электронная библиотека (<https://journalseeker.researchbib.com/view/issn/3030-3214>)
4. SLIB.UZ – научная электронная библиотека (<https://slib.uz/uz/journal/view?id=285>)
5. Каждая статья индексируется в Google Academics. (<https://scholar.google.com/citations?user=mzU3-6QAAAAJ&hl=en&authuser=3>)
6. Index Copernicus – база данных научных журналов (<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=129473>)

Учредители журнала:

- 1. Каршинский государственный технический университет;**
- 2. АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»;**

Научно-технический журнал «Цифровые технологии в промышленности» зарегистрирован Агентством информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан, свидетельство №106679 от 26.07.2023. Выходные данные серии публикаций предусмотрены ГОСТ 7.4-95 «Издания. В целях полного обеспечения соответствия «Выходной информации» и ГОСТ 7.56-2002 «Международный стандартный серийный номер» требованиям международных стандартов, 12 декабря 2023 года в Национальной библиотеке Узбекистана имени Алишера Навои был объявлен международный ISSN. Периодическим изданиям присвоен стандартный номер ISSN: 3030-3214.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ

Стандартный размер статьи: Текст объемом 4-15 страниц в текстовом редакторе Word на узбекском, русском или английском языках.

Авторов статьи должно быть не более 4. Необходимо предоставить полную информацию по каждому из авторов (место работы, должность, ученая степень, ученое звание, город и страна).

Статья должна содержать условное **введение, анализ и метод литературы, результаты исследования и их обсуждение, выводы и предложения, а также список использованной литературы.**

Аннотация, ключевые слова Аннотация должна быть в заданной форме и формате. Пожалуйста, не изменяйте эту форму. Аннотация должна состоять из 100-250 слов и 4-20 ключевых слов. Аннотация (ABSTRACT на английском языке) и ключевые слова (keywords) должны быть предоставлены на узбекском, русском и английском языках (на 3-х языках) для индексации в международных системах. Ключевые слова. Термины, получившие основной акцент в статье, желательно писать в объеме 4-20 слов.

Единицы измерения и символы должны быть отображены в Международной системе единиц SI.

Несоответствие материалов статьи указанным требованиям может стать основанием для отказа в публикации.

Требования к тексту статьи:

Просмотр названия: Шрифт — Times New Roman, размер 14 пт, прописной, центрированный, без подчеркивания, жирный. Над названием статьи (через 1,5 интервала) в правом углу — фамилия и инициалы авторов, шрифт стандартный, размер 14 пт; в левом углу – индекс УДК;

Под названием статьи - имя и фамилия авторов – жирным шрифтом; место работы, ученое звание, название организации – 10 пт. должно отображаться шрифтом стандартного размера и изображением 3x4.

Абстрактный вид: Набор шрифтов Times New Roman, 14 пт. в размере, (от 1 интервала).

Просмотр ключевых слов: Набор шрифтов Times New Roman, 14 пт. по размеру.

Требования к основному тексту: Шрифт «Times New Roman», 14 пт., межстрочный интервал 1, шапка – 1 см, поля страницы – левое и правое – 1,5 см; верх и низ – 1,5 см.

Вид таблицы: Название таблицы – «Times New Roman», интервал 14 пт, жирный, по центру, текст таблицы – «Times New Roman», 10–14 пт, обычный.

Требования к вводу формулы: Формулы и специальные символы пишутся только в редакторе «Microsoft Equation-3». Формулы располагаются слева.

Требования к фотографиям: Изображения должны быть четко видны, готовы к печати, содержать текст и иметь формат GIF, BMP, JPEG.

Требования к списку литературы: Times New Roman, 14 пт, курсив, 4-30 (25% ссылки на собственные работы), желательны публикации за последние 10 лет.

Номера ссылок даются в квадратных скобках в соответствующем месте текста. Для корректной ссылки на литературу рекомендуется использовать сайт www.snoska.info или <https://kursach37.com/oformlenie-spiska-literatury-po-gost/>.

Контактная информация: Фотография 3x4 каждого автора, ФИО автора (полностью), место работы и должность, адрес электронной почты, ORCID (рекомендуется указывать идентификационный номер, зарегистрированный на orcid.org), Science ID (обязательно указать ID-номер, зарегистрированный на стороне id.ilmiy.uz) и SPIN (elibrary.ru рекомендуется указывать идентификационный номер). зарегистрированы на стороне) необходимо вводить номера и контактные телефоны. *(К статье может быть приложено экспертное заключение о возможности публикации материала в открытой печати).*

Примечание: Необходимо предоставить отчет, подтверждающий оригинальность статьи (антиплагиат) (статья принимается при уровне оригинальности 80% и выше и соответствии вышеуказанным требованиям, а также отсутствию грамматических ошибок). Адрес антиплагиата: <https://antiplag.uz/>

**DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY, SCIENTIFIC-TECHNICAL (ELECTRONIC)
JOURNAL E-ISSN: 3030-3214 INFORMATION LETTER**

The scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” (e-ISSN: 3030-3214 (<https://portal.issn.org/resource/ISSN/3030-3214>)) is an open journal whose task is to cover the modeling of scientific progress, achievements and prospects of education, current problems and their solutions, as well as stages of modernization of production and education. The purpose of the scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” is to inform specialists in the field, publish research and innovations of scientists for the public, increase the interest of the younger generation in science and education and present scientific concepts.

The journal accepts scientific articles: **05.00.00-TECHNICAL SCIENCES, 04.00.00-GEOLOGY-MINERALOGY, 02.00.00-CHEMICAL SCIENCES.**

Articles for the journal are accepted: **Uzbek, Russian and English** languages.

The scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” accepts articles in the following areas:

- Mining, metallurgical and manufacturing industries;
- Geology and oil and gas industry;
- Chemical technology and construction;
- Light industry;
- Ecology, labor protection and technical safety.

A Digital Object Identifier (<https://www.doi.org>) is assigned to each article published in the scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry”.

The journal is indexed in the following databases:

1. CYBERLENINKA – scientific electronic library
(<https://cyberleninka.ru/journal/n/sanoatda-raqamli-texnologiyalar?i=1131974>)
2. eLIBRARY.RU – scientific electronic library
(https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?langid=1&id=81309)
3. ResearchBib – scientific electronic library
(<https://journalseeker.researchbib.com/view/issn/3030-3214>)
4. SLIB.UZ – scientific electronic library
(<https://slib.uz/uz/journal/view?id=285>)
5. Each article is indexed in Google Academics.
(<https://scholar.google.com/citations?user=mzU3-6QAAAAJ&hl=en&authuser=3>)
6. Index Copernicus – scientific journal database
(<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=129473>)

The founders of the journal:

- 1. Karshi State Technical University;**
- 2. JSC Almalyk Mining and Metallurgical Combine;**

The scientific and technical journal “Digital Technologies in Industry” is registered by the Agency of Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan, certificate No. 106679 dated July 26, 2023. The output data of the series of publications is provided for by GOST 7.4-95 “Publications. In order to fully ensure compliance of the “Output Information” and GOST 7.56-2002 “International Standard Serial Number” with the requirements of international standards, an international ISSN was announced on December 12, 2023 at the National Library of Uzbekistan named after Alisher Navoi. Periodicals are assigned a standard ISSN number: 3030-3214.

REQUIREMENTS FOR ARTICLES

Standard article size: Text of 4-15 pages in the Word text editor in Uzbek, Russian or English.

There should be no more than 4 authors of the article. It is necessary to provide complete information on each of the authors (place of work, position, academic degree, academic title, city and country).

The article should contain a conventional **introduction, analysis and method of literature, research results and their discussion, conclusions and suggestions, as well as a list of references.**

Abstract, keywords: The abstract must be in the specified form and format. Please do not change this form. The abstract should consist of 100-250 words and 4-20 keywords. Abstract (ABSTRACT in English) and keywords must be provided in Uzbek, Russian and English (in 3 languages) for indexing in international systems. Keywords. It is advisable to write terms that receive the main emphasis in the article in 4-20 words.

Units and symbols must be displayed in the SI International System of Units.

Failure to comply with the specified requirements may be grounds for refusal to publish.

Requirements for the article text:

View title: Font: Times New Roman, size 14 pt, uppercase, centered, no underlining, bold. Above the title of the article (with 1.5 intervals) in the right corner - the surname and initials of the authors, standard font, size 14 pt; in the left corner - UDC index;

Under the title of the article - the name and surname of the authors - in bold; place of work, academic title, name of organization – 10 pt. should be displayed in a standard size font and a 3x4 image.

Abstract view: Font set Times New Roman, 14 pt. in size, (from 1 interval).

View keywords: Font set Times New Roman, 14 pt. to size.

Requirements for the main text: Font “Times New Roman”, 14 pt., line spacing 1, header – 1 cm, page margins – left and right – 1.5 cm; top and bottom – 1.5 cm.

Table view: Table name – “Times New Roman”, spacing 14 pt, bold, centered, table text – “Times New Roman”, 10–14 pt, regular.

Requirements for entering a formula: Formulas and special characters are written only in the Microsoft Equation-3 editor. Formulas are located on the left.

Photo requirements: Images must be clearly visible, print ready, contain text and be in GIF, BMP, JPEG format.

Requirements for the list of references: Times New Roman, 14 pt, italics, 4-30 (25% references to own works), publications within the last 10 years are desirable.

Reference numbers are given in square brackets in the appropriate place in the text. For correct reference to literature, it is recommended to use the website www.snoska.info or <https://kursach37.com/oformlenie-spiska-literatury-po-gost/>.

Contact Information: 3x4 photo of each author, full name of the author, place of work and position, email address, ORCID (it is recommended to indicate the identification number registered on orcid.org), Science ID (indication of the ID number registered on the id.ilmiy.uz side is mandatory) and SPIN (elibrary.ru it is recommended to indicate the identification number). registered externally), you must enter numbers and contact numbers (*An expert opinion on the possibility of publishing the material in the open press may be attached to the article*).

Note: It is necessary to provide a report confirming the originality of the article (anti-plagiarism) (the article is accepted if the originality level is 80% or higher and meets the above requirements, as well as the absence of grammatical errors). Anti-plagiarism address: <https://antiplag.uz/>