Volume 4
№3-1
October, 2026

SANOATDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

ILMIY-TEXNIK JURNAL

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



ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

научно-технический журнал

DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY

scientific and technical journal

ISSN (ISSN-L): 3030-3214

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI TA’LIM VA ILM-FAN 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(3-1) / 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’sischilar

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 Shadiev

T.f.d., Qarshi davlat texnika universiteti

E-mail: a.shodiyev@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

Ilhom Togaev

Tahlil guruhi

Oybek Qayumov,

Uchqun Eshonqulov,

Dizayn

Farusxon Olimov

Jurnalning elektron versiyasini nashr etish va yangilash uchun mas’ul

Abbos Shodiev

Chop etilgan

Terishga topshirilgan sana: 05.10.2026 y.

Nashr qilingan sana: 10.10.2026 y.

Format: 60×84 1/8. Times shriftida. Shartli bosma taboq: 21,125. Bosma taboq: 21,125. Adadi: 48 nusxa. Buyurtma №: 291. 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.4.3-1.2026

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 Shadrunova, t.f.d., prof. Rossiya fanlar akademiyasi M.V.Melnikov nomidagi Mineral resurslardan kompleks foydalanish instituti, Rossiya
Gabor Mucsi, 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 Shodiyev, 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 istituti, O‘zbekiston
Shahboz Turdiyev, t.f.d., dots., Qarshi davlat texnika universiteti, 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
No‘monjon Hasanov, g.-m.f.f.d. (PhD), Mineral resurslar instituti, Toshkent, O‘zbekiston

“Sanoatda raqamli texnologiyalar” (e-ISSN:3030-3214) ilmiy-texmik 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 CHIQARISH SANOATI

Rahimbayev Berik Sagidollauly. Mis eritish sanoati shlamlari bilan birgalikda changlarni qayta ishlashning kombinatsiyalashgan usulini termodinamik hisoblash 10

Bildyuk Yegor Viktorovich, Pavlovskiy Aleksandr Illarionovich, Kologrivko Andrey Andreyevich, Naryjnova Yevgeniya Yuryevna. Poyma hududlarini gidrologik modellashtirish uchun Copernicus DEM GLO-30 va FABDEM raqamli relyef modellarining qiyosiy tahlili 17

Xasanov Abdirashid Saliyevich, Karshiboyev Sherzod Begmaxamat o‘g‘li, Kayirbayev Isa Baxtiyar o‘g‘li, Yormatov Dostonbek Ashurmamat o‘g‘li. Oksid fazalarni selektiv eritish va germaniyni boyitish maqsadida qo‘ng‘ir ko‘mir kulining xlorid kislotadagi eruvchanligini termodinamik baholash 27

Muxitdinov Djalolitdin Paxritdinovich, To‘xtamishova Madina Sherali qizi. Mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmasini modellashtirish va optimallashtirish 34

Xasanov Adham Amankulovich, Xasanov Abdirashid Saliyevich, Tolibov Behzod Ibrohimovich, Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich. Ingichka boyitish fabrikasi texnogen chiqindilarining mikroskopik tuzilishi va mineral fazalarining maydonlar bo‘yicha tavsifi 40

Rustamov Islomjon Ilhomovich, Majidova Iroda Ibrohimovna, Voxidov Baxriddin Raxmidinovich, Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich. GMZ-3 texnogen chiqindilarining granulometrik va mineralogik tarkibi hamda oltin va kumushning o‘lcham fraksiyalari bo‘yicha taqsimoti 53

Botirov Shoxbos Soibjon o‘g‘li, Nomdorov Rustam Uralovich. Kon hududlarida yer yuzasi deformatsiyalarini InSAR usullari bilan monitoring qilishning qiyosiy tahlili 60

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI

Xusomiddinov Axror Sabriddinovich, Ro‘zimboyev Farruh Farhodovich. So‘nggi yillarda Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasida yer osti suvlari sathining o‘zgarishi 77

Shoimurotov Tuychi Xalikulovich, Xojiyev Aziz Jumamurodovich, Jo‘rayev Fazliddin Ochilxonovich, Ahmedov Shovdullo Shuxratovich. Buxoro-Xiva regioni bo‘r davri yotqiziqlarining strukturaviy-tektonik xususiyatlari va neftgazlilik istiqbollari 85

Haydarov Islom Qosimovich, Seropov Og‘abek G‘ayrat o‘g‘li. Murakkab qatlamlarni burg‘ilash jarayonida sallnik hosil bo‘lish jarayonini tadqiq etish 95

Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich, Movlanov Jaxongir Jo‘rabekovich, Rahmatullayev Ilhom Farmonqul o‘g‘li. Aytim ma’danli maydoni oltin ma’danlarining mineralogik-petrografik xususiyatlari va moddiy tarkibi 104

Xusainov Xurshid Axmadovich, Bektemirov Lazizbek Sirojiddin o‘g‘li. Yertoshsoy maydoni magmatik tog‘ jinslarining petrografik xususiyatlari (Chotqol tog‘lari) 112

Ileshov Kuanishbek Muratovich, Kurbonov Abduxakim Abdivakil o‘g‘li, Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich, Jumaniyozov Denis Ikramovich. Ko‘hitang gabbro-granitoid massivi tog‘ jinslarining geokimyoviy xususiyatlari (Hisor tog‘ tizmasining janubiy-g‘arbiy tarmoqlari) 119

Esenbayev Alisher Gaibidullayevich, Kurbonov Abduxakim Abduvakilovich, Ileshov Kuanishbek Muratovich, Jumaniyozov Denis Ikramovich. Qizilolmasoy koni kvars tomirlaridagi flyuid inklyuziyalar tarkibini o‘rganish (Samarchuq uchastkasi) 130

Movlanov Jaxongir Jo‘rabekovich, Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich, Rahmatullayev Ilhom Farmonqul o‘g‘li. Aytim ma’danli maydonida oltin ma’danlashuvining joylashuv qonuniyatlari va nazorat qiluvchi strukturaviy omillar 142

Azimov Farhodjon Oqiljonovich, Turdiyev Shoxjahxon Shermamat o‘g‘li. Sanoat va favvoraga qarshi xavfsizlik — neft-gaz loyihalarining iqtisodiy samaradorligi va barqaror rivojlanishi omili 150

Yakubov Yusufboy Xasan o‘g‘li, Ruzmetova Aida Shonazarovna, Matchanov Sherzad Kamilovich. Yangi turdagi geopolimer bog‘lovchilarni olish uchun orolbo‘yi texnogen resurslari 159

Keldibekova Zilola Asror qizi, Mamarozikov Usmonjon Dovronovich, Hamrayev Ahmadali Xurrom o‘g‘li. Beshqo‘l intruzivi tog‘ jinslarining geologik xususiyatlari 165

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Saitov Nuriddin Erkin o‘g‘li. Qizilmachit paleovulqoni asos va o‘rta tarkibli jinslarining petrografik xususiyatlari 173

Hamrayev Ahmadali Xurrom o‘g‘li. Daugiztov ma’danli maydoni ohaktosh va Karasay konlarining geokimyoviy ixtisoslashuvi 178

Lutfullaev Sa’dulla Shukurovich, Ismatov Baxtiyor Axmad o‘g‘li, Raxmatov Maxmud Ismatovich. “Uzbekistan GTL” MChJ texnologik chiqindilarini poliolefinlar uchun qo‘shimcha sifatida qo‘llash 183

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH

Abduraximov Shohzod Abduaxad o‘g‘li. Integratsiyalashgan energetika modellari uchun ma’lumotlarni tekshirish va uyg‘unlashtirish: NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari misolida 191

Berdiyev Sanjar Allanazarovich, Kamalov Botir Satvaldiyevich. Beton uchun sintez qilingan superplastifikatorning IQ-spektri va kimyoviy xossalarini o‘rganish 203

Sayitova Nodira Normurod qizi, Tangyarikov Normurod Sayitovich. Metalloporfirinlarning suvsiz eritmalarda termokimyoviy erish entalpiyasi 209

Nomozova Sadoqat Iskandar qizi. Propandan aromatik uglevodorodlar olish uchun tanlangan modifikatsiyalangan katalizatorlarning tekstur va fizik-kimyoviy xususiyatlari 215

Nomozova Sadoqat Iskandar qizi. Propanni katalitik aromatlash jarayonida mezog‘ovakli katalizatorlarning dezaktivlanishi 221

YENGIL SANOAT TARMOQLARI

Egamnazarova Sevaraxon Xasanboy qizi. Milliy naqsh kompozitsiyalarini raqamli sanoat ishlab chiqarishiga moslashtirish metodikasi 226

Doniyorov Bektosh Bahodirovich, Razzoqov Ja’far Abduvali o‘g‘li. Aralash iplardan momiq matolar ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan suvda eruvchan kimyoviy iplarning tarkibi, tuzilishi va xossalari hamda innovatsion ishlab chiqarish texnologiyasi 236

EKOLOGIYA, MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI

Lazarenkov Aleksandr Mixayilovich. Quyuv ishlab chiqarishida mehnat sharoitlarini kompleks baholash va zararli omillarni kamaytirish yo‘llari 244

Lazarenkov Aleksandr Mixayilovich, Pozdnyakov Vladimir Mixaylovich. Quyuv ishlab chiqarishida ishchilarning issiqlik yuklamasini baholash va mehnat hamda dam olish rejimini asoslash 251

Sulaymanov Sunnatulla Sulaymanovich, Narziyev Shovkiddin Murtozayevich. Sportchilardagi shikastlanishlar va kasb kasalliklarini raqamli monitoring qilishning zamonaviy yondashuvlari 258

Seytov Aybek Jumabayevich, Yarashov Inomjon Qahramon o‘g‘li, Umarova Shoiraxon G‘ulomovna, Choriyorov Nurbek Qilich o‘g‘li. Irrigatsiya kanalida suv taqsimotini avtomatik boshqarishni tizimli modellashtirish va algoritmlashtirish 267

Eshev Sobir Samadovich, G‘ayimnazarov Israil Xoliqovich, Aralov Behro‘zjon G‘ayratovich, Bozorov Bustonjon Erkin o‘g‘li. Bog‘langan gruntli kanallarda yuvmaslik tezligini aniqlash 277

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Рахимбаев Берик Сагидоллаулы. Термодинамические расчёты комбинированного способа переработки пылей совместно со шламами медеплавильного производства 10

Бильдюк Егор Викторович, Павловский Александр Илларионович, Кологривко Андрей Андреевич, Нарыжнова Евгения Юрьевна. Сравнительный анализ цифровых моделей рельефа Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM как основы гидрологического моделирования пойменных территорий 17

Хасанов Абдирашид Салиевич, Каршибоев Шерзод Бегмахамат угли, Кайырбаев Иса Бахтияр угли, Ёрматов Достонбек Ашурмамат угли. Термодинамическая оценка растворимости золы бурого угля в соляной кислоте с целью селективного выщелачивания оксидных фаз и концентрирования германия 27

Мухитдинов Джалолитдин Пахритдинович, Тухтамишова Мадина Шерали кизи. Моделирование и оптимизация сушильного аппарата с кипящим слоем 34

Хасанов Адхам Аманкулович, Хасанов Абдирашид Салиевич, Толибов Бехзод Иброхимович, Боймуродов Нажмиддин Абдукодирович. Микроскопическое строение и попольная характеристика минеральных фаз техногенных отходов ингичкинской обогатительной фабрики 40

Рустамов Исломжон Илхомович, Мажидова Ирода Иброхимовна, Вохидов Бахриддин Рахмидинович, Боймуродов Нажмиддин Абдукодирович. Гранулометрический и минеральный составы техногенных отходов ГМЗ-3 и распределение золота и серебра по классам крупности 53

Ботиров Шохбос Соибжон угли, Номдоров Рустам Уралович. Сравнительный анализ мониторинга деформаций земной поверхности на горнопромышленных территориях методами InSAR 60

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Хусомиддинов Ахрор Сабриддинович, Рузимбоев Фаррух Фарходович. Изменение уровня подземных вод в лаборатории Янгибазарской опытно-экспериментальной обсерватории за последние годы 77

Шоймуротов Туйчи Халикулович, Хожиев Азиз Жумамуродович, Жураев Фазлиддин Очилхонович, Ахмедов Шовдулло Шухратович. Структурно-тектонические особенности и перспективы нефтегазоносности меловых отложений Бухаро-Хивинского региона 85

Хайдаров Ислам Касимович, Серопов Огабек Гайрат угли. Исследование процесса образования сальника при бурении сложных пластов 95

Абдуллаев Лочинбек Анваржонович, Мовланов Джахонгир Жорабекович, Рахматуллаев Илхом Фармункул угли. Минералого-петрографические особенности и вещественный состав золотых руд рудного поля Айтым 104

Хусаинов Хуршид Ахмадович, Бектемиров Лазизбек Сироджиддин угли. Петрографические особенности магматических горных пород ертошсайской площади (чаткальские горы) 112

Илешов Куанышбек Муратович, Курбонов Абдухаким Абдивакил угли, Абдуллаев Лочинбек Анваржонович, Джуманиязов Денис Икрамович. Геохимические особенности горных пород габбро-гранитоидного массива кугитанг (юго-западные отроги гиссарского хребта) 119

Есенбаев Алишер Гаибидуллаевич, Курбонов Абдухаким Абдувакилович, Илешов Куанишбек Муратович, Джуманиязов Денис Икрамович. Изучение состава флюидных включений в кварцевых жилах Кызылалмасайского месторождения (участок самарчук) 130

Мовланов Джахонгир Жорабекович, Абдуллаев Лочинбек Анваржонович, Рахматуллаев Илхом Фармункул угли. Закономерности размещения золотого оруденения и контролирующие структурные факторы айтымского рудного поля 142

Азимов Фарходжон Окилжонович, Турдиев Шохжахон Шермамат угли. Промышленная и противофонтанная безопасность как фактор экономической эффективности и устойчивого развития нефтегазовых проектов 150

Якубов Юсуфбой Хасанович, Рузметова Аида Шоназаровна, Матчанов Шерзад Камилович. Техногенные ресурсы приаралья для получения новых видов геополимерных вяжущих 159

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Келдибекова Зилола Асрор кизи, Мамарозиков Усмонжон Довронович, Хамраев Ахмадали Хурром угли. Геологические особенности пород интрузива бешкуль 165

Саитов Нуриддин Эркин угли. Петрографические особенности пород основного и среднего состава Кызылмечетского палеовулкана 173

Хамраев Ахмадали Хурром угли. Геохимическая специализация месторождений охактош и карасай даугизтауского рудного поля 178

Лутфуллаев Саъдулла Шукурович, Исматов Бахтиёр Ахмад угли, Рахматов Махмуд Исматович. Использование технологических отходов ООО «UZBEKISTAN GTL» в качестве добавки для полиолефинов 183

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО

Абдурахимов Шохзод Абдуахад угли. Валидация и гармонизация данных для интегрированных энергетических моделей: на примере данных NASA POWER и ERA5 191

Бердиев Санжар Алланазарович, Камалов Ботир Сатвалдиевич. Изучение ИК-спектра и химических свойств синтезированного суперпластификатора для бетона 203

Сайитова Нодира Нормурод кизи, Тангяриков Нормурод Сайитович. Энтальпия термохимического растворения металлопорфиринов в безводных растворах 209

Номозова Садокат Искандар кизи. Текстурные и физико-химические характеристики модифицированных катализаторов для получения ароматических углеводородов из пропана 215

Номозова Садокат Искандар кизи. Дезактивация мезопористых катализаторов в процессе каталитической ароматизации пропана 221

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Эгамназарова Севарахон Хасанбой кизи. Методика адаптации композиций национального орнамента к цифровому промышленному производству 226

Дониёров Бектош Баходирович, Раззоков Джафар Абдували угли. Состав, структура и свойства водорастворимых химических нитей, применяемых при производстве ворсовых тканей из комбинированных нитей, и инновационная технология их производства 236

ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лазаренков Александр Михайлович. Комплексная оценка условий труда в литейном производстве и пути снижения воздействия вредных факторов 244

Лазаренков Александр Михайлович, Поздняков Владимир Михайлович. Оценка тепловой нагрузки на работников литейного производства и обоснование режима труда и отдыха 251

Сулайманов Сунатилла Сулайманович, Нарзиев Шовкиддин Муртозаевич. Современные подходы к цифровому мониторингу травм и профессиональных заболеваний у спортсменов 258

Сейтов Айбек Джумабаевич, Ярашов Иномжон Кахрамон угли, Умарова Шоирахон Гуломовна, Чориёров Нурбек Килич угли. Системное моделирование и алгоритмизация автоматического управления водораспределением в ирригационном канале 267

Эшев Собир Самадович, Гайимназаров Исраил Холикович, Аралов Бехрузжон Гайратович, Бозоров Бустонжон Эркин угли. Определение неразмывающей скорости потока в каналах со связным грунтовым руслом 277

CONTENTS

MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

Rakhimbaev Berik Sagidollauly. Thermodynamic calculations of a combined method for processing dust together with sludges from copper smelting production 10

Bildyuk Yegor Viktorovich, Pavlovskiy Aleksandr Illarionovich, Kologrivko Andrey Andreevich, Naryjnova Yevgeniya Yuryevna. Comparative analysis of Copernicus DEM GLO-30 and FABDEM digital elevation models for hydrological modeling of floodplain areas 17

Khasanov Abdirashid Saliyevich, Karshiboyev Sherzod Begmakhamat ugli, Kayirbayev Isa Bakhtiyar ugli, Yormatov Dostonbek Ashurmamat ugli. Thermodynamic assessment of brown coal ash solubility in hydrochloric acid for selective leaching of oxide phases and germanium concentration 27

Muxitdinov Djalolitdin Paxritdinovich, Tokhtamishova Madina Sherali kizi. Modeling and optimization of a fluidized bed drying apparatus 34

Xasanov Adham Amankulovich, Xasanov Abdirashid Saliyevich, Tolibov Behzod Ibrohimovich, Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich. Microscopic textures and field by field characterization of mineral phases in processing waste from the Ingichka beneficiation plant 40

Rustamov Islomjon Ilhomovich, Majidova Iroda Ibrohimovna, Voxidov Baxriddin Raxmidinovich, Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich. Particle size distribution and mineral composition of GMZ-3 tailings and the distribution of gold and silver across size fractions 53

Botirov Shoxbos Soibjon ugli, Nomdorov Rustam Uralovich. Comparative analysis of InSAR methods for monitoring ground surface deformation in mining areas 60

GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

Khusomiddinov Akhror Sabriddinovich, Ruzimboev Farruh Farhodovich. Changes in the groundwater level at the Yangibozor experimental observatory laboratory in recent years 77

Shoimurotov Tuychi Khalikulovich, Khojiev Aziz Jumamurodovich, Juraev Fazliddin Ochilkhonovich, Akhmedov Shovdullo Shukhratovich. Structural-tectonic features and oil and gas potential of the cretaceous deposits of the Bukhara-Khiva region 85

Khaydarov Islom Kasimovich, Seropov Ogabek Gayrat ugli. Investigation of pack-off formation during drilling of complex formations 95

Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich, Movlanov Jaxongir Jorabekovich, Rahmatullayev Ilhom Farmonqul ugli. Mineralogical and petrographic characteristics and material composition of gold ores of the Aytim ore field 104

Xusainov Xurshid Axmadovich, Bektemirov Lazizbek Sirojiddin ugli. Petrographic characteristics of magmatic rocks of the Yertoshsoy area (chatkal mountains) 112

Ileshov Kuanishbek Muratovich, Kurbonov Abduxakim Abdivakil ugli, Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich, Jumaniyozov Denis Ikramovich. Geochemical characteristics of rocks of the Kuhitang gabbro-granitoid massif (southwestern branches of the Hissar range) 119

Esenbaev Alisher Gaibidullaevich, Kurbonov Abduxakim Abdivakil ugli, Ileshov Kuanishbek Muratovich, Jumaniyozov Denis Ikramovich. Study of the composition of fluid inclusions in quartz veins of the Kyzylalmasay deposit (Samarchuk area) 130

Movlanov Jaxongir Jorabekovich, Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich, Rahmatullayev Ilhom Farmonqul ugli. Spatial distribution patterns of gold mineralization and structural controls in the Aytim ore field 142

Azimov Farhodjon Oqiljonovich, Turdiyev Shoxjaxon Shermamat ugli. Industrial and well-control safety as a factor in the economic efficiency and sustainable development of oil and gas projects 150

Yakubov Yusufboy Khasanovich, Ruzmetova Aida Shonazarovna, Matchanov Sherzad Kamilovich. Technogenic resources of the aral sea region for obtaining new types of geopolymer binders 159

Keldibekova Zilola, Mamarozikov Usmonjon, Hamraev Ahmadali. Geological features of rocks of the Beshkul intrusion 165

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Saitov Nuriddin Erkin ugli. Petrographic features of basic and intermediate rocks of the kyzylmachit paleovolcano 173

Hamrayev Ahmadali Xurrom ugli. Geochemical specialization of the Ohaktosh and Karasay deposits of the Daugiztav ore field 178

Lutfullaev Sadulla Shukurovich, Ismatov Bakhtiyor Akhmad ugli, Rakhmatov Makhmud Ismatovich. Use of technological waste of “Uzbekistan GTL” llc as an additive for polyolefins 183

CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

Abduraximov Shohzod Abduaxad ugli. Data validation and harmonization for integrated energy models: a case study using NASA POWER and ERA5 data 191

Berdiyev Sanjar Allanazarovich, Kamalov Botir Satvaldiyevich. Study of the IR spectrum and chemical properties of a synthesized superplasticizer for concrete 203

Sayitova Nodira Normurod kizi, Tangyarikov Normurod Sayitovich. Thermochemical dissolution enthalpy of metalloporphyrins in anhydrous solutions 209

Nomozova Sadoqat Iskandar kizi. Textural and physicochemical characteristics of modified catalysts for the production of aromatic hydrocarbons from propane 215

Nomozova Sadoqat Iskandar kizi. Deactivation of mesoporous catalysts during catalytic propane aromatization 221

LIGHT INDUSTRIES

Egamnazarova Sevaraxon Khasanboy kizi. Methodology for adapting national ornament compositions to digital industrial manufacturing 226

Doniyorov Bektosh Bahodirovich, Razzoqov Ja’far Abduvali ugli. Composition, structure, and properties of water-soluble chemical yarns used in the production of pile fabrics from combined yarns and innovative fabric manufacturing technology 236

ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

Lazarenkov Alexander. Comprehensive assessment of working conditions in foundry production and methods for reducing exposure to harmful factors 244

Lazarenkov Alexander, Pozdniakov Vladzimir. Assessment of heat stress among foundry workers and justification of work–rest regimens 251

Sulaymanov Sunnatulla Sulaymanovich, Narziev Shovkiddin Murtozaevich. Modern approaches to the digital monitoring of injuries and occupational diseases among athletes 258

Seytov Aybek Jumabayevich, Yarashov Inomjon Qahramon ugli, Umarova Shoirakhon Gulomovna, Choriyorov Nurbek Qilich ugli. System modeling and algorithmization of automatic control of water distribution in an irrigation canal 267

Eshev Sobir Samadovich, Gayimnazarov Israil Kholikovich, Aralov Behruzjon Gayratovich, Bozorov Bustonjon Erkin ugli. Determination of non-eroding flow velocity in channels with cohesive soil beds 277

KON-METALLURGIYA VA ISHLAB CHIQARISH SANOATI

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

MINING METALLURGY AND MANUFACTURING INDUSTRY

УДК: 669.3:669.054:536.7 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.1

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ПЫЛЕЙ СОВМЕСТНО СО ШЛАМАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА



Рахимбаев Берик Сагидоллаулы
Советник ТОО «Огневский ГОК», к.т.н., чл.-корр. МАИН, Алматы, Казахстан
E-mail: berikrakh@gmail.com

Аннотация. *В статье представлены результаты термодинамического анализа основных химических реакций, протекающих при комбинированной переработке пылей совместно со шламами медеплавильного производства. Проведена оценка термодинамической возможности химических превращений при заданных температурах, давлениях и составах исходных материалов. Рассмотрены реакции взаимодействия основных компонентов пылей и шламов, процессы образования устойчивых соединений и перехода ценных компонентов в целевые продукты. На основе изменения стандартной энергии Гиббса определены наиболее вероятные направления протекания химических реакций и установлены температурные интервалы, благоприятные для их осуществления. В результате термодинамических расчётов оценена вероятность протекания реакций с участием соединений свинца, меди, цинка, селена и теллура, а также их взаимодействия с натрийсодержащими соединениями. Полученные результаты могут быть использованы в качестве теоретической основы для выбора технологических параметров комплексной переработки техногенного сырья медеплавильного производства.*

Ключевые слова: *термодинамический анализ, пыль, шлам, медеплавильное производство, комбинированная переработка, энергия Гиббса, химические реакции, свинец, медь, цинк, селен, теллур, ценные компоненты, техногенные отходы.*

Received: 10.09.2026 | Accepted: 01.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

MIS ERITISH SANOATI SHLAMLARI BILAN BIRGALIKDA CHANGLARNI QAYTA ISHLASHNING KOMBINATSIYALASHGAN USULINI TERMODINAMIK HISOBLASH

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Rahimbayev Berik Sagidollauly
ТОО "Огневский ГОК" maslahatchisi, texnika fanlari nomzodi, MAIN akademik korrespondenti, Almati, Qozog'iston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada mis eritish sanoati shlamlari bilan changlarni birgalikda qayta ishlash jarayonida yuz beradigan asosiy kimyoviy reaksiyalarning termodinamik tahlili keltirilgan. Belgilangan harorat, bosim va dastlabki materiallar tarkibida kimyoviy o'zgarishlarning termodinamik jihatdan yuz berish imkoniyati baholangan. Chang va shlamlarning asosiy tarkibiy qismlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir reaksiyalari, barqaror birikmalarning hosil bo'lishi hamda qimmatli komponentlarning maqsadli mahsulotlarga o'tish jarayonlari ko'rib chiqilgan. Gibbs standart energiyasining o'zgarishi asosida reaksiyalarning eng ehtimoliy yo'nalishlari aniqlangan va ularning kechishi uchun qulay harorat oraliqlari belgilangan. Termodinamik hisoblashlar natijasida qo'rg'oshin, mis, rux, selen va tellur birikmalari ishtirokidagi reaksiyalarning borish ehtimoli hamda natriy saqlovchi birikmalar bilan o'zaro ta'sir jarayonlari baholangan. Olingan natijalar mis eritish sanoati texnogen chiqindilarini kompleks qayta ishlashning texnologik parametrlarini tanlash uchun nazariy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.*
Kalit so'zlar: *termodinamik tahlil, chang, shlam, mis eritish sanoati, kombinatsiyalashgan qayta ishlash, Gibbs energiyasi, kimyoviy reaksiyalar, qo'rg'oshin, mis, rux, selen, tellur, qimmatli komponentlar, texnogen chiqindilar.*

THERMODYNAMIC CALCULATIONS OF A COMBINED METHOD FOR PROCESSING DUST TOGETHER WITH SLUDGES FROM COPPER SMELTING PRODUCTION

Rakhimbaev Berik Sagidollauly
Advisor of "Ognevsky GOK" LLP, PhD in Engineering, Corresponding Member of MAIN, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *This article presents the results of a thermodynamic analysis of the main chemical reactions occurring during the combined processing of dust together with sludges from copper smelting production. The thermodynamic feasibility of chemical transformations was evaluated under specified temperatures, pressures, and initial material compositions. The study considers the interaction of the main components of dust and sludges, the formation of stable compounds, and the transfer of valuable components into target products. Based on changes in standard Gibbs free energy, the most probable reaction pathways were determined and favorable temperature ranges for their occurrence were established. The thermodynamic calculations were used to evaluate the feasibility of reactions involving lead, copper, zinc, selenium, and tellurium compounds, as well as their interactions with sodium-containing compounds. The obtained results can serve as a theoretical basis for selecting technological parameters for the comprehensive processing of technogenic raw materials generated by copper smelting production.*
Keywords: *thermodynamic analysis, dust, sludge, copper smelting, combined processing, Gibbs free energy, chemical reactions, lead, copper, zinc, selenium, tellurium, valuable components, technogenic waste.*

Введите. Термодинамические расчеты химических реакций позволяют установить возможность протекания реакций в рассматриваемой системе при заданных условиях температуре, давлении и концентрации, нужном направлении и в требуемой степени. На основе термодинамических расчетов можно определить также максимальное количество работы, которая может быть получена от системы, или минимальное количество работы, которое необходимо затратить извне для осуществления процесса. Вместе с тем термодинамические методы дают возможность определить тепловые эффекты различных процессов (химического взаимодействия и фазовых переходов). Все это

имеет большое значение и для теоретического исследования, и для решения задач прикладного характера.

Литературный анализ и методы. При переработке металлургических полупродуктов электротермическими комбинированными способами сульфиды, оксиды, сульфаты металлов взаимодействуют с натрийсодержащими соединениями, которые оказывают существенное влияние на ход процесса. В связи с этим необходимо было провести термодинамические расчеты основных реакций, сопровождающих электротермическую переработку полупродуктов (пылей и шламов) с применением в качестве флюсующих реагентов натрийсодержащих солей.

Для типичных условий протекания химической реакции (T=const, P=const) термодинамическая возможность протекания реакции определяется значением энергии Гиббса ΔG. Используя данные, приводимые в справочниках, по термодинамическим свойствам веществ можно рассчитать стандартное изменение этой функции ΔG°. В принципе эту характеристику также можно использовать для оценки термодинамической вероятности реакции.

Расчеты проводились с использованием программы термодинамических расчетов HSC Chemistry 5.11 компании Outokumpu Technology Engineering Reseach Stainless Steel Copper Zinc Metals. Данный программный комплекс предназначен для моделирования равновесных термодинамических состояний и процессов на персональном компьютере. База данных по термодинамическим свойствам веществ, входящая в состав программного комплекса, является компилятивной. Число веществ, информация о которых содержится в базе данных, превышает 10000, а также по формулам, описанным в работе [1].

$$\Delta G_T^0 = \Delta_f H_{298}^0 + \int_{298}^{T_1} \Delta C_{p,1} dT + L_1 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_{p,1} dT + \ldots + L_i + \int_{T_i}^{T} \Delta C_{p,i} dT - T(dS_{298} + \int_{298}^{T_1} (\Delta C_{p,1}/T) dT + L_1/T_1 + \int_{T_1}^{T_2} (\Delta C_{p,2}/T_2) dT + L_2/T_2 + \ldots + L_i/T_i + \int_{T_i}^{T} (\Delta C_{p,i}/T)\, dT)) \quad (1)$$

где $\Delta_f H_{298}^0$ – энтальпия реакции; Дж/моль;

$T_1 \ldots T_i$ – температуры фазовых и модификационных переходов, К;

$L_1 \ldots L_i$ – теплоты фазовых превращений компонентов реакций, Дж/моль;

T – конечная температура, К;

C_{p1} ... C_{pi} – изменения изобарной теплоемкости реакции; Дж/(моль·град).

Данная формула предусматривает расчеты $\Delta H_т°$ и $G_т°$ с учетом изменений основных термодинамических величин при температурах фазовых и модификационных переходов компонентов реакций.

В формуле (1) интегралы типа: $\int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p\, dT$, $\int_{T_1}^{T_2} (\Delta C_p/T) dT$ решали следующим образом:

$$\int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p\, dT = \Delta a(T_2 - T_1) + (\frac{\Delta b}{2}) \cdot 10^{-3} \cdot (T_2^2 - T_1^2) + \frac{1}{3}\Delta C(T^3 - 298^3) \cdot 10^{-6} - \Delta d(373^{-1} - 298^{-1}) \cdot 10^5 \quad (2)$$

$$\int_{T_1}^{T_2} (\Delta C_p/T) dT = \Delta a(ln\, T_2 - ln\, T_1) + \Delta b \cdot 10^{-3} \cdot (T_2 - T_1) - \frac{1}{2} C \cdot 10^{-6} \cdot (T_2^2 - T_1^2) - \frac{1}{2}\Delta d \cdot (T_2^{-2} - T_1^{-2}) \quad (3)$$

Для расчетов в качестве исходных данных брали температуру, температуру фазовых и модификационных переходов и конечную температуру (в интервале 573-1473 К), значения теплот образования и стандартных энтропий компонентов реакций, коэффициенты a, b, c в уравнениях теплоемкостей всех компонентов реакций с учетом их агрегатных состояний, значения теплот фазовых и модификационных переходов всех компонентов реакции.

Механизм электроплавки пылей совместно со шламами определяются основными реакциями (таблица 1):

а) восстановление свинца из его различных соединений в жидкой содово-сульфидной ванне до металла (реакции 1-3);

б) концентрация Au, Ag в сплаве со свинцом и ликвация на дно тигля (реакции 4-7);

в) разрушение селенидов меди (реакции 8-9);

г) разрушение селенида золота и теллурида серебра с образованием тиосолей селена и теллура (реакции 10-11);

д) возгон оксидов рения при продувке штейно-шлакового расплава (реакции 12-32).

Натрий, растворенный в свинце, цементирует селен и теллур и переводит их в

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

расплав тиосолей.

Сульфид цинка, сульфид натрия, оксид цинка, карбонат натрия образуют с некоторыми сульфидами мышьяка, селена и других металлов натриевый штейно-шлаковый расплав (реакции 33-34).

Также мы синтезировали тиосоли селена и теллура по реакциям 37-38.

Наряду с этим в процессе плавки возможны реакции образования силикатов натрия, а также и реакции образования свинцово-натриевых интерметаллических соединений:

$$Na_2O+SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 \quad (4)$$

$$2Pb+Na_2O+C \rightarrow 2(Pb\cdot Na)+CO \quad (5)$$

В процессе пирометаллургической переработки сырья с натрийсодержащими солями имеет место образование тиосолей металлов по следующим схемам:

$$Me_2S_3+3Na_2S=2Na_3MeS_3 \quad (6)$$

$$Me_2O_3+3Na_2S=Na_3MeS_3+Na_3MeO_3 \quad (7)$$

$$Me_2S_3+Na_2S=2NaMeS_2 \quad (8)$$

Таким образом, основными продуктами плавки являются металлический свинец и натриевый штейно-шлаковый расплав (расплав тиосолей), в котором коллективируются цинк, натрий, мышьяк, селен, теллур и другие редкие рассеянные металлы [2].

Карбонат натрия препятствует растворению сульфида свинца в расплаве.

Металлический свинец и штейно-шлаковый расплав (расплав тиосолей) образуют в ванне электропечи два жидких слоя, на границе раздела которых происходит взаимодействие и распределение металлов между этими продуктами плавки.

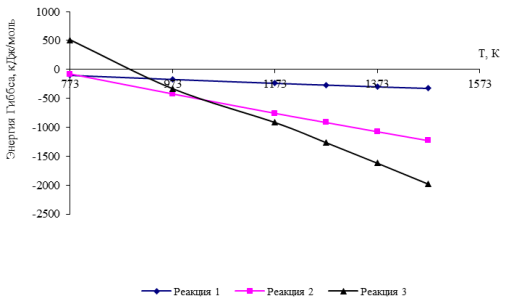


Рис.1. Изменение энергии Гиббса основных реакций образования свинца в зависимости от температуры.

Расчеты величин энергии Гиббса показали, что вероятность протекания приведенных выше реакций 1-3 возможна уже при довольно низких температурах из рис. 1 видно, что имеют отрицательные величины энергии Гиббса этих реакций при 973 К, это указывает на возможность восстановления свинца из его сульфата при добавлении соды и углерода.

Расчеты по реакциям 4-7 свидетельствуют о том, что повышение температуры выше 773 К ведет к повышению энергии Гиббса. Значит, мала вероятность протекания реакций 4-7 при этих условиях.

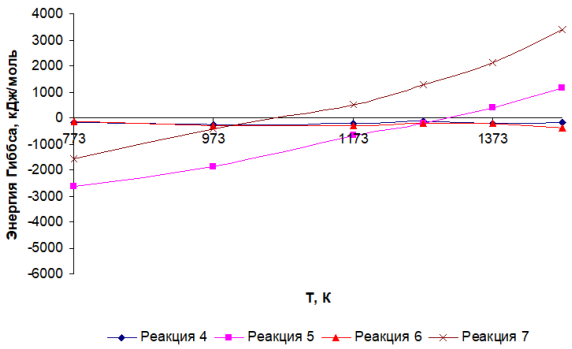


Рис.2. Изменение энергии Гиббса основных реакций концентрации золота, серебра в сплаве со свинцом и образование окситиосолей теллура, селена в зависимости от температуры.

Для реакций 8-11 термодинамическая вероятность протеканий реакций возможна при низких температурах. С повышением температуры вероятность протекания данных реакций уменьшается.

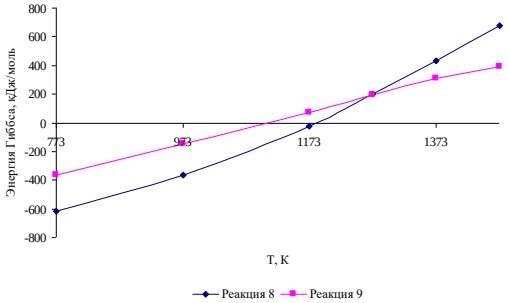


Рис.3. Изменение энергии Гиббса основных реакций разрушения селенатов меди в зависимости от температуры.

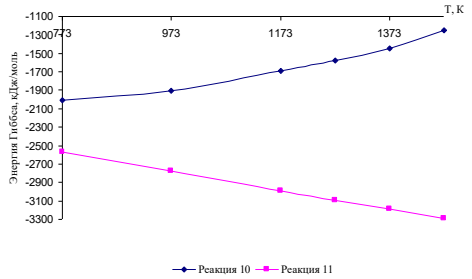


Рис.4. Изменение энергии Гиббса основных реакций разрушения селенидов, теллуридов золота и серебра с образованием тиосолей селена и теллура в зависимости от температуры.

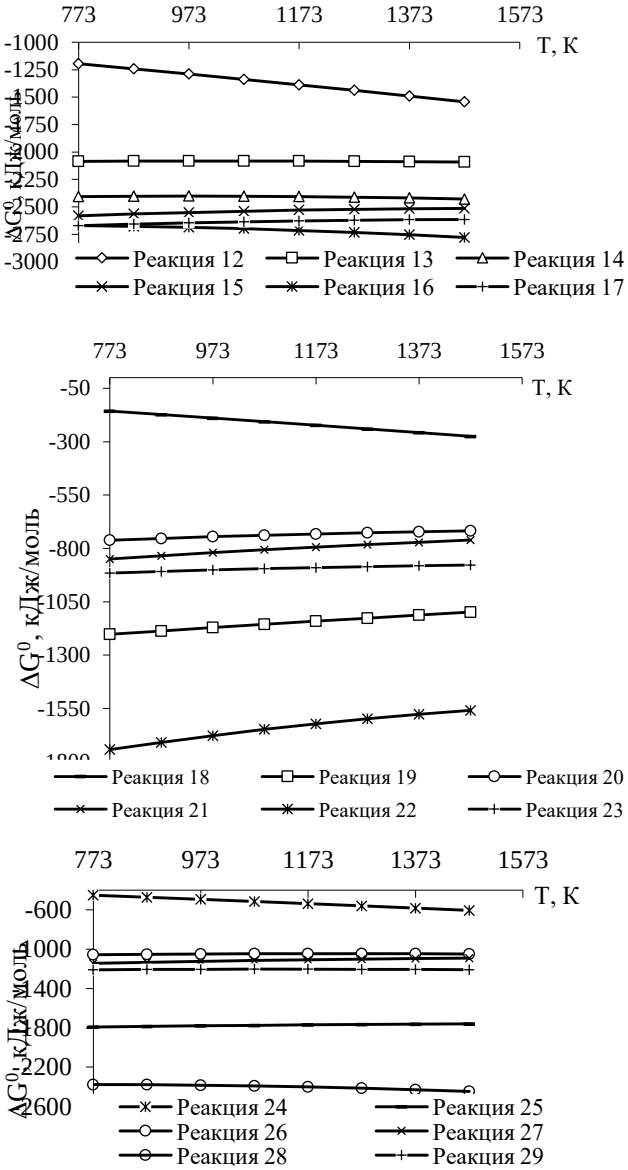


Рис.5. Изменение энергии Гиббса основных реакций возгонки оксидов и сульфидов рения в зависимости от температуры.

Данные, приведенные таблице, для реакций образования оксидов рения в интервале температур 773-1473, дают определенную оценку этих реакций. Отрицательные величины энергии Гиббса говорят о том, что реакции образования приведенных оксидов протекают полностью.

Реакции взаимодействия между сульфидом цинка и меди с сульфидом натрия (реакции 33-36) термодинамически наиболее вероятны и могут протекать при довольно низких температурах.

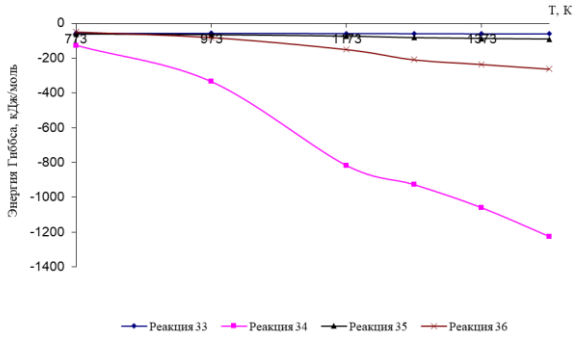


Рис.6. Изменение энергии Гиббса основных реакций образования тиосолей меди и цинка в зависимости от температуры.

Для реакций 37-38 характерно увеличение свободной энергии Гиббса. Термодинамический анализ образования тиосолей селена и теллура натрия показал на возможность образования этих тиосолей при низких температурах, исходя из этого можно сделать предположение о взаимодействии исходных материалов, участвующих в образовании тиосолей еще в твердом состоянии.

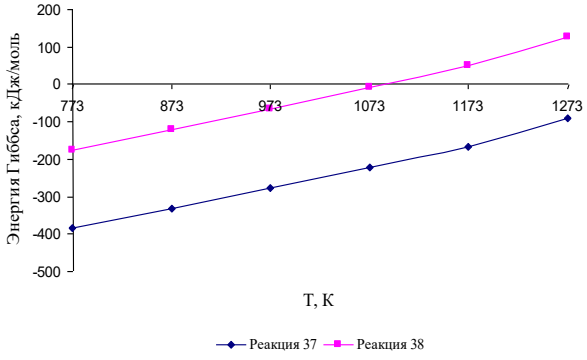


Рис.7. Изменение энергии Гиббса основных реакций образования тиосолей селена и теллура в зависимости от температуры.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Таблица 1.

Значения энергии Гиббса ( ) в интервале температур от 373К до 1273К (кДж/моль)

Реакции		Изменение величины энергии Гиббса (ΔG_T^0), кДж/моль					
		773 К	973 К	1173 К	1273 К	1373 К	1473 К
1	$PbSO_4+Na_2CO_3+C\rightarrow Pb+Na_2SO_4+CO_2+CO$	-101,5	-170,4	-235,9	-266,1	-295,5	-323,0
2	$PbSO_4+Na_2CO_3+Na_2SO_4+9C\rightarrow Pb+2Na_2S+CO_2+$ $+9CO$	-83,4	-425,5	-758,2	-916,8	-1073,9	-1228,3
3	$PbSe+Na_2SO_4+Na_2CO_3+C\rightarrow Pb_{мет}+Na_2SeO_3+Na_2S+$ $+2CO_2$	510,2	-332,6	- 917,06	-1264,2	-1619,1	-1981,8
4	$Ag_2Se+Na_2CO_3+1,5O_2+C\rightarrow 2Ag+Na_2SeO_3+CO_2+CO$	-179,6	-265,5	-216,9	-132,4	-195,3	-191,1
5	$Au_2Se+Na_2CO_3+1,5O_2+C\rightarrow 2Au+Na_2SeO_3+CO_2+CO$	-619,1	-672,08	-662,7	-233,6	586,8	1142,6
6	$Ag_2Te+Na_2CO_3+1,5O_2+C\rightarrow 2Ag+Na_2TeO_3+CO_2+$ $+CO$	-113,4	-196,2	-216,01	199,6	-211,6	-395
7	$AuTe_2+Na_2CO_3+1,5O_2+C\rightarrow Ag+2Na_2TeO_3+CO_2+$ $+CO$	-1563,8	-408,6	-531,1	1155,9	2311,6	3607,7
8	$Cu_2Se+Na_2CO_3+2O_2\rightarrow Na_2SeO_3+2CuO+CO_2$	-613,2	-365,3	-25,9	203,2	469,8	687,2
9	$CuSe+Na_2CO_3+1,5O_2\rightarrow Na_2SeO_3+CuO+CO_2$	-364,8	-148,4	-69,2	194,9	220,9	260,6
10	$3Au_2Se+3Na_2S\rightarrow 3Na_2SeS_3+6Au$	-2006,8	-1901,1	-1686,6	-1577,5	-1451	-1245,8
11	$3Ag_2Te+3Na_2S\rightarrow 3Na_2TeS_3+6Ag$	-2565,4	-2778,4	-2987,7	-3090,5	-3191	-3290,7
12	$Re_2S_7+8O_2=2ReO+7SO_2$	-1195,6	-1289,9	-1388,2	-1438,9	-1490,5	-1542,9
13	$Re_2S_7+8,5O_2=Re_2O_3+7SO_2$	-2084,7	-2082,4	-2083,6	-2085,3	-2087,9	-2091,2
14	$Re_2S_7+9O_2=2ReO_2+7SO_2$	-2405,8	-2401,4	-2406,1	-2411,6	-2419,1	-2428,4
15	$Re_2S_7+10O_2=2ReO_3+7SO_2$	-2581,4	-2550,8	-2529,8	-2522,5	-2517,3	-2513,9
16	$Re_2S_7+10,5O_2=Re_2O_7+7SO_2$	-2669,8	-2685,7	-2714,7	-2733,4	-2754,6	-2778,3
17	$Re_2S_7+11O_2=2ReO_4+7SO_2$	-2671,3	-2657,1	-2627,3	-2621,2	-2617,1	-2614,7
18	$ReS_2+2,5O_2=ReO+2SO_2$	-156,5	-189,3	-222,9	-240,1	-257,4	-274,9
19	$2ReS_2+5,5O_2=Re_2O_3+4SO_2$	-1202,3	-1171,2	-1141,2	-1126,6	-1112,2	-1098,1
20	$ReS_2+3O_2=ReO_2+2SO_2$	-761,7	-745,1	-731,9	-726,4	-721,7	-717,6
21	$ReS_2+3,5O_2=ReO_3+2SO_2$	-849,5	-819,8	-793,7	-781,9	-770,8	-760,5
22	$2ReS_2+7,5O_2=Re_2O_7+4SO_2$	-1742,3	-1676,7	-1621,8	-1598,2	-1577,1	-1558,5
23	$ReS_2+4O_2=ReO_4+2SO_2$	-915,5	-901,1	-889,7	-885,0	-881,1	-877,8
24	$ReS_3+3,5O_2=ReO+3SO_2$	-451,3	-493,3	-537,1	-559,6	-582,4	-605,6
25	$2ReS_3+7,5O_2=Re_2O_3+6SO_2$	-1791,8	-1779,3	-1769,5	-1765,5	-1762,2	-1759,4
26	$ReS_3+4O_2=ReO_2+3\ SO_2$	-1056,4	-1049,1	-1046,0	-1045,9	-1046,7	-1048,3
27	$ReS_3+4,5O_2=ReO_3+3SO_2$	-1144,2	-1133,4	-1107,9	-1101,4	-1095,8	-1091,1
28	$2ReS_3+9,5O_2=Re_2O_7+6SO_2$	-2376,9	-2382,7	-2400,6	-2413,6	-2428,9	-2446,5
29	$ReS_3+5O_2=ReO_4+3SO_2$	-1210,2	-1205,2	-1203,9	-1204,5	-1206,1	-1208,4
30	$2ReO_3+0,5O_2=Re_2O_7$	-43,36	-37,13	-34,41	-34,46	-35,51	-37,57
31	$2ReO_2+1,5O_2=Re_2O_7$	-218,88	-186,57	-158,06	-145,35	-133,73	-123,22
32	$Re_2O_3+2O_2=Re_2O_7$	-54,00	-50,55	-48,07	-47,17	-46,49	-46,04
33	$ZnS+Na_2S\rightarrow Na_2ZnS_2$	-56,4	-57,0	-57,9	-59,0	-60,0	-61,1
34	$ZnS+3Na_2S\rightarrow Na_6ZnS_4$	-127,3	-335,0	-817,0	-927,0	-1060,0	-1225,0
35	$2Cu_2S+Na_2S\rightarrow Na_2Cu_4S_3$	62,0	-65,7	-74,5	-83,0	-87,5	-91,1
36	$4Cu_2S+Na_2S\rightarrow Na_2Cu_8S_5$	-50,0	-81,3	-150,0	-208,5	-235,2	-262,0
37	$Te+Na_2S+S_2=Na_2TeS_3$	-382,57	-330,92	-277,42	-222,23	-165,51	-91,045
38	$Se+Na_2S+S_2=Na_2SeS_3$	-175,92	-122,24	-66,485	-8,8692	50,4489	127,663

Обсуждение. Термодинамический анализ вероятности протекания реакций взаимодействия сульфатных и оксисульфатных соединений свинца с сульфатом натрия, содой и углеродом показал, что реакции с образованием металлического свинца термодинамически возможны уже при температуре 573 К. При данной температуре изменение энергии Гиббса для рассматриваемых реакций принимает отрицательные значения, что свидетельствует о принципиальной возможности их самопроизвольного протекания в заданных условиях. Анализ термодинамических данных для системы «металл (медь, цинк, селен, теллур) – сера – сульфид натрия» показал, что образование соответствующих тиосолей термодинамически возможно в интервале температур 573-873 К. Полученные результаты свидетельствуют о возможности протекания реакций взаимодействия соединений меди, цинка, селена и теллура с серой и сульфидом натрия с образованием соответствующих тиосолей уже при относительно низких температурах.

Заключения. В результате проведённого термодинамического анализа установлена принципиальная возможность протекания основных химических реакций при комбинированной переработке пылей совместно со

шламами медеплавильного производства. На основании расчётов изменения стандартной энергии Гиббса определены наиболее термодинамически вероятные направления химических превращений и оценена устойчивость образующихся соединений в исследуемом диапазоне температур.

Установлено, что повышение температуры оказывает существенное влияние на направление и интенсивность протекания рассматриваемых реакций, создавая благоприятные условия для взаимодействия основных компонентов пылей и шламов. Определённые температурные интервалы могут быть рекомендованы для проведения технологических операций, направленных на эффективное преобразование исходных соединений и перевод ценных компонентов в целевые продукты.

Полученные результаты термодинамических расчётов подтверждают перспективность комбинированной переработки пылей и шламов медеплавильного производства как одного из направлений комплексного использования техногенного сырья. Проведённый анализ может служить теоретической основой для дальнейшего выбора оптимальных технологических параметров процесса и проведения экспериментальных исследований по извлечению ценных компонентов из исследуемых отходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Шевко, В. М., Шишкин, А. П., & Пашинкин, А. С. (1985). Построение диаграммы парциальных давлений системы Bi–O–Cl и Cd–O–Cl с учетом образования оксихлорида Bi и Cd с использованием ЭВМ. Алматы: ВИНИТИ, депонированная рукопись № 1010-Ка-85.

[2] Кобжасов, А. К., Молдабаева, Г. Ж., & Рахимбаев, Б. С. (2006). Термодинамический анализ реакций электроплавки свинцовых конвертерных пылей совместно со шламами. In Вторая международно-практическая конференция, посвященная 15-летию независимости Республики Казахстан (с. 130–133). КазНТУ им. К. И. Сатпаева.

[3] Roine, A. (1989). HSC—Software ver. 3.0 for thermodynamic calculations. In Proceedings of the International Symposium on Computer Software in Chemical and Extractive Metallurgy (pp. 15–29). Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-036087-4.50007-0

[4] Roine, A. (2006). HSC Chemistry 6.0 user's guide: Chemical reaction and equilibrium software with extensive thermochemical database and flowsheet simulation. Outokumpu Research Oy.

[5] Halpern, J. (2023). The Ellingham diagram. In TLP Library I: Ellingham diagrams. University of Cambridge.

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

Рахимбаев, Б. С. (2026). Термодинамические расчёты комбинированного способа переработки пылей совместно со шламами медеплавильного производства. Цифровые технологии в промышленности, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.1

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 528.94:556.166

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.2

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА COPERNICUS DEM GLO-30 И FABDEM КАК ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ



Бильдюк Егор Викторович

Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Горные работы», магистр технических наук, аспирант, Беларусь
E-mail: bilduk@bntu.by
ORCID ID: 0000-0001-8494-9093



Павловский Александр Илларионович

Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, заведующий кафедрой «Горные работы», кандидат географических наук, доцент, Беларусь
E-mail: apavloskiy@bntu.by
ORCID ID: 0000-0003-2211-2559



Кологривко Андрей Андреевич

Белорусский национальный технический университет, декан факультета горного дела и инженерной экологии, кандидат технических наук, доцент, Беларусь
E-mail: akologrivko@bntu.by
ORCID ID: 0000-0003-2449-9419



Нарыжнова Евгения Юрьевна

Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Горные работы», магистр технических наук, старший преподаватель, аспирант, Беларусь
E-mail: naryzhnava.e@bntu.by
ORCID ID: 0009-0001-4653-250X

Аннотация. *В статье представлен геоинформационный сравнительный анализ двух глобальных цифровых моделей рельефа — Copernicus DEM GLO-30 и её модифицированной версии FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — как исходной основы для последующего гидрологического моделирования поверхностного стока на пойменных территориях. Объектом исследования выступает участок Пуховичского района Минской области — территория действующей открытой разработки торфяного месторождения с развитой осушительной сетью. Установлено, что за счёт удаления влияния древесной растительности и застройки поверхность FABDEM в среднем на 0,5–0,7 м ниже поверхности DEM GLO-30, при этом локальные расхождения на облесённых участках поймы достигают 10–16 м и пространственно приурочены к границам лесных массивов и застройки. Показано, что подобные артефакты рельефа GLO-30 способны формировать ложные подпруживающие гряды и искажать направления и объёмы поверхностного стока при последующем гидрологическом моделировании. Сделан вывод о предпочтительности использования FABDEM в качестве исходной основы для построения гидрологически корректных цифровых моделей рельефа пойменных территорий, в том числе для задач геоэкологического мониторинга техногенно нагруженных территорий открытой разработки.*

Ключевые слова: *FABDEM, Copernicus DEM GLO-30, цифровая модель рельефа, гидрологическое моделирование, пойма, поверхностный сток, дистанционное зондирование Земли, геоинформационные системы.*

Received: 14.09.2026 | Accepted: 01.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

POYMA HUDUDLARINI GIDROLOGIK MODELLASHTIRISH UCHUN COPERNICUS DEM GLO-30 VA FABDEM RAQAMLI RELYEF MODELLARINING QIYOSIY TAHLILI

Bildyuk Yegor Viktorovich
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti, "Kon ishlari" kafedrasi, texnika fanlari magistri, doktorant, Belarus

Pavlovskiy Aleksandr Illarionovich
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti, "Kon ishlari" kafedrasi mudiri, geografiya fanlari nomzodi, dotsent, Belarus

Kologrivko Andrey Andreyevich
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti dekani, texnika fanlari nomzodi, dotsent, Belarus

Naryjnova Yevgeniya Yuryevna
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti, "Kon ishlari" kafedrasi, texnika fanlari magistri, katta o'qituvchi, doktorant, Belarus

Annotatsiya. *Maqolada poyma hududlarida yer usti oqimini gidrologik modellashtirish masalalariga nisbatan ikkita global raqamli relyef modeli — Copernicus DEM GLO-30 va uning o'zgartirilgan versiyasi FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — qiyosiy tahlili keltirilgan. Tadqiqot ob'ekti sifatida Minsk viloyati Puxovichi tumanidagi rivojlangan quritish tarmog'iga ega bo'lgan amaldagi ochiq usulda qazib olinadigan torf koni hududi tanlangan. Daraxtzor o'simlik va qurilish ta'sirining olib tashlanishi hisobiga FABDEM sirti o'rtacha 0,5–0,7 m ga DEM GLO-30 sirtidan past ekanligi aniqlandi, poyma o'rmonzor uchastkalarida esa mahalliy farqlar 10–16 m gacha yetadi va o'rmon massivlari hamda qurilish chegaralariga birkikkan. GLO-30 relyefidagi bunday artefaktlar sun'iy to'siq tizmalarini hosil qilishi va gidrologik modellashtirishda yer usti oqimi yo'nalishlari va hajmlarini buzishi mumkinligi ko'rsatildi. Poyma hududlarining gidrologik jihatdan to'g'ri raqamli relyef modellarini qurish uchun, shu jumladan ochiq kon ishlarining texnogen yuklamaga ega bo'lgan hududlarida geoekologik monitoring masalalari uchun FABDEM dan foydalanish maqsadga muvofiqligi haqida xulosa qilingan.*

Kalit so'zlar: *FABDEM, Copernicus DEM GLO-30, raqamli relyef modeli, gidrologik modellashtirish, poyma, yer usti oqimi, Yerni masofadan zondlash, geoaxborot tizimlari.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF COPERNICUS DEM GLO-30 AND FABDEM DIGITAL ELEVATION MODELS FOR HYDROLOGICAL MODELING OF FLOODPLAIN AREAS

Bildyuk Yegor Viktorovich
Belarusian National Technical University, Faculty of Mining and Engineering Ecology, Department of Mining Operations, Master of Technical Sciences, Doctoral Student, Belarus

Pavlovskiy Aleksandr Illarionovich
Belarusian National Technical University, Faculty of Mining and Engineering Ecology, Head of the Department of Mining Operations, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Belarus

Kologrivko Andrey Andreevich
Belarusian National Technical University, Dean of the Faculty of Mining and Engineering Ecology, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belarus

Naryjnova Yevgeniya Yuryevna
Belarusian National Technical University, Faculty of Mining and Engineering Ecology, Department of Mining Operations, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Doctoral Student, Belarus

Abstract. *The paper presents a comparative GIS-based analysis of two global digital elevation models — Copernicus DEM GLO-30 and its modified version FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — as a base for subsequent hydrological modeling of surface runoff in floodplain areas. The study object is a site in the Pukhovichi district of the Minsk region, representing an active open-cast peat extraction site with a developed drainage network. It is shown that, owing to the removal of forest and building bias, the FABDEM surface is on average 0.5–0.7 m lower than the DEM GLO-30 surface, while local discrepancies within forested floodplain sections reach 10–16 m and are spatially confined to the boundaries of forest tracts and built-up areas. Such relief artefacts of DEM GLO-30 are shown to be capable of forming spurious damming ridges and distorting the direction and volume of simulated surface runoff during subsequent hydrological modeling. It is concluded that FABDEM should*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

be preferred as the base surface for constructing hydrologically consistent digital elevation models of floodplain territories, including tasks of geoecological monitoring of technologically impacted open-cast mining sites.
Keywords: *FABDEM, Copernicus DEM GLO-30, digital elevation model, hydrological modeling, floodplain, surface runoff, Earth remote sensing, geographic information systems.*

Введение. Достоверность гидрологического моделирования поверхностного стока напрямую определяется качеством исходной цифровой модели рельефа (ЦМР). Глобальные радарные ЦМР, полученные по данным интерферометрической съёмки (SRTM, TanDEM-X/Copernicus DEM), фиксируют не только истинную поверхность земли, но и верхнюю границу отражающего слоя — полог леса, кроны деревьев, крыши зданий и иных сооружений. На равнинных и пойменных территориях с относительно малыми абсолютными перепадами высот подобный «растительно-строительный» шум может по амплитуде превышать собственно геоморфологические уклоны местности, что приводит к появлению на ЦМР ложных возвышенностей, гряд и замкнутых понижений, не имеющих отношения к реальному рельефу. Подобные искажения приобретают особое значение и в задачах непрерывного мониторинга геологической среды техногенно нагруженных территорий, где принципиально важна фиксация даже сравнительно небольших, порядка первых метров, изменений рельефа [9].

Для гидрологического и гидравлического моделирования — построения карт затопления, расчёта направлений и путей стекания, делимитации водосборов и русловых сетей — подобные артефакты особенно критичны: ложные повышения способны формировать фиктивные подпруживающие барьеры, изменять направление трассировки потока и искажать оценку объёмов и площадей затопления поймы. Одним из способов устранения указанной проблемы является продукт FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM), предложенный группой исследователей Бристольского университета: с помощью моделей машинного обучения из поверхности Copernicus DEM GLO-30 удаляется систематическое смещение, вызванное растительностью и застройкой, что приближает результирующую поверхность к истинному рельефу земли [1]. Именно подобным образом скорректированные глобальные ЦМР лежат в основе современных гидрографических продуктов, таких как MERIT Hydro, применяемых для делимитации водосборов и построения русловых сетей в глобальном масштабе [3].

Целью настоящего исследования является количественная и качественная оценка расхождений между исходной моделью Copernicus DEM GLO-30 и модифицированной моделью FABDEM применительно к пойменным территориям исследуемого участка и обоснование выбора более предпочтительного источника исходных данных о рельефе для последующего гидрологического моделирования поверхностного стока на данном объекте.

Материалы и методы. Объектом исследования является участок территории Пуховичского района Минской области площадью около 65 км², ограниченный координатами 53,43–53,49° с.ш. и 27,71–27,81° в.д., включающий пойму реки Ковалёвка. В границы участка входит торфяное месторождение «Гала-Ковалевское» — действующий объект добычи торфа, эксплуатируемый с 1998 г. и оснащённый развитой осушительной сетью и насосными станциями откачки воды [8]. Добыча торфа по действующей классификации полезных ископаемых относится к разработке месторождений открытым способом, что определяет непосредственную прикладную значимость исследования для задач геоэкологического мониторинга техногенно нагруженных территорий открытой разработки. Рельеф участка равнинный, слабоволнистый, с амплитудой абсолютных высот от 154 до примерно 207 м; значительная часть пойменных земель занята пойменными лесами, кустарниковой растительностью и отдельными населёнными пунктами, что делает территорию репрезентативной для оценки влияния «растительно-строительного» шума на качество

ЦМР.

В работе использованы два источника данных о рельефе. Первый — Copernicus DEM GLO-30, глобальная радарная ЦМР с пространственным разрешением 30 м (1 угловая секунда), построенная по материалам радиолокационной интерферометрической съёмки TanDEM-X и распространяемая Европейским космическим агентством [2]. Второй — FABDEM (версия 1-2), представляющая собой производную от Copernicus DEM GLO-30 модель, в которой с применением алгоритмов машинного обучения скорректировано систематическое завышение высот, вызванное древесной растительностью и застройкой [1].

Обработка данных выполнена по единой методике: приведение обоих растров к идентичной сетке и системе координат WGS-84 (поскольку FABDEM по построению является поячейковой производной Copernicus DEM GLO-30 [1], оба растра исходно имеют общее пространственное разрешение 30 м, единый охват и выравненную сетку пикселей. Вследствие этого данный шаг сводился к контролю совпадения границ и проекции, без необходимости передискретизации поверхностей и связанного с ней привнесения интерполяционных артефактов. Исключение этапа интерполяции позволяет избежать искажения локальных экстремумов рельефа, сохранение которых требует отдельного обоснования [4]); построение изолинейных карт рельефа с шагом сечения 2 м (рис. 1, рис. 2); совместная трёхмерная визуализация поверхностей для качественного сопоставления форм рельефа (рис. 3); вычисление растра разностей $\Delta Z = Z_{GLO-30} - Z_{FABDEM}$ и обратного растра $\Delta Z = Z_{FABDEM} - Z_{GLO-30}$ для раздельной визуализации положительных и отрицательных аномалий (рис. 5, рис. 6); статистическая обработка массива разностей с расчётом среднего значения, медианы, стандартного отклонения, средней абсолютной ошибки (MAE), среднеквадратической ошибки (RMSE), экстремумов и долей площади с превышением пороговых значений $|\Delta Z|$ (табл. 1); построение и сопоставление двух пересекающихся высотных профилей, трассы которых намеренно проведены через облесённые и открытые участки поймы (рис. 7). Отметим, что ячейки растра разностей пространственно автокоррелированы, в связи с чем приведённые статистические показатели (табл. 1) следует рассматривать как описательные характеристики выборки, а не как результат, для которого корректно применение классических доверительных интервалов, предполагающих независимость наблюдений; строгий учёт пространственной структуры подобных данных обеспечивается методами геостатистики [5].

Следует оговорить методическое ограничение принятого подхода: сопоставление выполнено между двумя производными (косвенными) моделями рельефа, ни одна из которых не является инструментально измеренным эталоном. Прямая геодезическая верификация участка — наземные измерения GNSS в режиме RTK, тахеометрическая съёмка контрольных точек либо лидарная съёмка с БПЛА — в рамках настоящей работы не проводилась и рассматривается как необходимое направление дальнейших исследований на территории исследуемого участка. В качестве косвенного, независимого от самих сопоставляемых ЦМР подтверждения природы выявленных расхождений использовано их пространственное сопоставление с положением лесных массивов и застройки по картографической основе и общедоступным данным дистанционного зондирования (рис. 4): совпадение зон максимальных по модулю значений ΔZ с контурами лесных кварталов и границами населённых пунктов при близких к нулю расхождениях на открытых пойменных участках (см. рис. 5, рис. 6 и раздел «Результаты и обсуждение») указывает на растительно-строительную, а не геоморфологическую природу этих артефактов. Такой приём является общепринятой практикой предварительной оценки качества глобальных ЦМР при отсутствии полевых эталонных данных [1, 3], однако не заменяет полноценной инструментальной верификации, и полученные количественные показатели (табл. 1) следует интерпретировать как оценку различий между двумя моделями, а не как оценку абсолютной

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

точности каждой из них относительно истинной земной поверхности.

Результаты и обсуждение. Визуальное сопоставление изолинейных карт (рис. 1 и 2) демонстрирует принципиальное сходство общего плана рельефа территории при заметных локальных различиях. На карте DEM GLO-30 в северо-западной и юго-западной частях участка, соответствующих массивам пойменного леса, изолинии образуют компактные замкнутые повышения с плотным рисунком горизонталей — характерный признак «купольных» артефактов, вызванных отражением радиолокационного сигнала от лесного полога. На карте FABDEM аналогичные участки заметно сглажены: изолинии становятся более разреженными и плавными, что указывает на удаление растительной составляющей сигнала.

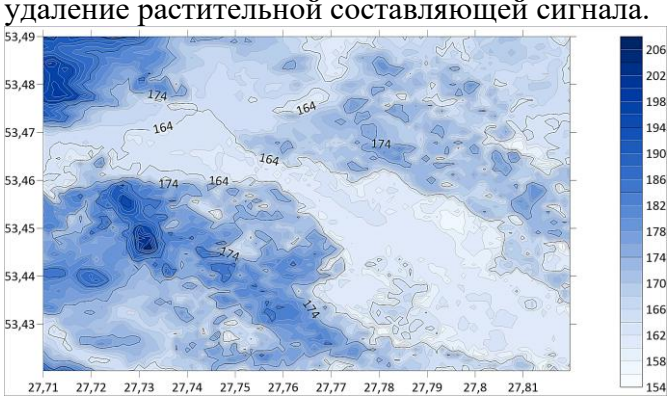


Рис.1. Цифровая модель рельефа территории исследования по данным Copernicus DEM GLO-30.

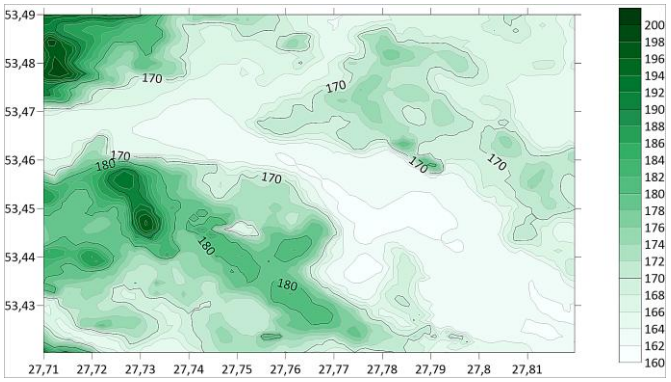


Рис.2. Цифровая модель рельефа той же территории по данным FABDEM.

Совместная трёхмерная визуализация двух поверхностей (рис. 3) наглядно демонстрирует характер расхождений: поверхность DEM GLO-30 (синяя шкала) практически повсеместно образует более «изрезанный», игольчатый микрорельеф с локальными пиками, тогда как поверхность FABDEM (зелёная шкала) сохраняет генеральные формы рельефа, но выглядит существенно более гладкой, особенно в границах лесных массивов в западной части участка.

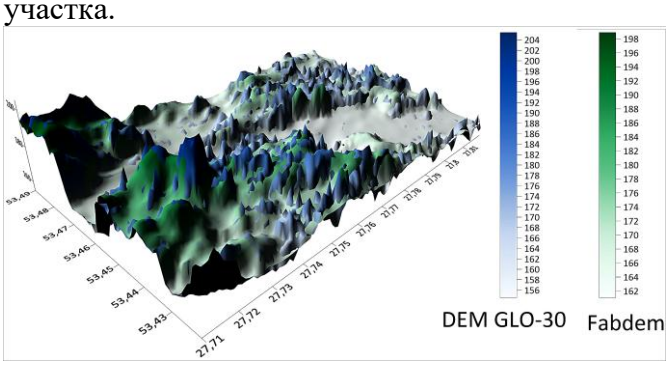


Рис.3. Трёхмерное сопоставление поверхностей Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM.

Количественная оценка расхождений выполнена путём построения растра разностей и его статистической обработки (табл. 1). Среднее значение разности ΔZ = DEM GLO-30 − FABDEM по всей территории составило −0,69 м при медиане −0,51 м, что подтверждает систематическое занижение поверхности FABDEM относительно исходной модели вследствие удаления «растительно-строительного» смещения. Стандартное отклонение разности достигает 2,88 м, RMSE — 2,97 м, а экстремальные значения варьируют от −16,43 до +15,67 м, что сопоставимо с высотой древостоя на пойменных лесных участках. Не менее показательны доли площади с превышением пороговых значений расхождений: более чем на половине территории (54,61 %) расхождение по модулю превышает 1 м, более чем на трети площади (35,65 %) — превышает 2 м, а на 10,18 % площади различия превышают 5 м, что для равнинной поймы с амплитудой рельефа порядка первых десятков метров является величиной, критичной для корректного гидрологического моделирования.

Таблица 1.

Статистические показатели разностей ΔZ = DEM GLO-30 – FABDEM

Показатель	Значение
Среднее ΔZ	−0,69 м
Медиана ΔZ	−0,51 м
Стандартное отклонение (Std)	2,88 м
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	2,03 м
Среднеквадратическая ошибка (RMSE)	2,97 м
Минимум	−16,43 м
Максимум	+15,67 м
Доля площади с |ΔZ| > 1 м	54,61 %
Доля площади с |ΔZ| > 2 м	35,65 %
Доля площади с |ΔZ| > 5 м	10,18 %
Доля площади с |ΔZ| > 10 м	0,85 %



Рис.4. Спутниковый снимок территории исследования и прилегающей местности, иллюстрирующий фактическое распределение лесного покрова, открытых сельскохозяйственных земель и объекта торфодобычи. Источник: Google Earth (снимки Maxar Technologies, CNES/Airbus, 2026).

На снимке (рис. 4), охватывающем исследуемый участок и прилегающую местность несколько большей площади, отчётливо видно чередование сплошных лесных массивов (тёмно-зелёные участки), открытых сельскохозяйственных земель (более светлые оттенки зелёного и коричневого) и непосредственно объекта торфодобычи — вытянутых прямоугольных карт с характерным полосчатым рисунком фрезерного способа добычи, соединённых подъездной дамбой с дорогой общего пользования. Визуальное сопоставление снимка с картами разностей ΔZ (рис. 5, рис. 6) показывает, что описанная выше картина — сосредоточение положительных аномалий GLO-30 в границах древостоя и их отсутствие на открытых участках — качественно согласуется с реальным распределением растительного покрова на местности. Снимок охватывает несколько более широкую территорию, чем непосредственно проанализированный участок, и приводится как общий иллюстративный материал, а не как прецизионно совмещённый со шкалой ЦМР слой; тем не менее он подтверждает адекватность интерпретации артефактов GLO-30 как растительно-строительных, а также визуально документирует техногенную нагрузку территории, о которой идёт речь в разделе «Заключение».

Пространственное распределение расхождений (рис. 5, рис. 6) подтверждает их приуроченность к границам лесных массивов и отдельным объектам застройки. Положительные аномалии (DEM GLO-30 выше FABDEM, зелёные зоны на рис. 5) образуют вытянутые вдоль опушек и внутри лесных кварталов полосы величиной до 8–13 м, тогда как участки открытой поймы, сенокосов и русловых частей рек демонстрируют минимальные расхождения (в пределах ±1 м, светлый тон на обеих картах), что свидетельствует о сохранении в FABDEM истинной геометрии открытой поверхности при удалении именно растительной составляющей сигнала.

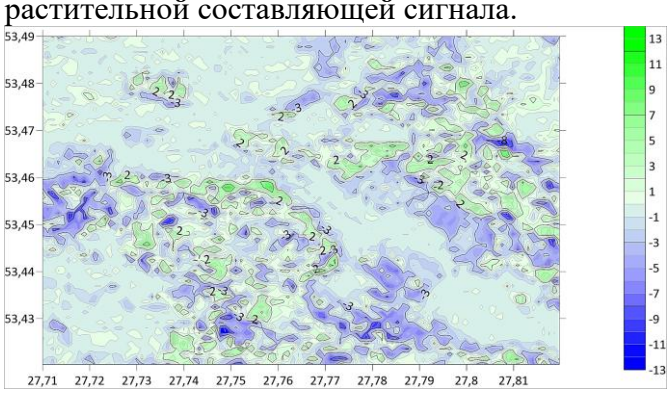


Рис.5. Карта разностей ΔZ = DEM GLO-30 – FABDEM.

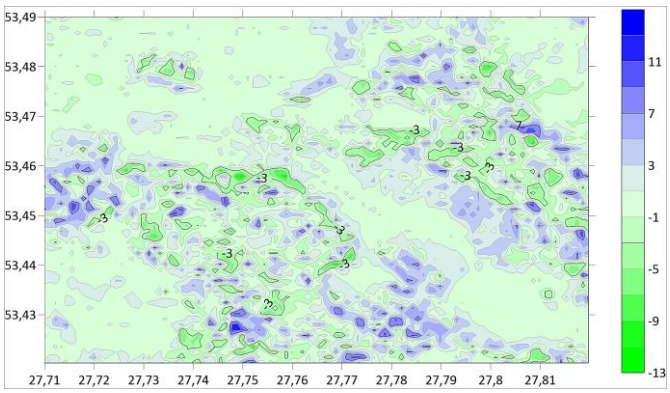


Рис.6. Карта разностей ΔZ = FABDEM – DEM GLO-30 (инвертированная шкала).

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Анализ высотных профилей, намеренно проведённых через контрастные по характеру подстилающей поверхности участки (рис. 7), подтверждает сделанные выводы на локальном уровне. Профиль 1, пересекающий облесённые повышения в восточной половине территории, демонстрирует на модели DEM GLO-30 серию острых пиков высотой 5–8 м, отсутствующих на сглаженном профиле FABDEM — именно такие ложные пики способны формировать на модели поверхностного стока фиктивные водоразделы и подпруживающие гряды. Профиль 2, преимущественно проходящий по открытой части поймы, показывает практически полное совпадение обеих моделей на всём протяжении, за исключением начального участка вблизи застроенной территории, где различие между моделями достигает 5–7 м, что соответствует высоте зданий и сооружений, удалённых алгоритмом FABDEM.

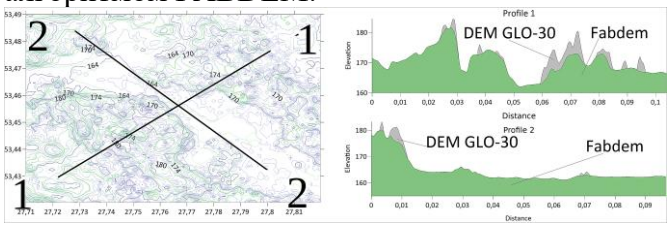


Рис.7. Сопоставление высотных профилей 1–1' и 2–2' по моделям DEM GLO-30 и FABDEM.

Делимитация водосборных бассейнов. Для прямой, а не только косвенной проверки гидрологических последствий выявленных различий по обеим моделям рельефа средствами специализированной ГИС Surfer выполнена делимитация водосборных бассейнов и русловой сети исследуемого участка — по методике, ранее апробированной для условий месторождений Беларуси [6] и согласующейся с принципами построения глобальных гидрографических продуктов типа MERIT Hydro [3] (рис. 8, рис. 9). На картах жирной чёрной линией показано положение р. Ковалёвка, синими линиями — водотоки; заливкой показаны контуры выделенных водосборных бассейнов, при этом более насыщенный тон соответствует бассейнам более высокого порядка вложенности (с большей суммарной площадью водосбора), менее насыщенный — водосборам первого порядка, примыкающим к истокам.



Рис.8. Схема водосборных бассейнов и русловой сети территории по данным Copernicus DEM GLO-30.

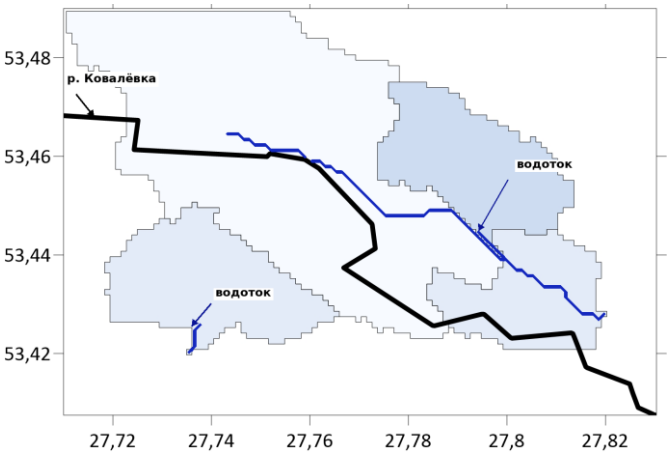


Рис.9. Схема водосборных бассейнов и русловой сети территории по данным FABDEM.

Сопоставление рис. 8 и рис. 9 показывает, что выбор исходной ЦМР существенно влияет на результат делимитации. По данным Copernicus DEM GLO-30 (рис. 8) центральная и восточная части территории (примерно 27,76–27,82° в.д.) объединены в единый водосборный бассейн практически однородной насыщенности, без выделения его внутренней структуры. По данным FABDEM (рис. 9) в пределах той же территории дополнительно выделяются обособленный бассейн более высокого порядка в северо-восточной части участка (около 27,78–27,82° в.д., 53,46–53,49° с.ш.) и локально вложенный водосбор в её центральной части (около 27,78–27,80° в.д., 53,42–53,45° с.ш.),

которые на карте по GLO-30 не дифференцируются и поглощаются общим контуром. Показательно, что это расхождение возникает именно там, где, по данным рис. 5 и рис. 6, сосредоточены наиболее крупные артефакты рельефа GLO-30, связанные с лесной растительностью: ложные локальные повышения на границах лесных кварталов формируют на исходной модели фиктивные водораздельные линии, которые либо необоснованно объединяют смежные бассейны в один контур, либо маскируют реально существующую иерархию водосборов.

Положение самого русла р. Ковалёвки и её притоков, напротив, практически не меняется от модели к модели. Это согласуется с общей геоморфологической логикой: русло реки приурочено к тальвегу поймы — устойчивой линейной отрицательной форме рельефа, которая на обеих ЦМР выражена значимо более крупным по амплитуде понижением, чем локальные артефакты растительного происхождения, и поэтому надёжно распознаётся независимо от модели. Водораздельные же линии, напротив, проходят по повышенным участкам междуречий, которые в равнинной и слабоволнистой пойме зачастую заняты именно лесной растительностью (см. описание объекта исследования) — то есть по тем самым элементам рельефа, где искажающее влияние растительно-строительного шума на Copernicus DEM GLO-30 максимально (рис. 5). Тем самым структура водосборов оказывается системно более чувствительной к качеству исходной ЦМР, чем положение самого водотока.

Таким образом, результаты делимитации водосборов служат прямым подтверждением выводов, сделанных выше по картам разностей ΔZ и высотным профилям, а не просто их иллюстрацией: использование FABDEM в качестве исходной модели рельефа обеспечивает более детальную и внутренне непротиворечивую структуру водосборных бассейнов, тогда как использование GLO-30 сопряжено с риском занижения числа и границ реально существующих бассейнов вследствие маскирующего влияния растительного покрова на водораздельных линиях. Это дополнительно и уже на уровне самого гидрологического моделирования, а не только сравнения высотных отметок, обосновывает предпочтительность FABDEM для задач, заявленных в названии настоящей работы.

Полученные результаты подтверждают исходную гипотезу исследования: отдельные возвышенности на исходной ЦМР Copernicus DEM GLO-30 в пределах пойменных территорий в значительной части случаев соответствуют не формам рельефа, а древесной растительности или застройке. При использовании подобной модели в качестве основы гидрологического моделирования (расчёт направлений стока, делимитация водосборов — методика построения которых средствами специализированных ГИС ранее отработана применительно к условиям месторождений Беларуси [6], — построение карт глубин и площадей затопления) ложные гряды способны существенно исказить результаты моделирования — вплоть до образования на модели несуществующих в действительности локальных водоразделов, изменения трассировки тальвегов и занижения расчётных площадей затопления в облесённых частях поймы. Модель FABDEM, устраняющая указанный источник ошибок, в этой связи представляет собой более предпочтительную основу для построения гидрологически корректной цифровой модели рельефа пойменных территорий, при этом целесообразно дополнять её материалами полевых геодезических измерений русловой части рек и контрольными точками для верификации точности на конкретном участке.

Отметим, что само по себе систематическое занижение поверхности FABDEM относительно Copernicus DEM GLO-30 за счёт удаления сигнала растительности и застройки является задокументированным свойством продукта FABDEM [1] и не составляет предмета научной новизны настоящей работы. Научно-практическая значимость исследования состоит не в переоткрытии этого свойства, а в его количественной и пространственной локализации применительно к конкретному инженерному объекту — пойменным территориям исследуемого участка с действующей осушительной сетью, — что позволяет перейти

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

от общего вывода о предпочтительности FABDEM к обоснованному инженерному решению о выборе исходной модели рельефа для последующих гидрологических и мелиоративных расчётов на данном конкретном участке.

Заключение. Проведённый сравнительный анализ цифровых моделей рельефа Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM на примере пойменных территорий Пуховичского района Минской области показал, что удаление из исходной радарной модели влияния древесной растительности и застройки приводит к систематическому занижению высот в среднем на 0,5–0,7 м, при этом локальные расхождения на облесённых участках поймы достигают 10–16 м, а доля территории с расхождением более 2 м превышает треть площади исследуемого участка. Установлено, что подобные артефакты рельефа GLO-30 сосредоточены практически исключительно в границах лесных массивов и застроенных территорий и способны формировать на модели поверхностного стока ложные подпруживающие гряды, искажающие направления и объёмы стекания воды. По результатам исследования сделан вывод о предпочтительности использования FABDEM в качестве исходной основы построения цифровых моделей рельефа для целей гидрологического моделирования пойменных территорий, в том числе для последующего моделирования зон затопления поймы реки Ковалёвка в границах Пуховичского района.

Полученные результаты имеют непосредственное значение для задач геоэкологической безопасности техногенно нагруженных территорий при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. Открытая разработка месторождений — в границах одного из которых, действующего торфяного месторождения «Гала-Ковалевское», эксплуатируемого с 1998 г. и оснащённого развитой осушительной сетью и насосными станциями откачки воды [8], сопровождается устройством дренажных, водоотводящих и водоотливных систем, а также формированием техногенного рельефа — отвалов, уступов и бортов выработок, устойчивость и геоэкологическая безопасность которых требуют учёта достоверных данных о рельефе прилегающей территории. В частности, оценка влияния поверхностных вод на карьерное поле средствами специализированных геоинформационных систем ранее апробирована для условий месторождений Беларуси [7], что подчёркивает практическую востребованность гидрологически корректных цифровых моделей рельефа именно для условий открытой разработки. Работа подобных дренажных и водоотливных систем сопровождается изменением естественного режима стока прилегающих малых рек и их пойм; корректная оценка направлений и объёмов поверхностного стока в таких условиях невозможна без гидрологически достоверной цифровой основы рельефа. Поскольку артефакты застройки и древесной растительности на исходных радарных ЦМР типа Copernicus DEM GLO-30 способны формировать на пойменных участках ложные подпруживающие гряды, использование подобной модели без предварительной коррекции создаёт риск неверной оценки зон подтопления и путей миграции загрязнений непосредственно в границах горного отвода и прилегающих техногенно нагруженных территорий. Обоснованный в настоящей статье переход на модель FABDEM повышает достоверность цифровых моделей рельефа, используемых при мониторинге геологической среды исследуемой территории, и потому согласуется с принятой в рамках проекта методикой пространственно-временного анализа трансформации геологической среды техногенно нагруженных территорий [9].

Исследования выполнены в рамках реализации проекта БРФФИ–МИРРУ № Х25УЗБ-054 «Особенности обеспечения геоэкологической безопасности техногенно нагруженных территорий в процессе разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом» на 2025–2027 гг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. Environmental Research Letters, 17(2), 024016. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f

[2] European Space Agency, & Airbus Defence and Space. (2022). Copernicus DEM global and European digital elevation model (GLO-30, GLO-90): Product handbook. Copernicus.eu.

[3] Yamazaki, D., Ikeshima, D., Sosa, J., Bates, P. D., Allen, G. H., & Pavelsky, T. M. (2019). MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography datasets. Water Resources Research, 55(6), 5053–5073. https://doi.org/10.1029/2019WR024873

[4] Антоненко, А. Г., & Семченко, А. С. (2021). Применение интерполяции в геоинформационных системах. In Е. В. Бильдюк (Ed.), Безопасность промышленного предприятия: инженерные и управленческие решения: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции (p. 217). БНТУ.

[5] Бильдюк, Е. В., & Астапенко, Т. С. (2021). Решение комплекса горных задач на базе анализа пространственно-распределенных данных геостатистическими методами. In Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: материалы X Международной научно-технической конференции (pp. 187–190). Екатеринбург.

[6] Бильдюк, Е. В., & Павловский, А. И. (2024). Использование геоинформационной системы Surfer для анализа водосборных бассейнов. In Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения: материалы международной научно-практической конференции (pp. 294–295). ВГУ им. П. М. Машерова. EDN OVFAMA.

[7] Вишневская, А. И. (2022). Использование геоинформационной системы Surfer при анализе влияния поверхностных вод на карьерное поле. In Е. В. Бильдюк (Ed.), Перспективы инновационно-технологического и экономического развития минерально-сырьевого комплекса: сборник материалов XX Международной научно-практической конференции (Vol. 2, p. 116). БНТУ.

[8] Кунцевич, В. Б., Курзо, Б. В., Гайдукевич, О. М., Макаренко, Т. И., Агейчик, И. В., Татков, А. Ю., & Калилец, Л. П. (2024). Методика расчета физико-технических и эксплуатационных характеристик карбонатного сапропеля при применении скважинной гидродобычи. Природопользование, (2), 123–130.

[9] Павловский, А. И., Кологривко, А. А., Нарыжнова, Е. Ю., & Бильдюк, Е. В. (2026). Методика пространственно-временного анализа трансформации геологической среды техногенно нагруженных территорий с применением программного обеспечения «КРЕДО Анализ пространственных данных». Цифровые технологии в промышленности, 4(1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.23

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

Бильдюк, Е. В., Павловский, А. И., Кологривко, А. А., & Нарыжнова, Е. Ю. (2026). Сравнительный анализ цифровых моделей рельефа Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM как основы гидрологического моделирования пойменных территорий. Цифровые технологии в промышленности, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.2

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 662.74:546.73

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.3

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

OKSID FAZALARNI SELEKTIV ERITISH VA GERMANIYNI BOYITISH MAQSADIDA QO‘NG‘IR KO‘MIR KULINING XLORID KISLOTADAGI ERUVCHANLIGINI TERMODINAMIK BAHOLASH



Xasanov Abdirashid Saliyevich

Texnika fanlari doktori (DSc), professor, “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: a.xasanov@srt-journal.uz
ORCID ID: 0009-0004-9162-7622
Science ID: DTV-1225-0005



Karshiboyev Sherzod Begmaxamat o‘g‘li

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Olmaliq davlat texnika instituti, “Metallurgiya” kafedrasi, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: karshiboev@odti.uz
ORCID ID: 0009-0004-8097-0804
Science ID: FTV-0125-0002



Kayirbayev Isa Baxtiyar o‘g‘li

Tayanch doktorant, Olmaliq davlat texnika instituti, “Konchilik ishi” kafedrasi, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: isakayirbayev@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-2488-5011



Yormatov Dostonbek Ashurmamat o‘g‘li

Assistent, Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, “Neft-gaz va konchilik ishi” kafedrasi, Termiz, O‘zbekiston
E-mail: dostonyormatov2@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-4423-4140
Science ID: MSD-0425-0004

Annotatsiya. *Mazkur tadqiqotda “Angren issiqlik elektr stansiyasi” AJ qo‘ng‘ir ko‘mir kulining xlorid kislotadagi eruvchanlik xususiyatlari termodinamik tahlil asosida o‘rganildi. Reaksiyalar uchun Gibbs erkin energiyasi va entalpiya qiymatlari hisoblanib, haroratning ortishi bilan oksidlarning eritmadagi barqarorligi va faolligi baholandi. Natijalar CaO, MgO, Fe_2O_3, MnO, PbO, ZnO va CuO kabi oksidlarning HCl muhitida eruvchanligini va eritmaga o‘tishini, Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, Nb_2O_5, MoO_3, WO_3 hamda GeO_2 kabi oksidlarning esa refrakter xususiyatga ega bo‘lib, asosan qattiq qoldiqda saqlanishini ko‘rsatdi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, kulning 23,18 % qismi eritmaga o‘tishi, 76,82 % qismi esa qattiq fazada qolishi mumkin. Qattiq fazada, xususan, GeO_2 ning to‘planishi germaniyni keyingi yuqori haroratli qayta ishlash bosqichida ajratib olish uchun qulay sharoit yaratadi. Olingan natijalar ko‘mir kulini xlorid kislotada bosqichma-bosqich selektiv eritish orqali germaniyni konsentrlash va qimmatli metallarni texnogen chiqindilardan ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *qo‘ng‘ir ko‘mir kuli, xlorid kislota, termodinamik tahlil, oksid fazalar, Gibbs erkin energiyasi, refrakter oksidlar, germaniy, selektiv eritish, metall ajratib olish, texnogen chiqindilar.*

Received: 19.09.2026 | Accepted: 01.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАСТВОРИМОСТИ ЗОЛЫ БУРОГО УГЛЯ В СОЛЯНОЙ КИСЛОТЕ С ЦЕЛЬЮ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОКСИДНЫХ ФАЗ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ГЕРМАНИЯ

Хасанов Абдирашид Салиевич
Доктор технических наук (DSc), профессор, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», Алмалык, Узбекистан

Каршибоев Шерзод Бегмахамат угли
Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент кафедры «Металлургия» Алмалыкского государственного технического института, Алмалык, Узбекистан

Кайырбаев Иса Бахтияр угли
Базовый докторант кафедры «Горное дело» Алмалыкского государственного технического института, Алмалык, Узбекистан

Ёрматов Достонбек Ашурмамат угли
Ассистент кафедры «Нефтегазовое и горное дело» Термезского государственного университета инженерии и агротехнологий, Термез, Узбекистан

Аннотация. *В настоящем исследовании на основе термодинамического анализа изучены особенности растворения золы бурого угля АО «Ангренская тепловая электростанция» в соляной кислоте. Рассчитаны значения свободной энергии Гиббса и энтальпии соответствующих реакций, а также оценены устойчивость и реакционная способность оксидных фаз в зависимости от температуры. Установлено, что такие оксиды, как CaO, MgO, Fe_2O_3, MnO, PbO, ZnO и CuO, растворяются в среде HCl и преимущественно переходят в жидкую фазу, тогда как Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, Nb_2O_5, MoO_3, WO_3 и GeO_2 обладают рефрактерными свойствами и преимущественно сохраняются в твёрдом остатке. Согласно расчётам, около 23,18 % компонентов золы переходит в раствор, тогда как 76,82 % остаётся в твёрдой фазе. Накопление рефрактерных оксидов, особенно GeO_2, в твёрдом остатке создаёт благоприятные условия для последующего извлечения германия высокотемпературной переработкой. Полученные результаты формируют научную основу для разработки технологии поэтапного селективного выщелачивания угольной золы соляной кислотой с целью концентрирования германия и извлечения ценных металлов из техногенных отходов.*

Ключевые слова: *зола бурого угля, соляная кислота, термодинамический анализ, оксидные фазы, свободная энергия Гиббса, рефрактерные оксиды, германий, селективное выщелачивание, извлечение металлов, техногенные отходы.*

THERMODYNAMIC ASSESSMENT OF BROWN COAL ASH SOLUBILITY IN HYDROCHLORIC ACID FOR SELECTIVE LEACHING OF OXIDE PHASES AND GERMANIUM CONCENTRATION

Khasanov Abdirashid Saliyevich
Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor, JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Complex", Almalyk, Uzbekistan

Karshiboyev Sherzod Begmakhamat ugli
PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Metallurgy, Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan

Kayirbayev Isa Bakhtiyar ugli
Basic Doctoral Student, Department of Mining Engineering, Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan

Yormatov Dostonbek Ashurmamat ugli
Assistant Lecturer, Department of Oil and Gas and Mining Engineering, Termez State University of Engineering and Agrotechnologies, Termez, Uzbekistan

Abstract. *This study investigates the hydrochloric acid dissolution behavior of lignite coal ash from Angren Thermal Power Plant JSC based on thermodynamic analysis. The Gibbs free energy and enthalpy changes of the relevant reactions were calculated, and the stability and reactivity of oxide phases in the leaching system were evaluated as a function of temperature. The results indicate that oxides such as CaO, MgO, Fe_2O_3, MnO, PbO, ZnO, and CuO are soluble in HCl and preferentially transfer into the liquid phase, whereas Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, Nb_2O_5, MoO_3, WO_3, and GeO_2 exhibit refractory behavior and predominantly remain in the solid residue. According to the calculations, approximately 23.18% of the coal ash components can dissolve into the solution, while 76.82% remain in the solid phase. The accumulation of refractory oxides in the solid residue, particularly GeO_2, creates favorable conditions for the subsequent recovery of germanium through high-temperature processing. The obtained results provide a scientific basis for developing a staged hydrochloric acid leaching process aimed at selectively dissolving soluble oxide phases, concentrating germanium, and recovering valuable metals from coal ash as a technogenic secondary resource.*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Keywords: *lignite coal ash, hydrochloric acid, thermodynamic analysis, oxide phases, Gibbs free energy, refractory oxides, germanium, selective leaching, metal recovery, technogenic waste.*

Kirish. Germaniy (Ge) — yuqori texnologiyalarda (yarim o‘tkazgichlar, optika, infraqizil sensorlar va quyosh panellarida) qo‘llaniladigan qiymati yuqori elementdir. Hozirgi kunda germaniy odatda rux, qo‘rg‘oshin va mis boyitmalari qayta ishlashda yon mahsuloti sifatida olinadi, ammo ushbu manbalar cheklangan bo‘lishi va iqtisodiy jihatdan samaradorligini oshirish zarurati yangi xomashyo alternativalarini qidirishga olib kelmoqda (masalan, ko‘mir kul va changlari) [1].

Ko‘mirni yonish jarayonida germaniy organik o‘zak matritsaga integratsiyalangan holda xromit shaklda joylashgan bo‘lishi mumkin. Yonish paytida germaniy selektiv ravishda uchuvchan holatga o‘tadi va kul hamda chang mahsulotlarida konsentratsiyalangan shaklda yig‘iladi (masalan, ko‘mir kulida Ge konsentratsiyasi asl ko‘mirga nisbatan o‘n baravarga oshishi imkoniyati mavjud). Shu sababli ko‘mir kul va changlari germaniy ajratib olish uchun istiqbolli yon mahsulot xomashyosi hisoblanadi [2].

Germaniyni samarali ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqishda eng maqbul xomashyo manbasini aniqlash — ya’ni rux boyitmalari va ko‘mir yoqishdan hosil bo‘ladigan kul-changlar orasidan optimal variantni tanlash — muhim ilmiy va amaliy vazifalardan biridir. Germaniyni ajratib olish jarayonining samaradorligi, avvalo, kuldagi germaniy miqdori, uning mineralogik holati va bog‘lanish shakli bilan bevosita bog‘liqdir.

Shu bois, ko‘mir kulidan germaniyni kompleks ajratib olish bosqichlarini — xususan, kislotali termik ishlov berish (≈450°C), distillyatsiya va germaniy tetraxlorid ($GeCl_4$) hosil bo‘lish jarayonlarining termodinamik asoslarini chuqur o‘rganish zarur. Bunda yuqori haroratda konsentrlangan xlorid kislotaning bug‘lanishi va faollashuvi natijasida reaktor idishlari materiali tezroq yemirilishi kuzatiladi, bu esa texnologik jarayonning barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Mazkur nojo‘ya ta’sirni kamaytirish uchun 450°C da sarflanadigan kislota miqdorini cheklash talab etiladi.

Biroq ko‘mir kulida germaniy birikmalari juda past konsentratsiyada bo‘lganligi sababli, xlorid kislotasi bilan o‘zaro ta’sirlashuvni ta’minlash uchun kislota sarfini oshirishga to‘g‘ri keladi. Shu sababli, jarayonni optimallashtirish maqsadida dastlab past haroratda suyultirilgan HCl eritmalari yordamida kul tarkibidagi kislotalarda oson eruvchan komponentlarni eritib chiqarish maqsadga muvofiqdir. Natijada germaniy oksidining nisbiy konsentratsiyasi ortadi va olingan mahsulot keyingi yuqori haroratli kislotali termik ishlov berish yoki ishqoriy muhitda ajratib olish jarayonlari uchun maqbul xomashyoga aylanadi.

Shunday qilib, germaniyni ko‘mir kulidan ajratib olishning ilmiy asoslangan, bosqichma-bosqich texnologik konsepsiyasini ishlab chiqish ushbu yo‘nalishdagi dolzarb ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi.

An’anaviy usullarda germaniy asosan rux rudalaridan olinadi, chunki rux boyitmalarida germaniy nisbatan yuqori konsentratsiyada bo‘lishi mumkin. Bu esa kimyoviy ajratishni iqtisodiy jihatdan qulay qiladi. Biroq, butun dunyo bo‘yicha rux rudalaridan olinadigan germaniy miqdori cheklangan bo‘lib (faqat yon mahsulot sifatida olinadi), shuning uchun tadqiqotchilar alternativ xomashyolarga — ko‘mir kuliga e’tibor qaratmoqda [3].

Ko‘mirni yoqishdan hosil bo‘lgan kul va changlari germaniy uchun istiqbolli ikkilamchi manba sifatida alohida ahamiyatga ega, chunki ular katta hajmda hosil bo‘ladigan va texnologik jihatdan topish oson bo‘lgan chiqindilar hisoblanadi. Bunday materiallarda germaniy nisbatan yuqori konsentratsiyada to‘planishi mumkinligi, chiqindilarni resurs sifatida qayta ishlash imkoniyatini beradi [4]. Shu bilan birga, ushbu manbalarni qayta ishlashda bir qator texnologik murakkabliklar mavjud: kul va changlardagi germaniy konsentratsiyasining pastligi ajratib olish tannarxini oshiradi, mineralogik tarkibining murakkabligi esa tanlab eritish (leaching), ekstraksiya va uchirib haydab olish (volatilizatsiya) jarayonlarini qiyinlashtiradi. Germaniy atomlarining silikat va aluminosilikat tuzilmalarida kimyoviy jihatdan barqaror bog‘langan holatda bo‘lishi jarayonni qo‘shimcha

termodinamik va kimyoviy tahlilni talab qiladi. Shunday qilib, ko‘mir kulidan germaniyni ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqishda murakkab mineralogik tarkibni hisobga olgan holda samarali gidrometallurgik va fizik-kimyoviy yondashuvlarni birlashtirish zarur [5].

Ko‘mir kul va changlaridan germaniyni ajratib olish murakkab, ammo istiqbolli texnologik jarayon bo‘lib, u samarali nazariy yondashuv va ilmiy asosga ega bo‘lishni talab qiladi. Germaniyni ajratib olishning konseptual sxemasi ketma-ket bosqichlardan iborat: xom ashyoni oldindan tayyorlash va fizik ajratish, germaniy fazalarini faollashtirish maqsadida qizdirish (roasting), kislota yoki ishqorli eritmalar yordamida eritish (leaching), so‘ngra selektiv ajratish va tozalash (chlorination–distillation, solvent extraction, ion exchange, cho‘ktirish) bosqichlari orqali germaniy birikmalarini olish, nihoyat ularni qaytarish va toza metall shakliga keltirish. Ushbu bosqichlarning har biri jarayonning umumiy samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi, ayniqsa germaniyni $GeCl_4$ shaklida ajratish va uni distillatsion tozalash usullarini termodinamik jihatdan chuqur o‘rganish texnologiyaning asosiy ilmiy muammolaridan biridir. Shu bois kul va changlardan germaniyni ajratish jarayonini takomillashtirishda fizik-kimyoviy jarayonlarning ketma-ketligi va ularning o‘zaro bog‘liqligini chuqur tahlil etish zarur [6].

Germaniyni $GeCl_4$ shaklida distillatsion ajratish texnologiyasi hozirgi davrda germaniy resurslarini qayta tiklash va ikkilamchi manbalardan samarali foydalanishning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sifatida e’tirof etilmoqda. Ushbu usulning mohiyati GeO_2 ning yuqori harorat va yuqori konsentratsiyali HCl muhitida osonlik bilan $GeCl_4$ ga aylanishi va uning past qaynash harorati (~86 °C) tufayli distillatsiya yo‘li bilan ajratilishi imkoniyatiga asoslanadi. Bunda distillatsiya natijasida yuqori qaynash haroratiga ega bo‘lgan boshqa metall birikmalar eritmada qoladi, bu esa germaniy oksidining tozaligini ta’minlaydi hamda jarayonning selektivligini oshiradi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi asosan termodinamik qonuniyatlarga tayangan holda, ko‘mir kuli komponentlari bilan xlorid kislotaning o‘zaro ta’sirini aniqlash va yuz beradigan kimyoviy reaksiyalarni inobatga olib qoladigan qattiq erimagan qoldiqda germaniyning konsentratsiyasini sezilarli darajada oshirish imkoniyatlarini baholashga qaratilgan. Olingan natijalar nafaqat germaniy ajratib olish samaradorligini oshirish, balki energiya va kislota sarfini kamaytirish, chiqindilarni qayta ishlash orqali ekologik yuklamani pasaytirish va iqtisodiy jihatdan maqbul texnologik yechimlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Tadqiqot materiallari va metodlari. Tadqiqot obyekti sifatida “Angren issiqlik elektr stansiyasi” AJ ning qo‘ng‘ir ko‘mirni yoqishdan qolgan kuli tanlandi.

1-jadval

“Angren issiqlik elektr stansiyasi” AJ ning qo‘ng‘ir ko‘mirni yoqishdan qolgan kulning kimyoviy va moddiy tarkibi

No	Elementar tarkib	Massa ulushi, %	Moddiy tarkib	Massa ulushi, %
1	Cl	0,0131	Cl_2O	0,0161
2	Ra	(0,0007)	RaO	0,0008
3	Mg	1,75	MgO	2,9020
4	Al	11,8	Al_2O_3	22,2961
5	Si	18,6	SiO_2	39,7928
6	S	0,480	SO_3	1,1985
7	K	1,03	K_2O	1,2408
8	Ca	8,35	CaO	11,6835
9	Ti	0,506	TiO_2	0,8443
10	V	0,0207	V_2O_5	0,0370
11	Cr	(0,0015)	Cr_2O_3	0,0022
12	Mn	0,164	MnO	0,2118
13	Fe	4,32	Fe_2O_3	6,1766
14	Co	(0,0112)	CoO	0,0142
15	Cu	0,0064	CuO	0,0080
16	Zn	0,305	ZnO	0,3796
17	Ga	0,0028	Ga_2O_3	0,0036
18	Ge	0,0057	GeO_2	0,0071
19	As	0,0214	As_2O_5	0,0230
20	Rb	0,0115	Rb_2O	0,0143
21	Sr	0,119	SrO	0,1407
22	Y	0,0052	Y_2O_3	0,0066
23	Zr	0,165	ZrO_2	0,2229
24	Nb	0,0020	Nb_2O_5	0,0029
25	Mo	0,0058	MoO_3	0,0087
26	Ag	0,0008	Ag	0,0009
27	Cd	0,0012	CdO	0,0014
28	Sn	0,0014	SnO	0,0018
29	Ba	0,162	BaO	0,1809
30	W	0,0265	WO_3	0,0334
31	Ir	0,0033	Ir	0,0039
32	Pt	0,0019	Pt	0,0022
33	Pb	0,0773	PbO	0,0833
34	Eu	0,0869	Eu_2O_3	0,1006

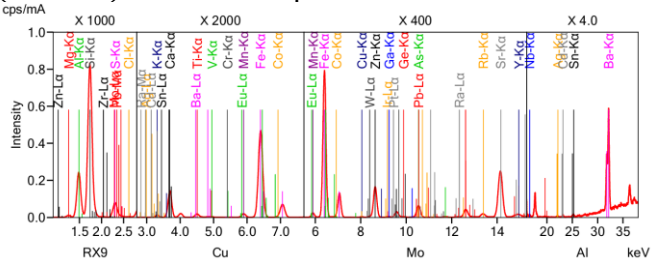
Qo‘ng‘ir ko‘mirni yoqishdan hosil bo‘lgan kulning kimyoviy (1-jadval) va moddiy tarkibini (2-jadval) aniqlash uchun kompleks analitik metodlardan foydalanildi. Namunalarning asosiy oksidli tarkibi (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SO_3 va boshqalar) rentgen-flyuorestsent spektroskopiyasi (XRF) yordamida aniqlangan.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Kulning fazoviy va mineral tarkibini o‘rganish uchun rentgen-fazali tahlil (XRD) metodi qo‘llanildi.

Namunalarning mikrostrukturasi va morfologik xususiyatlari skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) hamda energiya dispersiv tahlil (EDS) usullari yordamida o‘rganildi. Shuningdek, termogravimetrik tahlil (TGA/DTG) yordamida kulning termik barqarorligi va yo‘qotiladigan massasi baholandi.

Namunalardagi uglerod, vodorod, oltingugurt va kislorod miqdori elementar analizator yordamida aniqlanib (1-rasm), kulning umumiy moddiy tarkibi (oksidlar) hisoblab chiqildi.



1-rasm. “Angren issiqlik elektr stansiyasi” AJ qo‘ng‘ir ko‘mir kulining kimyoviy tarkibini aniqlash uchun olingan rentgen-flyuorestsent (XRF) spektri.

Xlorid kislotasi muhitida “Angren issiqlik elektr stansiyasi” AJ qo‘ng‘ir ko‘mir kulining komponentlarini qayta ishlashning termodinamik imkoniyatlari izobar-izotermik sharoitlarda Gibbs energiyasini minimallashtirish usuli yordamida o‘rganildi. Reaksiyalarning barqarorligi va mahsulotlarning hosil bo‘lish ehtimoli 25–120 °C harorat oralig‘ida HSC Chemistry dasturida hisoblab chiqildi.

Natijalar va muhokama. Termodinamik tahlilni amalga oshirishda dastlab 1-jadvalda taqdim etilgan “Angren IES” AJ qo‘ng‘ir ko‘mirni yoqishdan qolgan kulining oksidli komponentlari bilan xlorid kislotasi orasida boradigan kimyoviy reaksiyalar tuzib chiqildi va ular 2-jadvalda taqdim etilgan.

2-jadvalda keltirilgan termodinamik hisob-kitoblarga ko‘ra, standart sharoitda (T=298,15 K; p=1 bar) Al_2O_3, TiO_2, MoO_3, WO_3, As_2O_3, GeO_2, ZrO_2, Nb_2O_5, Y_2O_3 va Ga_2O_3 oksidlari xlorid kislota (HCl) ta’siriga nisbatan yuqori barqarorlik namoyon etadi. Bu oksidlarning erish yoki reaksiyaga kirishish jarayonlari uchun hisoblangan Gibbs erkin energiyasi musbat qiymatga ega bo‘lib, ularning standart sharoitda kimyoviy jihatdan inertligini va HCl bilan reaksiyaning o‘z-o‘zidan borib o‘tmasligini ko‘rsatadi.

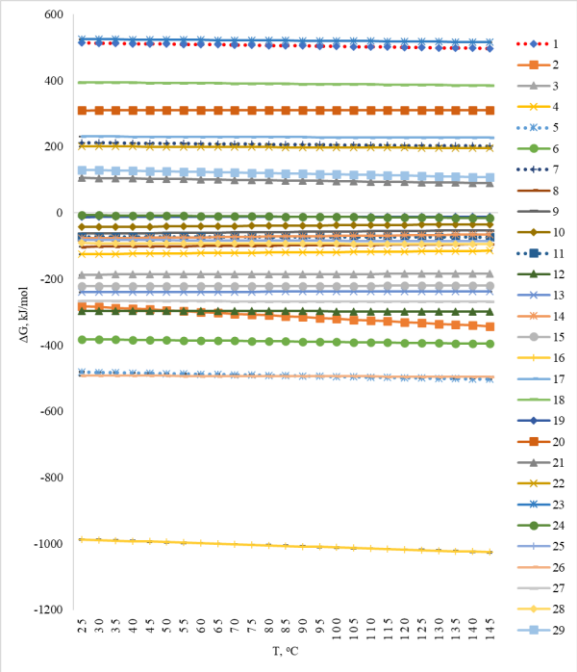
2-jadval

Har bir oksidning HCl bilan reaksiyasi, reaksiya mahsulotlari va reaksiyaning xususiyati

No	Reaksiya tenglamasi	Gibbs energiyasi tenglamasi
1	$Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$	ΔG_1= 555-0,14*T
2	$Fe_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2FeCl_3 + 3H_2O$	ΔG_2= -130,3-0,5094*T
3	$CaO + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O$	ΔG_3= -194+0,0234*T
4	$MgO + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2O$	ΔG_4= -150,55+0,085*T
5	$K_2O + 2HCl \rightarrow 2KCl + H_2O$	ΔG_5= -427,4-0,1809*T
6	$Na_2O + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O$	ΔG_6= -348,5-0,1129*T
7	$TiO_2 + 4HCl \rightarrow TiCl_4 + 2H_2O$	ΔG_7= 236,8-0,0852*T
8	$MnO + 2HCl \rightarrow MnCl_2 + H_2O$	ΔG_8= -121,7+0,0634*T
9	$ZnO + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2O$	ΔG_9= -88,8+0,0858*T
10	$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$	ΔG_{10}= -65,0+0,0722*T
11	$PbO + 2HCl \rightarrow PbCl_2 + H_2O$	ΔG_{11}= -68,12-0,01416*T
12	$BaO + 2HCl \rightarrow BaCl_2 + H_2O$	ΔG_{12}= -295,3-0,0067*T
13	$SrO + 2HCl \rightarrow SrCl_2 + H_2O$	ΔG_{13}= -244,7+0,017*T
14	$CoO + 2HCl \rightarrow CoCl_2 + H_2O$	ΔG_{14}= -106,0+0,0959*T
15	$Cr_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2CrCl_3 + 3H_2O$	ΔG_{15}= -225,0+0,0108*T
16	$V_2O_5 + 6HCl \rightarrow 2VOCl_3 + 3H_2O$	ΔG_{16}= -892,1-0,3204*T
17	$MoO_3 + 6HCl \rightarrow MoCl_6 + 3H_2O$	ΔG_{17}= 240,6-0,0332*T
18	$WO_3 + 6HCl \rightarrow WCl_6 + 3H_2O$	ΔG_{18}= 418,47-0,0798*T
19	$SnO + 2HCl \rightarrow SnCl_2 + H_2O$	ΔG_{19}= -14,02+0,00392*T
20	$As_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AsCl_3 + 3H_2O$	ΔG_{20}= 309,4+0,0029*T
21	$GeO_2 + 4HCl \rightarrow GeCl_4 + 2H_2O$	ΔG_{21}= 145,3-0,1336*T
22	$ZrO_2 + 4HCl \rightarrow ZrCl_4 + 2H_2O$	ΔG_{22}= 214,1-0,045*T
23	$Nb_2O_5 + 10HCl \rightarrow 2NbCl_5 + 5H_2O$	ΔG_{23}= 547,4-0,07565*T
24	$Y_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2YCl_3 + 3H_2O$	ΔG_{24}= 14,22-0,0718*T
25	$Eu_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2EuCl_3 + 3H_2O$	ΔG_{25}= -72,1-0,0337*T
26	$Rb_2O + 2HCl \rightarrow 2RbCl + H_2O$	ΔG_{26}= -483,2-0,0296*T
27	$RaO + 2HCl \rightarrow RaCl_2 + H_2O$	ΔG_{27}= -262,0-0,0157*T
28	$CdO + 2HCl \rightarrow CdCl_2 + H_2O$	ΔG_{28}= -84,6-0,0243*T
29	$Ga_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2GaCl_3 + 3H_2O$	ΔG_{29}= 185,4-0,1865*T

Boshqa barcha oksidlarning HCl bilan reaksiyalari esa manfiy $\Delta G°$ qiymatga ega bo‘lib, ular termodinamik jihatdan qulay (spontan) jarayonlar hisoblanadi. Shu boisdan, mazkur oksidlar standart sharoitda xlorid kislota bilan osonlikcha reaksiyaga kirishadi va mos ravishda metall xlorid hamda suv hosil bo‘lishi mumkin.

Endi, jarayonning termodinamik xususiyat-larini to‘liq baholash uchun haroratning ortishi kimyoviy reaksiyalar yo‘nalishi va ularning o‘tish darajasiga qanday ta’sir ko‘rsatishini ko‘rib chiqish maqsadga muvofiqdir. Harorat o‘zgarishi Gibbs erkin energiyasining qiymatini o‘zgartiradi, bu esa o‘z navbatida reaksiyaning o‘z-o‘zidan borish imkoniyatini hamda oksidlarning xlorid kislota muhitidagi barqarorlik darajasini belgilaydi. Shu bois, keyingi bosqichda haroratning ortishi bilan reaksiyalar termodinamik barqarorligining o‘zgarish tendensiyalari tahlil qilinadi.



1-rasm. "Angren IES" AJ qo'ng'ir ko'mirini yoqishdan hosil bo'lgan kuldagi oksidlarning xlorid kislota bilan ta'siri Gibbs energiyasining haroratga bog'liqligi.

1-rasmda "Angren IES" AJ qo'ng'ir ko'mirining yoqilishi natijasida hosil bo'lgan kul tarkibidagi oksidli komponentlar bilan xlorid kislotasi o'rtasida eritma muhitida kechadigan kimyoviy reaksiyalar uchun harorat ortishining Gibbs erkin energiyasiga ta'siri aks ettirilgan. Tadqiqotda harorat standart sharoit (25°C) dan boshlab 145°C gacha, har 5°C qadam bilan o'zgarish oralig'ida o'rganildi. Jarayon suvli muhitda amalga oshirilgani sababli, suvning bug'lanishi hisobga olinib, 145°C dan yuqori haroratdagi o'zgarishlar tahlil doirasiga kiritilmadi. 1-rasmdagi grafikda 1 dan 29 gacha raqamlangan Gibbs energiyasining o'zgarish egri chiziqlari 2-jadvalda taqdim etilgan kimyoviy reaksiyalarning tartib raqamiga muvofiq ifodalangan.

1-rasmda keltirilgan grafik tahlil natijalariga ko'ra, "Angren IES" AJ qo'ng'ir ko'mir kulidagi oksidlarning xlorid kislota bilan reaksiyaga kirishish jarayonlarida Gibbs erkin energiyasining haroratga bog'liqligi aniqlangan. Grafikdan ko'rinadiki, ko'pchilik metall oksidlari (Fe_2O_3, CaO, MgO, ZnO, CuO, PbO, MnO, Cr_2O_3 va boshqalar) uchun ΔG qiymatlari butun harorat oralig'ida manfiy bo'lib, bu ularning xlorid kislota bilan o'z-o'zidan boruvchi, termodinamik jihatdan qulay reaksiyalar ekanligini ko'rsatadi. Aksincha, Al_2O_3, TiO_2, MoO_3, WO_3, ZrO_2, Nb_2O_5, Ga_2O_3 va GeO_2 kabi chidamli oksidlar uchun ΔG qiymatlari musbat bo'lib qoladi, bu esa ularning yuqori barqarorligini va past haroratlarda eritmaga o'tmasligini bildiradi. Harorat ortishi bilan ayrim oksidlar (masalan, GeO_2, Ga_2O_3, Y_2O_3) uchun ΔG qiymatining pasayish tendensiyasi kuzatiladi, bu esa ma'lum darajada reaksiyaning termodinamik qulayligini oshiradi. Umuman olganda, olingan natijalar kul tarkibini HCl eritmasida selektiv eritish imkoniyatini ko'rsatadi: asosiy metall oksidlar eritmaga o'tadi, chidamli oksidlar esa qattiq fazada saqlanib, ularni keyingi qayta ishlash bosqichida ajratib olish uchun imkon yaratadi.

Hisob-kitob natijalariga ko'ra, "Angren IES" kulining HCl eritmasida nisbatan pastroq haroratlarda ishlov berilishi natijasida kulning taxminan to'rtdan biri (23,18%) eritmaga o'tishi mumkinligi aniqlandi, qolgan uch qismi (76,82%) esa qattiq qoldiq sifatida saqlanib qolishi termodinamik imkoniyatlarni o'rganib chiqish bilangina aniqlandi. Eritmaga o'tgan fraksiya asosan temir, rux, kalsiy, magniy, qo'rg'oshin, marganets, kobalt va boshqa asosiy oksidlar asosida shakllangan bo'ladi. Qattiq fazada esa kremniy, alyuminiy, titan, germaniy, zirkoniy, molibden, volfram va nodir metallar oksidlari jamlangan bo'lib, ular keyingi bosqichlarda qo'shimcha termik yoki ishqoriy ishlov uchun istiqbolli obyekt hisoblanadi.

Xlorid kislotada kulning eruvchan komponentlarini eritib olish natijasida erimaydigan fazada germaniy, galliy va indiyning nisbiy miqdori ortadi. Dastlabki kulning 23,18% massasi eritmaga o'tganligi sababli, qoldiq faza (76,82%)da ushbu elementlarning konsentratsiyasi 30–35% ga oshgan deb qayd etildi.

Hisob-kitoblarga ko'ra, germaniyning miqdori dastlabki 0,0057% dan 0,0074% gacha, galliyniki esa 0,0028% dan 0,0036% gacha ko'tarilgan. Bu natija kulning dastlabki massasining kamayishi hisobiga nisbiy konsentratsiyaning oshishi, ya'ni "sun'iy boyish" hodisasini tasdiqlaydi.

Shunday qilib, HCl bilan dastlabki bosqichda kislotada eruvchan komponentlarni tanlab eritish orqali kul qoldig'ida germaniy, galliy va indiy elementlarini boyitilgan ikkilamchi xomashyo

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

shaklida to‘plash imkoniyati hosil bo‘ladi. Bu esa keyingi bosqichda yuqori haroratli kislotali-termik yoki ishqoriy eritma bilan ishlov berishda ushbu noyob elementlarni ko‘proq konsentratsiyali shaklda ajratib olish imkonini beradi.

Xulosa. O‘tkazilgan termodinamik tahlillar natijalariga ko‘ra, “Angren issiqlik elektr stansiyasi” AJ qo‘ng‘ir ko‘mirini yoqishdan hosil bo‘lgan kul tarkibidagi oksidlarning xlorid kislotasi bilan o‘zaro ta’sirlashish xususiyatlari aniqlanib, ularning haroratga bog‘liq barqarorlik darajalari baholandi. Hisob-kitoblar natijasi shuni ko‘rsatdiki, CaO, MgO, Fe_2O_3, MnO, PbO, ZnO, CuO kabi oksidlar HCl muhitida termodinamik jihatdan qulay, o‘z-o‘zidan boruvchi reaksiyalar hosil qilib, eritmaga o‘tadi. Aksincha, Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, Nb_2O_5, MoO_3, WO_3 va GeO_2 kabi chidamli oksidlar yuqori barqarorlik namoyon etadi hamda past haroratlarda eritmaga o‘tmaydi.

Haroratning ortishi bilan ayrim chidamli oksidlar, jumladan GeO_2 uchun Gibbs erkin energiyasining pasayish tendensiyasi kuzatilib, 100–150 °C atrofida ularning reaksiya faolligi ortadi. Shunday qilib, germaniyni ajratib olish jarayonida dastlab past haroratda suyultirilgan HCl eritmasida asosiy oksidlarni eritib chiqarish, so‘ngra qattiq qoldiqda konsentratsiyalangan GeO_2 ni yuqori haroratli bosqichda (≈450°C) qayta ishlash maqsadga muvofiqdir.

Termodinamik hisob-kitoblarga asoslanib, HCl eritmasida ishlov berish natijasida kulning taxminan 23,18% qismi eritmaga o‘tishi, 76,82% qismi esa qattiq qoldiq sifatida saqlanishi aniqlangan. Qattiq fazada asosan kremniy, alyuminiy, titan, zirkoniy, volfram, molibden va germaniy oksidlari to‘planadi. Shu bois, bunday selektiv eritish jarayoni germaniy oksidining nisbiy kontsentratsiyasini oshirib, uni keyingi bosqichlarda samarali ajratib olish imkonini yaratadi.

Umuman olganda, o‘rganilgan natijalar ko‘mir kulini xlorid kislota yordamida bosqichma-bosqich qayta ishlash orqali germaniyni konsentrlash va ajratib olish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi hamda energiya va kislota sarfini kamaytirish, chiqindilarni resurs sifatida qayta ishlash va ekologik yuklamani pasaytirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Arroyo, F., & Fernández-Pereira, C. (2008). Hydrometallurgical recovery of germanium from coal gasification fly ash: Solvent extraction method. Industrial & Engineering Chemistry Research, 47(9), 3186–3191. https://doi.org/10.1021/ie7016948

[2] Rudnik, E. (2025). Challenges and opportunities in hydrometallurgical recovery of germanium from coal by-products. Molecules, 30(8), 1695. https://doi.org/10.3390/molecules30081695

[3] Xu, D., Chen, Y. W., Guo, H., Liu, H. Q., Xue, Y. D., Zhang, W. F., & Sun, Y. C. (2013). Review of germanium recovery technologies from coal. Applied Mechanics and Materials, 423–426, 565–573. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.423-426.565

[4] Stadnichenko, T. M. (1953). Concentration of germanium in the ash of American coals. U.S. Geological Survey.

[5] You, J. va boshqalar. (2025). “Co-extraction and enrichment of Ge, Sb and As from coal measure germanium-containing dust by reductive volatilization” nomi bilan Separation and Purification Technology, 376, 134156 sifatida topildi. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.134156

[6] Bo, W., Wu, J., Miao, Z., & Wan, K. (2024). Germanium extraction from lignite using gravity separation combined with low-temperature sintering and chlorinated distillation. Separation and Purification Technology, 329, 125215. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125215

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

Xasanov, A. S., Karshiboyev, S. B., Kayirbayev, I. B., & Yormatov, D. A. (2026). Oksid fazalarni selektiv eritish va germaniyni boyitish maqsadida qo‘ng‘ir ko‘mir kulining xlorid kislotadagi eruvchanligini termodinamik baholash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.3

UO‘K: 66.047-912

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.4

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

MAVHUM QAYNASH QATLAMLI QURITISH QURILMASINI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH





Muxitdinov Djalolitdin Paxritdinovich

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
ORCID ID: 0000-0002-4984-2300

To‘xtamishova Madina Sherali qizi

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: madinatuxtamishova91@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-2317-9540
Science ID: MNV-0926-0209

Annotatsiya. *Ushbu maqolada mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmasining matematik modeli ishlab chiqilgan va quritish jarayonining asosiy texnologik parametrlarining ta’siri tahlil qilingan. Modelda gaz va qattiq fazalar o‘rtasidagi gidrodinamik, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari, namlik hamda energiya balanslari hisobga olingan. Minimal mavhumlanish tezligini aniqlashda Archimedes va Reynolds sonlaridan foydalanilgan. Hisoblash natijalariga ko‘ra, minimal mavhumlanish tezligi 0,86 m/s, ishchi gaz tezligi 1,20 m/s deb belgilangan. Quritish temperaturasi va gaz tezligining ortishi quritish jarayonini jadallashtirishi aniqlangan. Matematik model yordamida materialning yakuniy namligi, quritish tezligi va davomiyligini baholash hamda optimal texnologik rejimni tanlash imkoniyati asoslangan.*

Kalit so‘zlar: *mavhum qaynash qatlami, quritish, matematik model, issiqlik almashinuvi, massa almashinuvi, optimallashtirish.*

Received: 25.09.2026 | Accepted: 01.09.2026 | Issue publication: 10.10.2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СУШИЛЬНОГО АППАРАТА С КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Мухитдинов Джалолитдин Пахритдинович

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

Тухтамишова Мадина Шерали кизи

Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Аннотация. *В статье разработана математическая модель сушильного аппарата с кипящим слоем и проведён анализ влияния основных технологических параметров на процесс сушки. В модели учитываются гидродинамические процессы, тепло- и массообмен между газовой и твёрдой фазами, а также материальный и энергетический балансы. Для определения минимальной скорости псевдоожижения использованы числа Архимеда и Рейнольдса. По результатам расчётов минимальная скорость псевдоожижения составила 0,86 м/с, а рабочая скорость газа принята равной 1,20 м/с. Установлено, что повышение температуры и скорости газа интенсифицирует процесс сушки. Математическая модель позволяет оценивать конечную влажность материала, скорость и продолжительность сушки, а также обосновывать оптимальный технологический режим процесса.*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Ключевые слова: *кипящий слой, сушка, математическая модель, теплообмен, массообмен, оптимизация.*

MODELING AND OPTIMIZATION OF A FLUIDIZED BED DRYING APPARATUS

Muxitdinov Djalolitdin Paxritdinovich
Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Tokhtamishova Madina Sherali kizi
Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan

Abstract. *This paper presents a mathematical model of a fluidized bed drying apparatus and analyzes the effects of the main technological parameters on the drying process. The model considers hydrodynamic conditions, heat and mass transfer between the gas and solid phases, as well as mass and energy balances. The Archimedes and Reynolds numbers were used to determine the minimum fluidization velocity. According to the calculation results, the minimum fluidization velocity was 0.86 m/s, while the operating gas velocity was set at 1.20 m/s. The results indicate that increasing the gas temperature and velocity intensifies the drying process. The developed mathematical model makes it possible to evaluate the final moisture content, drying rate, and drying time, and to justify an optimal technological operating regime.*
Keywords: *fluidized bed, drying, mathematical model, heat transfer, mass transfer, optimization.*

Kirish. Mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmalari kimyo, oziq-ovqat, farmatsevtika, mineral o‘g‘itlar va boshqa sanoat tarmoqlarida nam materiallarni samarali quritish uchun keng qo‘llaniladi. Qurilmada gaz oqimining pastdan yuqoriga yo‘nalishi natijasida qattiq zarrachalar muallaq holatga kelib, mavhum qaynash qatlami hosil qiladi. Buning natijasida gaz va qattiq fazalar orasidagi kontakt yuzasi ortib, issiqlik va massa almashinuvi jadallashadi. Quritish samaradorligi gaz temperaturasi va tezligi, zarracha diametri va zichligi, materialning boshlang‘ich namligi, qatlam balandligi hamda quritish davomiyligi kabi parametrlarning o‘zaro ta’siriga bog‘liq. Ayniqsa, zarrachalarning muallaq holatga o‘tishini ta’minlovchi minimal mavhumlanish tezligini aniqlash jarayonning barqaror kechishida muhim ahamiyatga ega [1].

Quritish jarayonlarini tajriba asosida tadqiq etish ko‘p vaqt va energiya talab qilishi sababli matematik modellashtirish samarali yondashuvlardan biri hisoblanadi. Matematik model yordamida qurilmaning turli ish rejimlarini baholash, material namligi va temperaturaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini aniqlash, quritish tezligini hisoblash hamda texnologik parametrlarning jarayon samaradorligiga ta’sirini tahlil qilish mumkin [5-7]. Bunda gidrodinamik shartlar, massa va energiya balanslari, shuningdek, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari o‘zaro bog‘liq holda ko‘rib chiqiladi. Jarayonni optimallashtirishda esa quritish harorati, gaz tezligi va quritish davomiyligini maqbul tanlash orqali talab etilgan yakuniy namlikka erishish, quritish vaqtini va energiya sarfini kamaytirish ko‘zda tutiladi.

Mavhum qaynash qatlamli quritish ammiakli selitra granulalarini quritishda ham muhim texnologik jarayonlardan biri bo‘lib, mahsulot tarkibidagi ortiqcha namlik granulalarning yopishishi, qotishi va saqlashdagi sifat ko‘rsatkichlarining pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli quritish jarayonida temperatura, gaz oqimi tezligi va qatlam parametrlarini maqbul qiymatlarda boshqarish muhimdir. Ushbu tadqiqotning maqsadi mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmasining matematik modelini ishlab chiqish, asosiy texnologik parametrlarning jarayonga ta’sirini aniqlash va materialning talab etilgan namlik darajasiga erishish hamda energiya sarfini kamaytirishga yo‘naltirilgan optimal ish rejimini asoslashdan iborat. Tadqiqotda minimal mavhumlanish tezligi, material namligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, quritish tezligi, gaz va zarracha temperaturalarining o‘zgarishi hamda issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari o‘zaro bog‘liq holda tahlil qilinadi.

Tadqiqot metadologiyasi. Mavhum qaynash qatlamli quritish jarayonini matematik

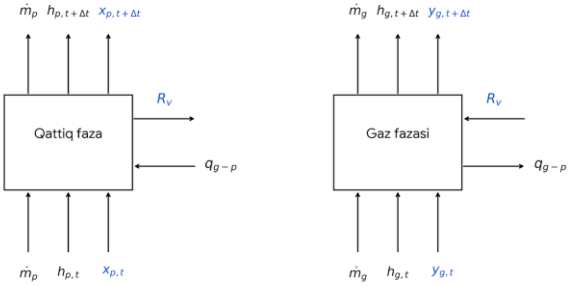
modellashtirishda gaz oqimi va qattiq zarrachalar o‘rtasidagi gidrodinamik, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari birgalikda qaraladi. Dastlab zarrachalarning mavhum qaynash holatiga o‘tishini ta’minlovchi minimal gaz tezligi aniqlanadi. Bunda Archimedes va Reynolds sonlaridan foydalaniladi:

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_p - \rho_g) g}{\mu_g^2} \quad (1)$$

$$Re_{mf} = \frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu_g} \quad (2)$$

bu yerda d_p – zarracha diametri, ρ_p va ρ_g – zarracha va gaz zichliklari, μ_g - gazning dinamik qovushqoqligi, U_{mfu} – minimal mavhumlanish tezligi [6-11].

Quritish jarayonining matematik modelida qattiq va gaz fazalari alohida nazorat hajmlari sifatida qaralib, ular orasidagi massa va issiqlik almashinuvi hisobga olinadi. 1-rasmda qattiq va gaz fazalariga kiruvchi hamda chiquvchi massa oqimlari, entalpiya, namlik va fazalararo issiqlik almashinuvi oqimlarining sxematik ko‘rinishi keltirilgan.



1-rasm. Mavhum qaynash qatlamli quritish jarayonining gaz va qattiq fazalar uchun matematik modeli sxemasi.

Quritish jarayonida zarracha namligining o‘zgarishi umumiy holda massa balansi orqali ifodalanadi:

$$p\frac{dX}{dt} = -R \quad (3)$$

bu yerda X – material namligi, p – qattiq fazaning massasi, R – quritish tezligi. Quritish tezligi esa gaz va zarracha yuzasidagi namliklar farqiga bog‘liq:

$$\frac{\rho_g dY}{dt} = \dot{m}_g(Y_{in} - Y) + R \quad (4)$$

ko‘rinishida yoziladi. Bu tenglama gaz oqimiga materialdan bug‘langan namlikning qo‘shilishini ifodalaydi.

Quritish jarayonining issiqlik balansi gaz va zarracha o‘rtasidagi issiqlik almashinuvini hamda namlikni bug‘latish uchun sarflanadigan issiqlikni hisobga oladi:

$$g \cdot \frac{d(h_g + Yh_v)}{dt} = \dot{m}_g\left[\left(h_{g,\,in} + Y_{in}h_v\right) - \left(h_g + Yh_v\right)\right] - \alpha ap\left(T_g - T_p\right) + Rh_v \quad (5)$$

bu yerda T_g va T_p – gaz va zarracha haroratlari, α – issiqlik almashinish koeffitsiyenti, h_v — suv bug‘ining entalpiyasi.

Gaz va zarracha orasidagi issiqlik almashinish koeffitsiyenti Nusselt soni orqali aniqlanadi:

$$Nu = \frac{\alpha d_p}{\lambda^g}, \qquad \alpha = \frac{Nu\lambda^g}{d_p}$$

Massa almashinish koeffitsiyenti esa Sherwood soni bilan bog‘lanadi:

$$Sh = \frac{kd_p}{D_{AB}}, \qquad k = \frac{ShD_{AB}}{d_p}$$

Shunday qilib, quritish qurilmasining matematik modeli asosan gidrodinamik shartlar, namlik balansi, energiya balansi, issiqlik va massa almashinish tenglamalaridan tashkil topadi. Model yordamida gaz harorati T_g, gaz tezligi u_g, zarracha diametri d_p, boshlang‘ich namlik X_0 va quritish vaqti tt ning yakuniy namlik va quritish tezligiga ta’siri aniqlanadi. Ushbu yondashuv quritish jarayonining optimal texnologik rejimini tanlash uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Manbada bunday modellashtirish 0D, 1D va CFD usullari orqali amalga oshirilishi ko‘rsatilgan.

Natijalar va muhokama. Mavhum qaynash qatlamli quritish jarayonining matematik modeli gaz va qattiq zarrachalar o‘rtasidagi gidrodinamik, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini hisobga olgan holda shakllantirildi. Model asosida mavhumlanishning minimal tezligi, material namligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, quritish tezligi hamda gaz va zarracha haroratlarining o‘zgarishi baholandi.

1-jadvalda quritish jarayonining matematik modelini hisoblashda foydalanilgan asosiy parametrlar va hisoblangan ko‘rsatkichlar keltirilgan. Hisoblash natijalariga ko‘ra, minimal mavhumlanish tezligi $u_m f$=0,86 m/s ni tashkil etadi, ishchi gaz tezligi esa 1,20 m/s qilib qabul qilingan. Demak, ishchi gaz tezligi minimal mavhumlanish tezligidan yuqori bo‘lib, zarrachalarning mavhum qaynash qatlamida muallaq holatda harakatlanishi uchun zarur sharoit ta’minlanadi [12].

Mavhum qaynash qatlamli quritish jarayonining matematik modeli asosida minimal

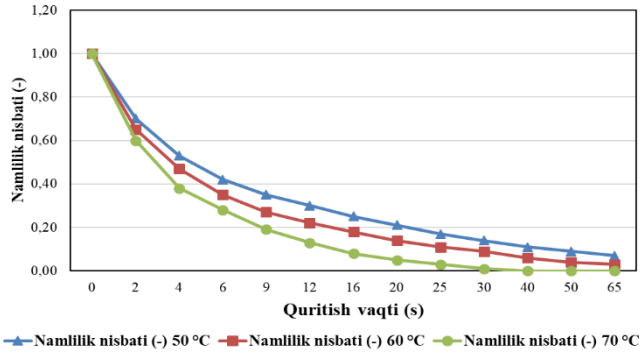
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

mavhumlanish tezligi, material namligi, quritish tezligi hamda gaz va zarracha haroratlari baholandi. Natijalar zarracha o‘lchami, gaz tezligi va qatlam xususiyatlari quritish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. Gaz tezligi minimal mavhumlanish tezligidan yuqori bo‘lganda zarrachalarning barqaror muallaq holati ta’minlanib, issiqlik va massa almashinuvi jadallashadi.

1-jadval

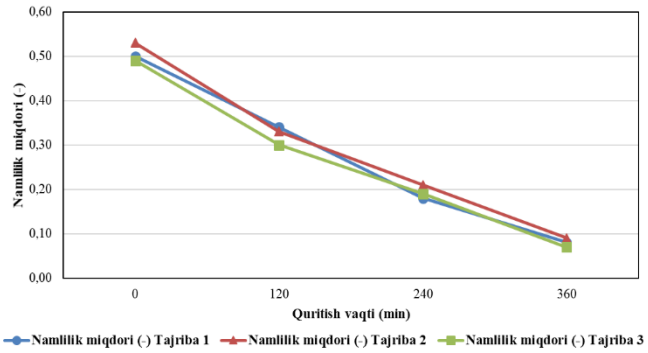
Quritish jarayonining asosiy hisoblangan parametrlari

№	Parametr nomi	Belgilan	O‘lchov birligi	Qiymati
1	Zarracha diametri	d_p	mm	2,0
2	Zarracha zichligi	ρ_p	kg/m^3	1700
3	Gaz zichligi (60 °C)	ρg	kg/m^3	1,06
4	Gazning dinamik qovushqoqligi (60 °C)	μg	Pa·s	$2{,}0\times10^{-5}$
5	Minimal mavhumlanish tezligi	u_mf	m/s	0,86
6	Gazning ishchi tezligi	ug	m/s	1,20
7	Boshlang‘ich namlik	X_0	kg/kg	0,50
8	Yakuniy namlik	Xf	kg/kg	0,08
9	Quritish vaqti	t	min	360
10	O‘rtacha quritish tezligi	$\bar{R}$	kg/(kg·min)	0,00117
11	Archimedes soni	Ar	–	$3{,}53\times10^5$
12	Minimal fluidizatsiya Reynolds soni	Re_mf	–	91,0



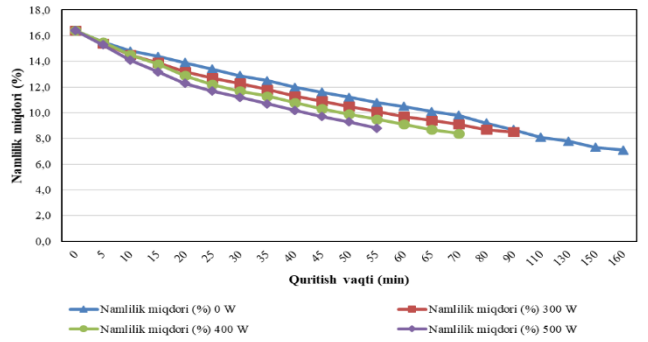
2-rasm. Quritish harorati va namlik nisbatining quritish vaqtiga bog‘liqligi.
(Manba: Sozzi va boshqalar).

2-rasmda quritish vaqtining ortishi bilan barcha haroratlarda namlik nisbati kamayishi ko‘rsatilgan. Harorat oshishi bilan quritish jarayoni jadallashib, 70 °C da namlik eng tez kamaygan, 50 °C da esa jarayon nisbatan sekin kechgan. Dastlab namlikning kamayish tezligi yuqori bo‘lib, keyinchalik pasaygan. Bu holat harorat oshishi natijasida issiqlik va massa almashinuvi hamda namlikning bug‘lanish tezligi ortishi bilan izohlanadi. Natijalar quritish harorati jarayonning muhim texnologik parametri ekanligini ko‘rsatadi.



3-rasm. Turli tajriba sharoitlarida namlik miqdorining quritish vaqtiga bog‘liqligi.
(Manba: Mohseni va boshqalar).

3-rasmda quritish vaqtining ortishi bilan barcha tajribalarda material namligi muntazam kamayishi kuzatilgan. Dastlabki 120 minutda namlikning kamayishi jadalroq kechgan, keyingi bosqichda esa jarayon sekinlashgan. 240 minutda namlik 0,18–0,21, 360 minutda esa 0,07–0,09 oralig‘ida bo‘lgan. Tajribalar orasidagi kichik farqlar quritish sharoitlari va materialning namlikni ajratish xususiyatlari bilan bog‘liq. Natijalar quritish vaqtining ortishi material namligining izchil kamayishiga olib kelishini ko‘rsatadi.



4-rasm. Turli mikroto‘lqin quvvatlarida material namligining quritish vaqtiga bog‘liqligi.
(Manba: Taheri va boshqalar).

Mikroto‘lqin quvvatining oshirilishi bilan quritish jarayonining jadallashishi 4-rasmda yaqqol kuzatiladi. 500 W quvvatda namlik eng tez kamayib, 55 minut atrofida eng past qiymatga erishgan, 400 W va 300 W quvvatlarda esa jarayon nisbatan sekinroq kechgan. Mikroto‘lqin quvvati qo‘llanilmagan holatda quritish eng uzoq davom etgan. Natijalar mikroto‘lqin quvvatining ortishi namlikning bug‘lanish jarayonini tezlashtirib,

quritish davomiyligini qisqartirishga yordam berishini ko‘rsatadi.

Quritish jarayonini optimallashtirishda qurituvchi gaz temperaturasi, oqim tezligi, boshlang‘ich namlik va quritish davomiyligining materialning yakuniy namligiga ta’siri hisobga olindi. Hisoblash natijalari temperatura va gaz tezligining ortishi issiqlik va massa almashinuvi jadallashib, quritish vaqtining qisqarishini ko‘rsatdi. Gaz tezligini minimal mavhumlanish tezligidan yuqori saqlash zarrachalarning barqaror muallaq holatini ta’minlaydi. Shu sababli optimal rejimni tanlashda quritish tezligi bilan bir qatorda energiya sarfi va materialning talab etilgan yakuniy namligi ham hisobga olinishi lozim.

Tahlil natijalariga ko‘ra, quritish jarayonining samarali rejimi materialni talab etilgan namlik darajasiga yetkazish, quritish davomiyligini kamaytirish va ortiqcha energiya sarfining oldini olish shartlari asosida belgilanadi. Matematik model orqali T_g, u_g, X_0 va t parametrlarining turli qiymatlari uchun yakuniy namlik va quritish tezligini baholash mumkin. Bunda gaz tezligi minimal mavhumlanish tezligidan yetarlicha yuqori, quritish temperaturasi esa material sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatmaydigan chegarada tanlanishi maqsadga muvofiq. Mazkur yondashuv mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmasining ishlash rejimini asoslangan holda tanlash va energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Xulosa. Mavhum qaynash qatlamli quritish jarayonining gidrodinamik, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini o‘zaro bog‘liq holda ifodalovchi matematik modeli ishlab chiqildi. Hisoblash natijalariga ko‘ra, minimal mavhumlanish tezligi 0,86 m/s, ishchi gaz tezligi esa 1,20 m/s ni tashkil etdi. Model yordamida material namligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, quritish tezligi hamda gaz va zarracha temperaturalarining dinamikasi baholandi. Gaz temperaturasi va tezligining ortishi issiqlik va massa almashinuvi jadallashishiga, natijada quritish davomiyligining qisqarishiga olib kelishi aniqlandi. Jarayonni optimallashtirishda gaz temperaturasi, oqim tezligi, boshlang‘ich namlik va quritish davomiyligining o‘zaro ta’siri hisobga olinib, materialning talab etilgan yakuniy namligiga erishish bilan birga energiya sarfini kamaytirish imkoniyati asoslandi. Mazkur matematik yondashuv mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmasining optimal texnologik rejimini tanlash, jarayon barqarorligini ta’minlash va qurilmaning energiya samaradorligini oshirish uchun amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Nguyen, V. D., Nguyen, T. V. L., Nguyen, N. A., Kharaghani, A., & Le, K. H. (2026). Fluidized bed drying modeling: Impact of initial solid mass on drying kinetics. Chemie Ingenieur Technik, 98, 292–303. https://doi.org/10.1002/cite.70064

[2] Liu, T., Yin, Y., & He, D. (2026). Numerical simulation of pharmaceutical particle drying in a gas-solid fluidized bed using the CPFD method. Drying Technology, 44(2), 217–231. https://doi.org/10.1080/07373937.2025.2608266

[3] Nadda, M., Banaeizadeh, A., Avilala, P., Roy, S., & Yadav, A. (2025). Coupled computational fluid dynamics-discrete element method (CFD-DEM) modeling of moisture removal in a fluidized bed dryer for heterogeneously coated solids. Chemical Engineering Science, 316, 121811. https://doi.org/10.1016/j.ces.2025.121811

[4] Chen, H., Yang, C., Miyazaki, T., Kim, Y.-D., Shahzad, M. W., & Thu, K. (2025). Mathematical modeling of fluidized bed drying system: Review and state of the art. Evergreen, 12(2), 1336–1368. https://doi.org/10.5109/7363513

[5] Yang, K., Li, X., Wang, Y., & Du, X. (2025). CFD-DEM simulation study on heat and mass transfer of wheat particles in gas-solid fluidized bed. Journal of Food Process Engineering, 48(1), e70036. https://doi.org/10.1111/jfpe.70036

[6] Zanone, A., Zamboni do Carmo, G., Ropke, M., Penteriche, M. R. D., Calciolari, R. M., & Andreola, K. (2025). Predicting moisture content in microcrystalline cellulose during fluidized bed drying using machine learning techniques. Journal of Food Process Engineering, 48(5), e70119. https://doi.org/10.1111/jfpe.70119

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[7] Billah, M. T., Zannat, N. E., Hossain, M. A., Sachcha, I. H., Yasmin, S., & Sarker, M. S. H. (2025). Process optimization of fluidized bed drying for water spinach: Evaluating the effect of blanching through RSM and ANN models. Food Science & Nutrition, 13(4), e70114. https://doi.org/10.1002/fsn3.70114
[8] Touil, A., Gritli, S., & Taieb, A. (2025). Mathematical modeling of batch fluidized bed drying of alumina. American Journal of Mechanics and Applications, 12(1), 11–21. https://doi.org/10.11648/j.ajma.20251201.12
[9] de Munck, M. J. A., Peters, E. A. J. F., & Kuipers, J. A. M. (2024). CFD-DEM modeling and validation of solids drying in a gas-fluidized bed. Chemical Engineering Science, 291, 119922. https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.119922
[10] Jin, H., Wu, Q., Wang, S., & He, Y. (2024). Heat and mass transfer performance of non-spherical wet particles in a fluidized bed dryer. Applied Thermal Engineering, 236, 121780. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121780
[11] Simanjuntak, M. E., Sitorus, M. B. H., Kamila, I., & Ginting, B. B. (2024). Kinetic analysis and mathematical modeling of low-rank coal drying by using swirl fluidized bed dryer on varied angles of guide vane and temperatures. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 46(1), 3263–3277. https://doi.org/10.1080/15567036.2024.2317435
[12] Ma, Z., Tu, Q., Liu, Z., Xu, Y., Ge, R., & Wang, H. (2023). CFD-DEM investigation of the gas-solid flow characteristics in a fluidized bed dryer. Chemical Engineering Research and Design, 196, 235–253. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.054
[13] Vandeputte, T., Ghijs, M., Van Hauwermeiren, D., Schultz, E. D. S., Schäfer, E., Stauffer, F., De Beer, T., & Nopens, I. (2023). Mechanistic modeling of semicontinuous fluidized bed drying of pharmaceutical granules by incorporating single particle and bulk drying kinetics. International Journal of Pharmaceutics, 646, 123447. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123447
[14] Hasibuan, R., Sari, W. N., Manurung, R., & Alexander, V. (2023). Drying kinetic models of rice applying fluidized bed dryer. Mathematical Modelling of Engineering Problems, 10(1), 334–339. https://doi.org/10.18280/mmep.100138
[15] Tu, Q., Ma, Z., & Wang, H. (2023). Investigation of wet particle drying process in a fluidized bed dryer by CFD simulation and experimental measurement. Chemical Engineering Journal, 452, 139200. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139200

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

Muxitdinov, D. P., & To‘xtamishova, M. S. (2026). Mavhum qaynash qatlamli quritish qurilmasini modellashtirish va optimallashtirish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.4

UO‘K: 549:622.7

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.31

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

INGICHKA BOYITISH FABRIKASI TEXNOGEN CHIQINDILARINING MIKROSKOPIK TUZILISHI VA MINERAL FAZALARINING MAYDONLAR BO‘YICHA TAVSIFI



Xasanov Adham Amankulovich

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Olmaliq davlat texnika instituti, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: adhamhasanov122@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-9946-7123
Science ID: FTV-1225-0014



Xasanov Abdirashid Saliyevich

Texnika fanlari doktori, professor, Olmaliq kon-metallurgiya kombinati AJ Innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish va tatbiq etish markazining 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



Tolibov Behzod Ibrohimovich

Texnika fanlari doktori, dotsent, O‘zbekiston Respublikasi Ta’lim va ilm-fan vazirligi huzuridagi Innovatsion rivojlanish agentligi bosh mutaxassisi, O‘zbekiston
E-mail: intelekt16@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-3955-2825
Science ID: DNV-0425-0002



Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: najmiddinboy-94@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-7820-7799
Science ID: MQD-0625-0004

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqotning maqsadi Ingichka boyitish fabrikasi texnogen chiqindilarining mikroskopik tuzilishi, mineral fazalarning kuzatuv maydonlari bo‘yicha taqsimlanishi va o‘zgarish teksturalarini tavsiflashdan iborat. Maydalangan namunadan tayyorlangan briket-anshlif ADF U300P polyarizatsion mikroskopi yordamida aks ettirilgan yorug‘likda o‘rganildi. Mineral donalarining chegaralari va o‘lchamlari ImageView dasturida baholanib, to‘qqizta asosiy maydon hamda oltita qo‘shimcha diagnostik mikrotasvir natijalari hisob jadvallari bilan solishtirildi. Rudali mineral donalarining maydondagi jami zarralar soniga nisbatan ulushi 8,60–23,46% oralig‘ida ekanligi aniqlandi. Sheelit, vismutin va magnetitning ayrim maydonlarda qayd etilishi namunaning mahalliy mineralogik notekisligini tavsifladi. Piritning gyotit bilan qisman almashinishi, magnetitning martitlanishi, vismutinning plastinkali ichki tuzilishi, granatning konsentrik zonalligi va pirit chetidagi ikkilamchi sulfidlar sifatida talqin qilingan hoshiya o‘rganildi. Natijalar mineral fazalarni keyingi mikroanalitik tekshiruvlar uchun tanlash va texnogen chiqindilarni qayta boyitish tadqiqotlarini rejalashtirishga asos yaratadi. Donalar soniga asoslangan ko‘rsatkichlar massa ulushi, metallarning kimyoviy miqdori yoki texnologik ajratib olish samaradorligini ifodalamaydi.*

Kalit so‘zlar: *Ingichka boyitish fabrikasi, texnogen chiqindilar, mikroskopik tuzilish, mineral fazalar, almashinish teksturasi, martitlanish, vismutin, sheelit, granat zonalligi, optik diagnostika.*

Received: 15.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОПОЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ИНГИЧКИНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Хасанов Адхам Аманкулович

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент, Алмалыкский государственный технический институт, Алмалык, Узбекистан

Хасанов Абдирашид Салиевич

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

Толибов Бехзод Иброхимович

Доктор технических наук, доцент, главный специалист Агентства инновационного развития при Министерстве образования и науки Республики Узбекистан, Узбекистан

Боймуродов Нажмиддин Абдукодирович

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *Цель исследования — охарактеризовать микроскопическое строение, распределение минеральных фаз по полям наблюдения и текстуры изменения техногенных отходов Ингичкинской обогатительной фабрики. Брикет-аншлиф измельчённой пробы изучен в отражённом свете на поляризационном микроскопе ADF U300P. Границы и размеры минеральных зёрен оценены с помощью программы ImageView; результаты изучения девяти основных полей и шести дополнительных диагностических микрофотографий сопоставлены с таблицами подсчёта. Установлено, что доля рудных зёрен относительно общего числа частиц в отдельных полях составляет 8,60–23,46%. Выявление шеелита, висмутина и магнетита в отдельных полях характеризует локальную минералогическую неоднородность пробы. Исследованы частичное замещение пирита гётитом, мартитизация магнетита, пластинчатое внутреннее строение висмутина, концентрическая зональность граната и кайма по краю пирита, интерпретированная как вторичные сульфиды. Результаты служат основой для выбора минеральных фаз для последующих микроаналитических исследований и планирования испытаний по повторному обогащению отходов. Показатели, рассчитанные по числу зёрен, не отражают массовые доли, химические содержания металлов или эффективность извлечения.*

Ключевые слова: *Ингичкинская обогатительная фабрика, техногенные отходы, поле наблюдения, минеральная ассоциация, текстура замещения, мартитизация, висмутин, шеелит, оконтуривание, оптическая диагностика.*

MICROSCOPIC TEXTURES AND FIELD BY FIELD CHARACTERIZATION OF MINERAL PHASES IN PROCESSING WASTE FROM THE INGICHKA BENEFICIATION PLANT

Xasanov Adham Amankulovich

Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan

Xasanov Abdirashid Saliyevich

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

Tolibov Behzod Ibrohimovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist at the Agency for Innovative Development under the Ministry of Education and Science of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan

Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich

Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This study aims to characterize the microscopic textures, distribution of mineral phases across observation fields, and alteration features of processing waste from the Ingichka beneficiation plant. A polished mount prepared from a crushed sample was examined in reflected light using an ADF U300P polarizing microscope. Mineral grain boundaries and sizes were assessed with ImageView, and observations from nine main fields and six supplementary diagnostic micrographs were compared with grain-count tables. Ore mineral grains accounted for 8.60–23.46% of the total particle count in individual fields. The occurrence of scheelite, bismuthinite and magnetite in selected fields characterized local mineralogical heterogeneity within the sample. Partial replacement of pyrite by goethite, magnetite martitization, the lamellar internal structure of bismuthinite, concentric garnet zoning, and a rim around*

pyrite interpreted as secondary sulfides were examined. The findings provide a basis for selecting mineral phases for further microanalytical investigation and planning waste rebeneficiation tests. Grain-count proportions do not represent mass fractions, chemical metal grades or recovery performance.
Keywords: *Ingichka beneficiation plant, processing waste, observation field, mineral association, replacement texture, martitization, bismuthinite, scheelite, grain delineation, optical diagnostics.*

Kirish. Texnogen chiqindilar tarkibini o‘rganishda mineral donasining nomi va o‘lchami uning qayta ishlashdagi barcha xususiyatlarini ifodalamaydi. Donaning sirtida hoshiya, ichida relikt, noruda kiritma yoki boshqa faza plastinkalari mavjud bo‘lishi mumkin. Ushbu belgilarni aniq mikroskopik maydon bilan bog‘lash foydali komponentning mineral holatini tavsiflash va tekshiriladigan kontaktlarni tanlashga yordam beradi. Amaliy mineralogiya mineral tavsif va texnologik muammo o‘rtasidagi shu aloqani o‘rganadi [1].

Aks ettirilgan yorug‘likdagi mikroskopiya fazalarni optik farqlash, o‘zgarish teksturalari va o‘zaro kontaktlarini baholash imkonini beradi [2]. Donalarni konturlash esa tasvirdagi kuzatuvni hisob jadvali bilan solishtirishga xizmat qiladi. Biroq bitta rang yoki kontur mineralning kimyoviy tarkibini isbotlamaydi. Shuning uchun faza identifikatsiyasi, sonli tavsif va paragenetik izoh alohida dalil darajalari sifatida ko‘riladi.

Ingichka boyitish fabrikasi chiqindilarining o‘rganilgan namunasida sulfidlar, temir saqlovchi oksidli fazalar, kam sonli sheelit va vismutin hamda noruda silikatlar qayd etilgan. Ushbu ishning maqsadi to‘qqizta maydondagi mineral assotsiatsiyalarni asl tasvirlar va jadvallar bilan hujjatlashtirish, diagnostik teksturalarni aniqlashtirish va kuzatuvlarning mahalliy notekisligini tavsiflashdir. Umumiy tarkibdan tashqari har bir maydonning daliliy tavsifi natijalarning asosiy qismini tashkil qiladi.

Materiallar va metodlar. Tadqiqot obyekti Ingichka boyitish fabrikasi texnogen chiqindilaridan olingan namuna hisoblanadi. Maydalangan materialdan briket-anshlif tayyorlanib, ADF U300P polyarizatsion mikroskopi yordamida aks ettirilgan yorug‘likda o‘rganildi. Asosiy tasvirlar 200 marta kattalashtirishda olingan; ularda 0,1 mm masshtab chizig‘i mavjud. Donalar chegaralari va o‘lchamlari ImageView dasturi yordamida baholangan.

Miqdoriy kuzatuv to‘qqizta asosiy maydonda bajarilgan. Tasvir chetida kesilgan donalar hisobdan chiqarilgan. Jami 837 ta zarra hisoblangan, shundan 144 tasi rudali guruhga tegishli. Granat va piroksen alohida tasniflangan; qolgan noruda minerallar umumiy kategoriya sifatida sanalgan. Qo‘shimcha olti mikrotasvir mineral diagnostikasini aniqlashtirish uchun qo‘llanib, yangi miqdoriy tanlanma sifatida hisoblanmagan.

Har bir maydonning umumiy tasviri, o‘lchov belgilari tushirilgan tasviri va konturlangan ko‘rinishi tegishli jadval bilan solishtirildi. Faqat 5-maydon uchun umumiy va konturlangan ikkita ko‘rinish mavjud. Rasmlar bir xil maydonning turli ishlovdagi ko‘rinishlari bo‘lgani uchun ulardagi donalar takroran sanalmadi. Matndagi “erkin dona” kuzatilgan kesimning tavsifidir; u hajmiy mineral ochilishining sonli o‘lchovi sifatida qabul qilinmadi.

Maydonning rudali donalar ulushi $R_j = \frac{100n_{r,j}}{N_j}$, mayda donalar ulushi $F_j = \frac{100n<71_j}{N_j}$ formulalari bilan hisoblandi. Bu yerda N_j — maydondagi jami zarra, n_{rj} — rudali kategoriya, n<7, $1_j \leq 71$ mkm guruh donalari soni. Umumiy ulushlar maydonlar foizlarining oddiy o‘rtachasi bilan emas, tegishli donalar yig‘indisini jami soniga bo‘lish orqali olindi. Jadvaldagi mahalliy qiymatlar manbadagi yaxlitlash darajasida saqlandi.

Grafiklar manbadagi jadvallar va gistogramma ustunlarining sonlari asosida qayta chizildi. Noruda gistogramma ustunlari yig‘indisi 687, piritniki 51 donaga tengligi tekshirildi. <71 va >71 mkm guruhlari 20 mkm qadamli gistogramma bilan bir xil guruhlash emas: 60–80 mkm oralig‘i 71 mkm chegarasini kesib o‘tadi. Logarifmik grafikda nol sonlar ustun sifatida ko‘rsatilmagan; ularning yo‘qligi jadvaldan aniqlanadi.

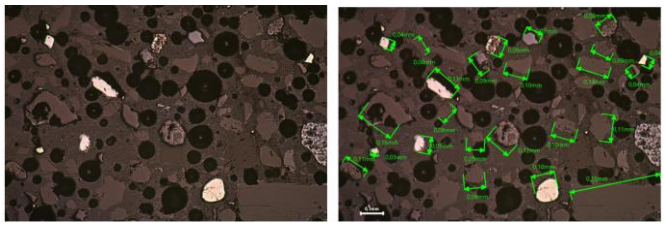
Mikroskopik rang, nisbiy aks ettirish, relyef, izotroplik yoki anizotroplik, hoshiya, relikt va ichki tuzilishlar faza diagnostikasida foydalanildi [2]. Qora yumaloq havo pufaklari mineral ichidagi notekis g‘ovaklardan farqlandi. Optik xulosalarni tasdiqlash uchun SEM–EDS va fazaga sezgir

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

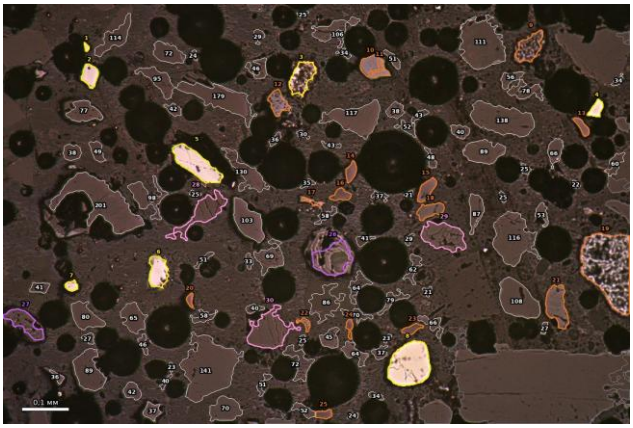
qo‘shimcha usullar tavsiya etildi [3].

O‘lchov aniqligi manbada 0,01 mm sifatida keltirilgan, biroq ayrim qiymatlar mikrometr birliklarigacha yozilgan. Shu bois asl diapazonlar saqlangan holda, ularning metrologik aniqligi bo‘yicha qo‘shimcha da’vo qilinmadi. Maydonlar mustaqil takroriy namuna bo‘lmagani uchun farqlar tavsifiy baholandi. Mazkur maqola avvalgi mineral tarkib tahlili bilan ayni namuna bazasiga asoslanadi; unda maydonlar va teksturalarning batafsil daliliy tavsifi kengaytirilgan.

Natijalar. 1-maydon Pirit va gyotitli silikat assotsiatsiyasi. 1-maydonda pirit, gyotit, granat va piroksen birgalikda qayd etildi. Konsentrik zonal granat asosiy noruda muhitida ajralib turadi; yoriqli va yuqori relyefli donalar piroksen sifatida tasniflangan. Tasvir chetida kesilgan granat hisobga olinmagan. Umumiy ko‘rinishni konturlangan tasvir bilan taqqoslash faza chegarasini ajratish va jadvalga kiritilgan donalarni aniqlashga yordam beradi.



1-rasm. a va b. 1-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



1-rasm. c. 1-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

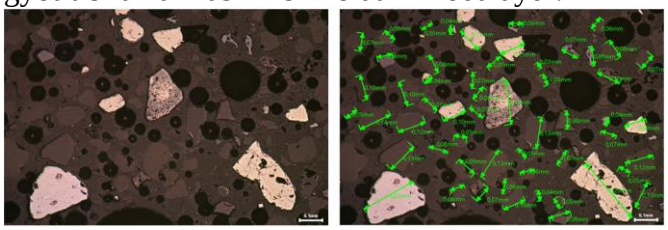
114 ta zarraning 24 tasi rudali kategoriyaga mansub bo‘lib, maydonning son ulushi 21,05 % ga teng. <71 mkm guruhda 81 ta dona qayd etilgan. Piritning mahalliy diapazoni 18–130 mkm, gyotitniki 31–95 mkm. Piroksenning barcha qayd etilgan donalari >71 mkm guruhda; bu faqat ushbu maydonning kuzatuvini tavsiflaydi.

1-jadval

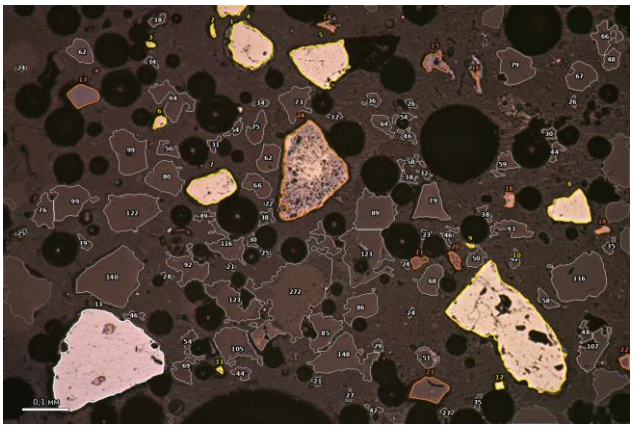
1-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	8	5	3	62,5	18–130
Gyotit	16	14	2	87,5	31–95
Granat	1	0	1	0	120
Piroksen	3	0	3	0	80–105
Noruda minerallar	86	62	24	72,1	21–201

2-maydon Relikt pirit va vismutin mavjud maydon. 2-mikroskopik maydonda yirik pirit va vismutin donalari, shuningdek, gyotit bilan qisman almashgan piritli dona qayd etildi. G‘ovakli hosila tarkibida pirit reliktining saqlanishi boshlang‘ich sulfidning to‘liq almashinmaganligini ko‘rsatuvchi teksturaviy belgi sifatida baholandi. Vismutin aks ettirilgan yorug‘likda nisbatan yorug‘faza sifatida kuzatilib, konturlangan mikrotasvirda alohida belgilandi. Hisob jadvalidagi “Pirit → gyotit” kategoriyasi mustaqil mineral turini emas, piritning gyotit bilan almashinish holatini ifodalaydi.



2-rasm. a va b. 2-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



2-rasm. c. 2-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

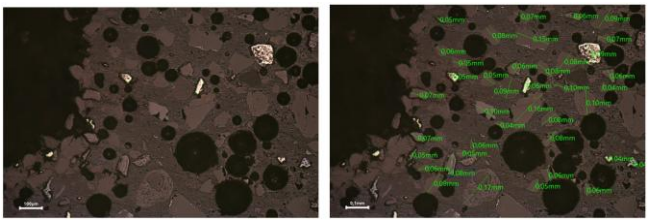
2-jadval

2-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

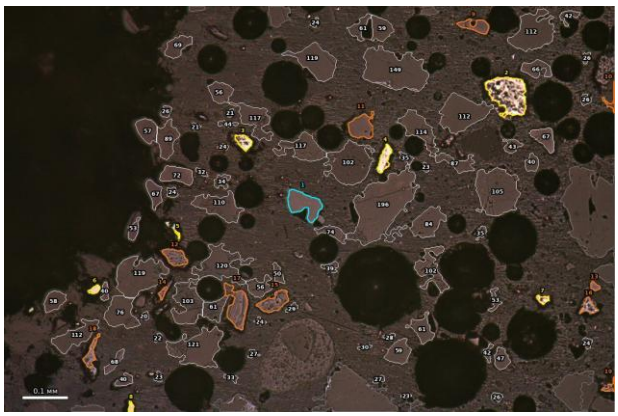
Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	11	6	5	54,5	12–290
Pirit → gyotit	1	0	1	0	190
Vismutin	1	0	1	0	230
Gyotit	9	8	1	88,9	27–78
Noruda minerallar	81	57	24	70,4	21–148

2-mikroskopik maydonda hisobga olingan 103 ta zarraning 22 tasi rudali minerallar guruhiga mansub bo‘lib, ularning son bo‘yicha ulushi 21,36 % ni tashkil etdi. Pirit relikti saqlangan g‘ovakli donaning o‘lchami 190 mkm, vismutin donasiniki esa 230 mkm deb qayd etildi. Pirit donalarining o‘lchamlari 12–290 mkm oralig‘ida bo‘lib, maydonda mayda va yirik donalar birgalikda uchrashi aniqlandi. Teksturaviy kuzatuvlar mineralning o‘zgarish holatini tavsiflaydi, biroq fazaning kimyoviy tarkibi yoki oksidlanish tezligini aniqlash uchun mustaqil dalil hisoblanmaydi.

3-maydon. Yirik sheelit donasining mikroskopik tavsifi. Maydonning markaziy qismida optik belgilariga ko‘ra sheelit sifatida aniqlangan 100 mkm o‘lchamli dona qayd etildi. G‘ovakli tuzilishga ega donalar pirit va gyotit sifatida tavsiflandi.



3-rasm. a va b. 3-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



3-rasm. c. 3-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

Tasvirning chap qismidagi qora soha briketdagi havo pufagi sifatida belgilangan bo‘lib, mineral faza yoki dona ichidagi g‘ovaklik bilan tenglashtirilmaydi. Konturlangan mikrotas-virda sheelit donasining o‘rganilgan kesim yuzasidagi chegaralari ajratib ko‘rsatilgan.

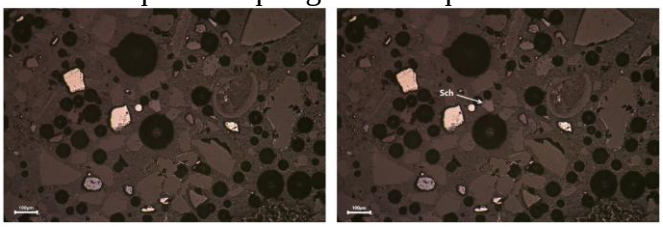
3-jadval

3-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Sheelit	1	0	1	0	100
Pirit	6	5	1	83,3	19–90
Gyotit	9	6	3	66,7	24–104
Noruda minerallar	75	52	23	69,3	20–160

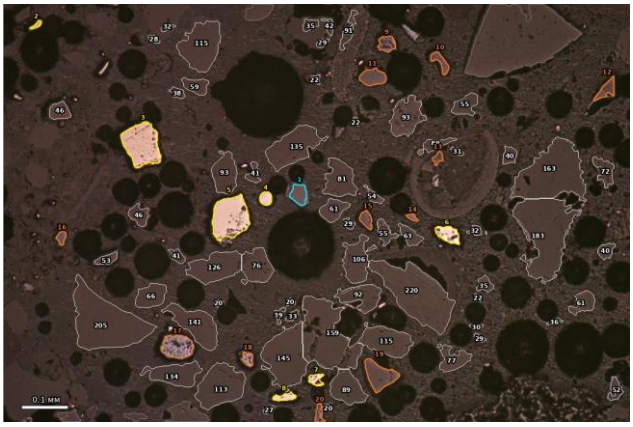
3-mikroskopik maydonda jami 91 ta zarra hisobga olindi, shundan 16 tasi rudali minerallar guruhiga mansub bo‘lib, ularning son bo‘yicha ulushi 17,58 % ni tashkil etdi. Sheelit donasi >71 mkm, pirit donalarining aksariyati esa <71 mkm o‘lcham guruhida qayd etildi. Yagona sheelit donasining aniqlanishi ushbu fazaning o‘rganilgan maydonda mavjudligini tasdiqlaydi. Biroq bu kuzatuv sheelitning butun namunadagi miqdori yoki mineral ochilish darajasini baholash uchun yetarli emas.

4-maydon. Mayda sheelit va gyotitli mineral assotsiatsiya. Maydonda optik belgilariga ko‘ra sheelit sifatida aniqlangan mayda dona strelka bilan ajratib ko‘rsatildi. Pirit izometrik shaklli, gyotit esa g‘ovakli tuzilishga ega donalar bilan ifodalandi. Dastlabki, belgilangan va konturlangan mikrotasvirlarni o‘zaro solishtirish sheelit donasining joylashuvi va chegaralarini izchil kuzatish imkonini berdi. Donaning kichik o‘lchamini hisobga olgan holda, optik identifikatsiya natijasini mustaqil fazaviy tahlil bilan tasdiqlash maqsadga muvofiq.



4-rasm. a va b. 4-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026



4-rasm. c. 4-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

4-jadval

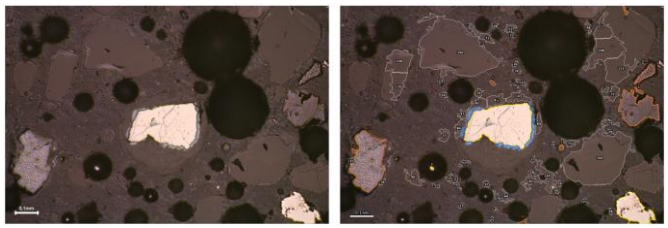
4-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Sheelit	1	1	0	100	42
Pirit	7	5	2	71,4	26–93
Gyotit	11	10	1	90,9	26–73
Noruda minerallar	62	38	24	61,3	20–220

4-mikroskopik maydonda hisoblangan 81 ta zarraning 19 tasi rudali minerallarga mansubligi aniqlandi. Ularning son bo‘yicha ulushi 23,46% ni tashkil etib, o‘rganilgan to‘qqizta maydon orasida eng yuqori ko‘rsatkich qayd etildi. Sheelit donasining o‘lchami 42 mkm, pirit donalarining o‘lchamlari 26–93 mkm, gyotitniki esa 26–73 mkm oralig‘ida aniqlandi. Gyotitning 11 ta donasidan 10 tasi <71 mkm guruhga mansub bo‘lib, mayda donalar ulushi 90,91% ni tashkil etdi. Rudali minerallarning mazkur ulushi donalar soniga asoslanganligi sababli, ularning massa miqdorini ifodalamaydi.

5-maydon. Piritning chekka hoshiyasi va gyotitning g‘ovakli tuzilishi. Yirik pirit donasining chekka qismlarida qalinligi taxminan 8–14 mkm bo‘lgan hoshiya aniqlandi. Hoshiya optik diagnostik belgilariga ko‘ra xalkozin–digenit assotsiatsiyasi sifatida talqin qilindi. Pirit atrofidagi dumaloq kulrang halqaning briketdagi havo pufagiga tegishli ekanligi aniqlanib, u mineral hoshiyadan ajratildi. Maydonning chap qismida yirik, g‘ovakli tuzilishga ega gyotit donasi qayd etildi.

5-mikroskopik maydonda jami 65 ta zarra hisobga olinib, ulardan 9 tasi rudali minerallarga mansubligi aniqlandi. Rudali donalarning son bo‘yicha ulushi 13,85 % ni tashkil etdi. Pirit donalarining o‘lchamlari 16–307 mkm, gyotitniki 22–244 mkm, boshqa noruda minerallarniki esa 20–346 mkm oralig‘ida aniqlandi. <71 mkm o‘lchamli zarralar ulushi 61,54% ni tashkil etib, o‘rganilgan maydonlar orasida eng past ko‘rsatkich qayd etildi. Pirit chetidagi hoshiyaning sulfid tarkibini aniqlashtirish uchun optik diagnostikani SEM–EDS yoki boshqa mikroanalitik tekshiruv bilan to‘ldirish zarur.



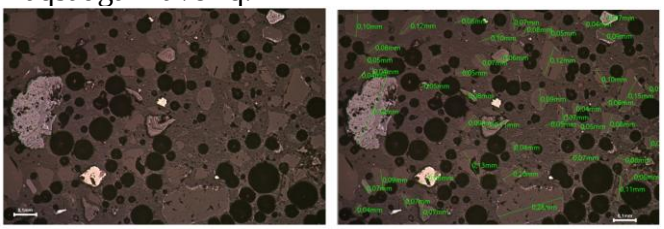
5-rasm. 5-maydon: chapda umumiy, o‘ngda konturlangan ko‘rinish.

5-jadval

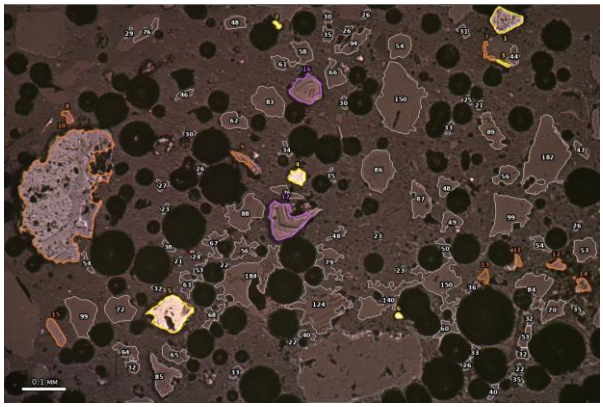
5-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	2	1	1	50	16–307
Gyotit	7	4	3	57,1	22–244
Noruda minerallar	56	35	21	62,5	20–346

6-maydon. Granatning konsentrik zonalligi va gyotitning g‘ovakli tuzilishi. Maydonda konsentrik zonal tuzilishga ega ikkita granat donasi hamda yirik g‘ovakli gyotit donasi aniqlandi. Granatning ichki zonalligi qo‘shimcha diagnostik mikrotasvirda ham qayd etildi. Aniqlangan optik zonallik dona ichidagi tuzilish farqlarini ifodalaydi, biroq zonalarning kimyoviy tarkibi alohida o‘lchanmagan. Tarkibiy o‘zgarishlarni aniqlash uchun granat markazidan chetiga yo‘nalgan element profilini o‘rganish maqsadga muvofiq.



6-rasm. a va b. 6-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



6-rasm. c. 6-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

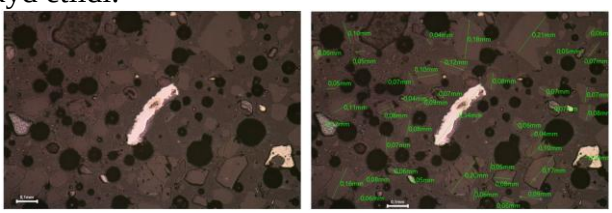
6-jadval

6-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	6	5	1	83,3	16–80
Gyotit	9	8	1	88,9	28–300
Granat	2	1	1	50	60–110
Noruda minerallar	85	64	21	75,3	21–280

6-mikroskopik maydonda hisobga olingan 102 ta zarraning 15 tasi rudali minerallarga mansubligi aniqlandi. Ularning son bo‘yicha ulushi 14,71% ni tashkil etdi. <71 mkm o‘lcham guruhida 78 ta zarra aniqlanib, mayda donalar ulushi 76,47% ga teng bo‘ldi. O‘rganilgan to‘qqizta maydon orasida mayda zarralarning eng yuqori ulushi ushbu maydonda qayd etildi. Granat donalarining o‘lchamlari 60 va 110 mkm, gyotit donalarining o‘lchamlari esa 28–300 mkm oralig‘ida aniqlandi.

7-maydon. Vismutinning prizmatik tuzilishi va piritdagi noruda kiritma. Maydonning markaziy qismida cho‘zinchoq prizmatik vismutin donasi, o‘ng pastki qismida esa noruda mineral kiritmasi saqlagan pirit donasi aniqlandi. Pirit tarkibidagi kiritma donaning ko‘p fazali tuzilishini ko‘rsatdi. Vismutinning qo‘shimcha yaqin mikrotasvirida plastinkali ichki tuzilish va chekka qismlardagi o‘zgarish belgilari qayd etildi.



7-rasm. a va b. 7-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



7-rasm. c. 7-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

7-jadval

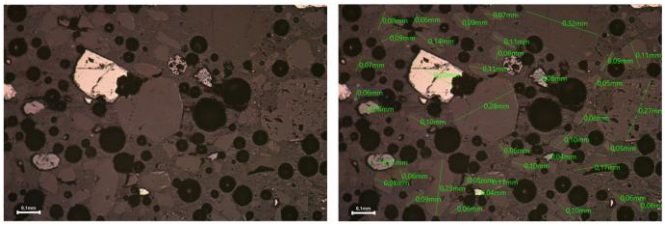
7-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	3	2	1	66,7	25–100
Vismutin	1	0	1	0	340
Gyotit	6	5	1	83,3	21–120
Noruda minerallar	71	48	23	67,6	20–210

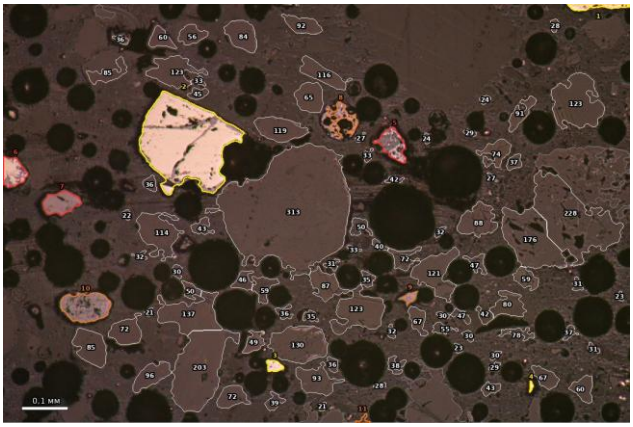
7-mikroskopik maydonda hisoblangan 81 ta zarraning 10 tasi rudali minerallarga mansubligi aniqlandi. Ularning son bo‘yicha ulushi 12,35% ni tashkil etdi. Vismutin donasining o‘lchami 340 mkm, pirit donalarining o‘lchamlari esa 25–100 mkm oralig‘ida aniqlandi. Vismutinning qo‘shimcha mikrotasviri ayni donaning ichki tuzilishini o‘rganish uchun foydalanilib, miqdoriy hisobga takroran kiritilmadi. Piritdagi noruda kiritmaning fazaviy tarkibi va hajm ulushi aniqlanmaganligi sababli, mineralning ochilish darajasi miqdoriy baholanmadi.

8-maydon. Pirit va magnetitning mikroskopik assotsiatsiyasi. Maydonda yirik pirit donasi va uning ikki tomonida joylashgan magnetit donalari aniqlandi. Ushbu minerallarning bir kuzatuv maydonida birgalikda uchrashi qayd etildi, biroq ularning o‘zaro o‘sishmasi tasdiqlanmadi. O‘sishma xususiyatini aniqlash uchun donalar orasidagi bevosita fazalararo kontaktni o‘rganish zarur. Magnetitning optik diagnostikasida rangi va aks ettirish xususiyatlari bilan birga kesishgan nikollar sharoitidagi izotroplik belgisi hisobga olindi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026



8-rasm. a va b. 8-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



8-rasm. c. 8-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

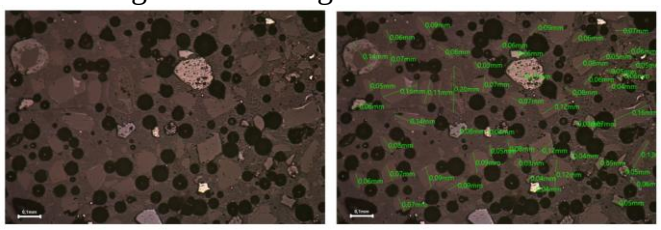
8-jadval

8-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

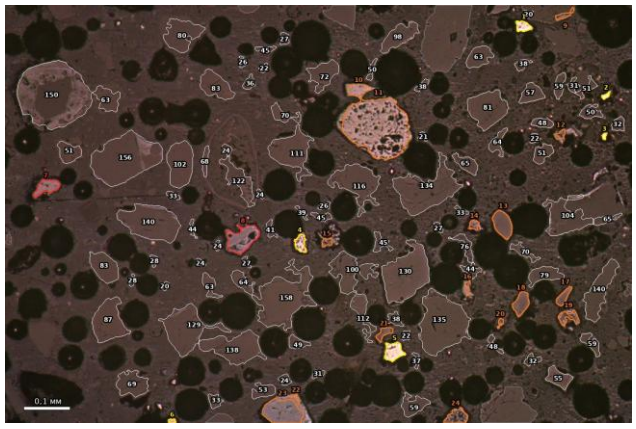
Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	3	2	1	66,7	22–200
Magnetit	2	0	2	0	80
Gyotit	3	2	1	66,7	32–110
Noruda minerallar	85	57	28	67,1	21–313

8-mikroskopik maydonda hisobga olingan 93 ta zarraning 8 tasi rudali minerallarga mansubligi aniqlandi. Ularning son bo‘yicha ulushi 8,60% ni tashkil etib, o‘rganilgan to‘qqizta maydon orasida eng past ko‘rsatkich qayd etildi. Magnetitning ikkala donasi >71 mkm o‘lcham guruhiga mansub bo‘lib, pirit donalarining o‘lchamlari 22–200 mkm oralig‘ida aniqlandi. Rudali donalarning past son ulushi o‘rganilgan maydonning mahalliy mineralogik xususiyatini ifodalaydi; ushbu ko‘rsatkich texnogen chiqindilardagi metallarning kimyoviy miqdorini baholash uchun yetarli emas.

9-maydon. Magnetit va gyotitning mikroskopik tavsifi. Maydonda ikkita magnetit donasi hamda g‘ovakli tuzilishga ega gyotit aniqlandi. Pirit donalarining barchasi <71 mkm o‘lcham guruhiga mansubligi qayd etildi. Magnetitning martitlanish darajasi ushbu maydon uchun miqdoriy aniqlanmadi. Qo‘shimcha mikrotasvirda kuzatilgan gematit plastinkalarini mazkur donalarga tegishli deb baholash uchun tasvirlar o‘rtasidagi dona mosligini tasdiqlash zarur. Shu sababli alohida donadagi almashinish belgisi barcha magnetit donalariga umumlashtirilmadi.



9-rasm. a va b. 9-maydonning umumiy va o‘lchov yoki belgi tushirilgan ko‘rinishlari.



9-rasm. c. 9-maydondagi mineral donalarining konturlangan ko‘rinishi.

9-jadval

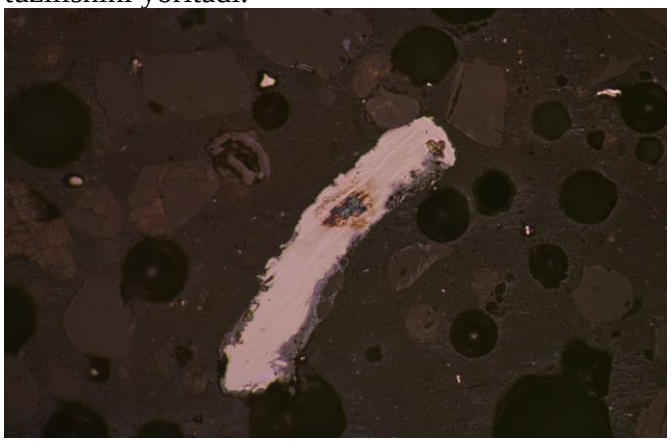
9-maydondagi mineral donalarining o‘lcham guruhlari

Mineral	Jami dona	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Pirit	5	5	0	100	12–44
Magnetit	2	1	1	50	60–80
Gyotit	14	13	1	92,9	21–150
Noruda minerallar	86	60	26	69,8	20–200

107 ta zarraning 21 tasi rudali guruh, son ulushi 19,63%. Pirit diapazoni 12–44 mkm, magnetitniki 60–80 mkm, gyotitniki 21–150 mkm. <71 mkm guruhda 79 ta zarra, ya’ni 73,83% qayd etilgan. Ushbu maydon 8-maydon bilan taqqoslanganda gyotit donalari ko‘proq, biroq maydonlar mustaqil takroriy namuna bo‘lmagani uchun tafovut tavsifiy baholanadi.

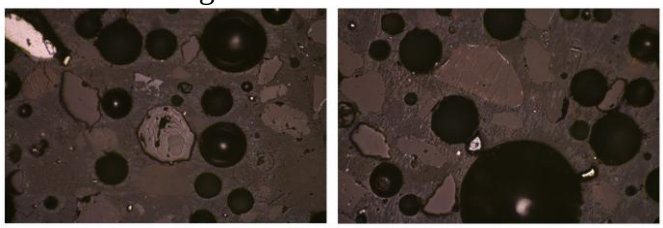
Qo‘shimcha mikrotasvirlarda diagnostik belgilar. Qo‘shimcha yaqin tasvirlar asosiy maydonlarda kuzatilgan mineral belgilarini batafsil

ko‘rsatadi. Ular miqdoriy hisobga alohida dona sifatida kiritilmagan. Vismutin fotosurati 7-maydondagi donaga tegishli; granat va yoriqli silikat tasvirlari esa noruda minerallarning ichki tuzilishini yoritadi.



10-rasm. Vismutinning cho‘zinchoq donasi va plastinkali ichki tuzilishi.

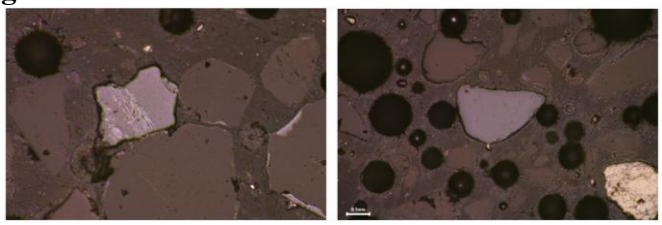
Vismutin donasining ichki qismida egilgan, to‘lqinsimon plastinkalar, chekka qismlarida esa o‘zgarish hoshiyasi aniqlandi. Plastinkalarning morfologiyasi mineralning past qattiqligi va egiluvchanligi bilan bog‘liq xususiyatlar doirasida baholandi [4]. Biroq ularning egilishiga tabiiy deformatsiya yoki namunani silliqlashdagi mexanik ta’sir sabab bo‘lganligi aniqlanmadi. Chekka hoshiyaning fazaviy tarkibi mikroanalitik usulda tekshirilmaganligi sababli, uni tashkil etuvchi mineral turi belgilanmadi.



11-rasm. Chapda konsentrik zonal granat, o‘ngda yuqori relyefli yoriqli silikat dona.

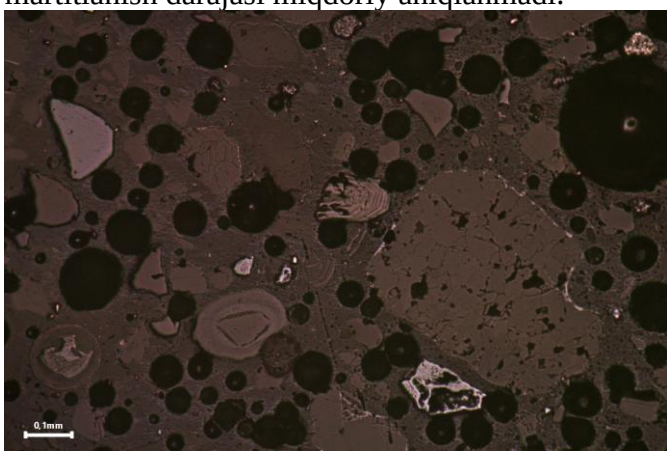
Granat donasida kuzatilgan konsentrik zonallik uning ichki tuzilishidagi farqlanishni, silikat donasidagi yoriqlar to‘ri esa darzlanish xususiyatini ifodalaydi. Asosiy mikroskopik maydonlarda o‘xshash optik belgilarga ega silikatlar piroksen sifatida tavsiflangan. Biroq qo‘shimcha mikrotasvir ushbu donaning piroksenga mansubligini mustaqil tasdiqlash uchun yetarli emas. Optik zonallik asosida element tarkibidagi o‘zgarishlarni, darzlanish belgilaridan esa maydalash uchun zarur energiya sarfini bevosita aniqlab bo‘lmaydi; bunday baholashlar tegishli mikroanalitik va mexanik sinovlarni talab etadi.

Temirli fazalarning ichki tuzilishi va g‘ovaklik.



12-rasm. Chapda magnetit asosidagi gematit plastinkalari sifatida tavsiflangan tuzilish.

Magnetit donasining ichki qismida gematit plastinkalari aniqlandi. Ularning rivojlanishi magnetitning gematit bilan qisman almashinishini ifodalovchi martitlanish belgisi sifatida baholandi. Kesishgan nikollar sharoitida magnetit asosining izotropligi va gematit plastinkalarining anizotropligi qayd etildi. Ushbu optik farqlar hamda plastinkali tuzilish fazalarni ajratish va almashinish teksturasini aniqlashga asos bo‘ldi. Gematitning yuza yoki hajm ulushi o‘lchanmaganligi sababli, martitlanish darajasi miqdoriy aniqlanmadi.



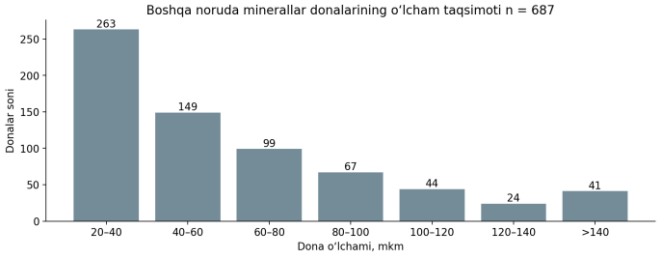
13-rasm. G‘ovakli pirit va gyotit hamda konsentrik zonal donalar mavjud qo‘shimcha maydon.

G‘ovakli mineral donalarini tavsiflashda mineral ichidagi bo‘shliqlar briketning bog‘lovchi muhitida uchraydigan yumaloq, qora havo pufaklaridan farqlandi. Teksturaviy talqinda hosila faza tarkibida boshlang‘ich mineral reliktlarining saqlanishi, g‘ovaklarning dona chegaralariga nisbatan joylashuvi hamda fazalararo kontaktlar

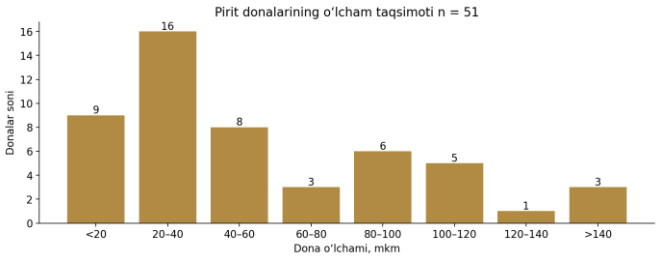
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

birgalikda baholandi. Mineral almashinish jarayonida g‘ovaklikning shakllanishi adabiyotlarda qayd etilgan [5]. Biroq mavjud mikrotasvir g‘ovaklik ulushini miqdoriy aniqlash yoki almashinish reaksiyasining mexanizmini tasdiqlash uchun yetarli emas.

Donalar taqsimotining tasvir va jadval bilan tekshirilishi.



14-rasm. Boshqa noruda minerallarning o‘lcham gistogrammasi.

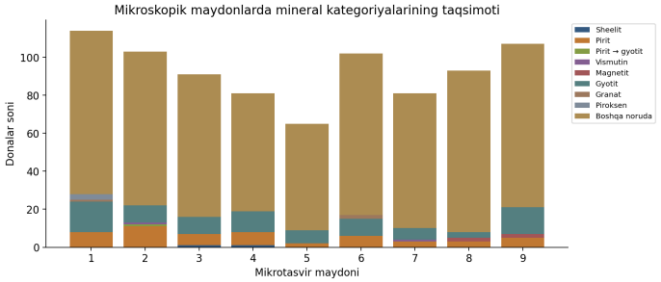


15-rasm. Pirit donalarining o‘lcham gistogrammasi.

Noruda minerallar donalarining o‘lcham bo‘yicha taqsimotida 20–40 mkm guruhga 263 ta, 40–60 mkm guruhga esa 149 ta dona mansub. Ushbu ikki guruh jami 412 ta donani birlashtirib, hisobga olingan 687 ta noruda mineral donasining 59,97% ini tashkil etadi. Pirit donalari orasida <20 mkm guruhda 9 ta, 20–40 mkm guruhda 16 ta va 40–60 mkm guruhda 8 ta dona qayd etilgan. Mazkur uch guruhning umumiy soni 33 ta bo‘lib, hisoblangan pirit donalarining 64,71% iga teng. Natijalar ikkala mineral guruhida ham donalar soni bo‘yicha mayda o‘lchamlarning ustunligini ko‘rsatadi.

Gistogrammalarda mineral donalarining son bo‘yicha taqsimoti aks ettirilgan. Yuqori chegarasi belgilanmagan >140 mkm guruhi yirik donalarni umumlashtiradi, biroq ularning ushbu oraliqdagi batafsil taqsimotini ifodalamaydi. Shuningdek, 60–80 mkm oralig‘i 71 mkm tasniflash chegarasini qamrab olganligi sababli, undagi donalarni to‘liq <71 mkm yoki >71 mkm guruhiga kiritish mumkin emas. Ushbu ikki o‘lcham guruhi bo‘yicha donalarning aniq sonlari 11-jadvalda keltirilgan.

Maydonlar orasidagi tavsifiy farqlar.



16-rasm. To‘qqizta maydonda mineral kategoriyalarining donalar soni bo‘yicha taqsimoti.

10-jadval

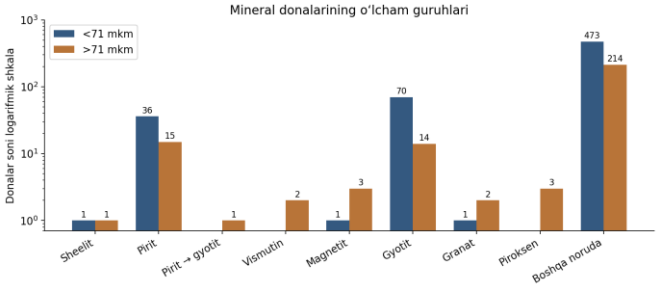
Maydonlar bo‘yicha hisob va o‘lcham guruhlari

Maydon	Jami	Rudali	Noruda	<71 mkm	>71 mkm	<71 ulushi %
1-mikrotasvir	114	24	90	81	33	71,1
2-mikrotasvir	103	22	81	71	32	68,9
3-mikrotasvir	91	16	75	63	28	69,2
4-mikrotasvir	81	19	62	54	27	66,7
5-mikrotasvir	65	9	56	40	25	61,5
6-mikrotasvir	102	15	87	78	24	76,5
7-mikrotasvir	81	10	71	55	26	67,9
8-mikrotasvir	93	8	85	61	32	65,6
9-mikrotasvir	107	21	86	79	28	73,8
JAMI	837	144	693	582	255	69,5

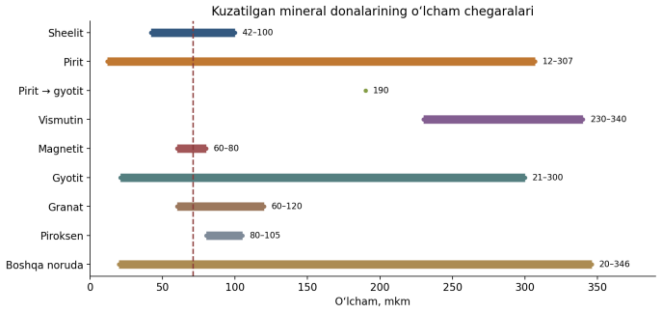
Rudali mineral donalarining maydondagi jami zarralar soniga nisbatan ulushi 4-maydonda 23,46%, 8-maydonda esa 8,60% ni tashkil etdi. Ushbu ko‘rsatkichlar orasidagi tafovut 14,86 foiz punktiga teng. <71 mkm o‘lchamli donalar ulushi 5-maydonda 61,54%, 6-maydonda esa 76,47% bo‘lib, kuzatuv maydonlari orasida o‘lcham taqsimotining farqlanishi qayd etildi. Aniqlangan tafovutlar o‘rganilgan briket-anshlifdagi mahalliy mineralogik va o‘lcham jihatidan notekislikni tavsiflaydi. Maydonlar mustaqil takroriy namunalar bo‘lmagani sababli, bu natijalar texnogen chiqindi partiyalari o‘rtasidagi statistik farq sifatida talqin qilinmaydi.

Rudali donalarning son bo‘yicha eng yuqori ulushi 4-maydonda, <71 mkm donalarning eng yuqori ulushi esa 6-maydonda aniqlandi. Demak, rudali minerallar son ulushining yuqoriligi mayda zarralar ulushining ham eng yuqori bo‘lishini anglatmaydi. Shu bois maydonlarning mineralogik tarkibi va donalarning o‘lcham bo‘yicha taqsimoti o‘zaro bog‘liq, ammo alohida ko‘rsatkichlar sifatida baholandi.

Mineral kategoriyalari va o‘lcham chegaralari.



17-rasm. Mineral donalarining <71 va >71 mkm guruhlari.



18-rasm. Minerallarning kuzatilgan eng kichik va eng katta o‘lchamlari.

Pirit va gyotit donalarining o‘lcham diapazonlari <71 mkm hamda >71 mkm guruhlarni qamrab oladi. Sheelitning qayd etilgan ikki donasi mos ravishda 42 va 100 mkm, vismutin donalari esa 230 va 340 mkm o‘lchamga ega. Kam sonli mineral fazalar uchun ushbu qiymatlar faqat kuzatilgan donalarning o‘lchamlarini tavsiflaydi. Kuzatuvlar sonining cheklanganligi ularni namuna tarkibidagi tegishli mineral donalarining to‘liq o‘lcham taqsimotiga umumlashtirish imkonini bermaydi.

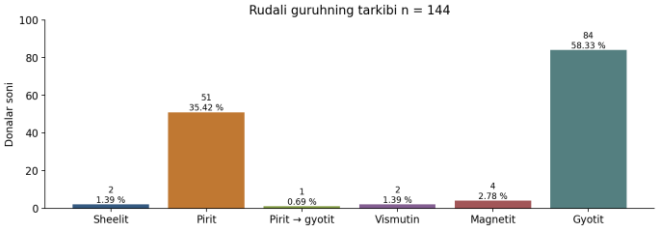
Donalar soni keskin farqlanadigan mineral kategoriyalarini bir grafikda taqqoslash uchun vertikal o‘qda logarifmik shkala qo‘llanildi. Nol qiymat logarifmik shkalada ifodalanmaganligi sababli, dona qayd etilmagan guruhlar grafikda ustun bilan ko‘rsatilmagan. Ushbu guruhlardagi nol va musbat qiymatlar 11-jadvalda keltirilgan.

Umumlashtirilgan hisobning mineralogik talqini. Jadval va diagrammalarda bir xil mineralogik hisob natijalari turli shakllarda ifodalangan. Granat va piroksen alohida tasniflanganda, boshqa noruda minerallar guruhi 687 ta donadan iborat bo‘lib, jami zarralarning 82,1% ini tashkil etadi. Granat va piroksen donalari qo‘shilganda esa noruda minerallarning umumiy soni 693 taga, ulushi 82,8% ga teng bo‘ladi. Ushbu ko‘rsatkichlar donalar soniga nisbatan hisoblangan bo‘lib, minerallarning massa ulushi yoki metallarning kimyoviy konsentratsiyasini ifoda-lamaydi.

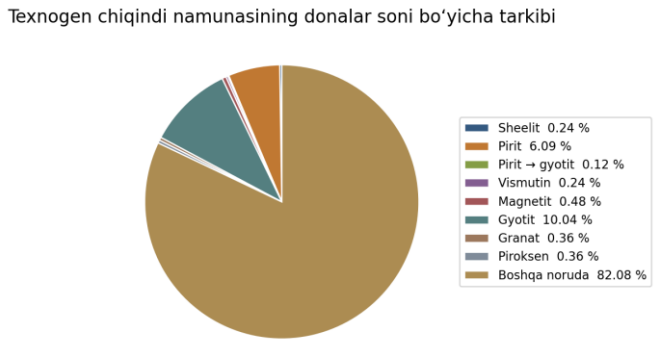
11-jadval

Mineral kategoriyalarining umumiy soni va o‘lcham guruhlari

Kategoriya	n	Son ulushi %	<71	>71	<71 ulushi %	O‘lcham mkm
Sheelit	2	0,2	1	1	50	42–100
Pirit	51	6,1	36	15	70,6	12–307
Pirit → gyotit	1	0,1	0	1	0	190
Vismutin	2	0,2	0	2	0	230–340
Magnetit	4	0,5	1	3	25	60–80
Gyotit	84	10,0	70	14	83,3	21–300
Granat	3	0,4	1	2	33,3	60–120
Piroksen	3	0,4	0	3	0	80–105
Noruda minerallar	687	82,1	473	214	68,9	20–346
JAMI	837	100	582	255	69,5	12–346



19-rasm. Rudali guruhning donalar soni bo‘yicha tarkibi.



20-rasm. Texnogen chiqindi namunasining hisoblangan donalar bo‘yicha tarkibi.

Muhokama. Mikroskopik maydonlar bo‘yicha tahlil Ingichka boyitish fabrikasi texnogen chiqindi namunasidagi mahalliy mineral assotsiatsiyalarni tavsiflash imkonini berdi. O‘rganilgan to‘qqizta maydon doirasida sheelit 3- va 4-maydonlarda, vismutin 2- va 7-maydonlarda, magnetit esa 8- va 9-maydonlarda qayd etildi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Mazkur taqsimot tanlangan kuzatuv maydonlariga tegishli bo‘lib, boshqa maydonlarda ushbu minerallarning mavjud emasligini tasdiqlamaydi. Aniqlangan donalar va ularning kontaktlari keyingi mikroanalitik tadqiqotlar uchun boshlang‘ich obyektlar sifatida foydalanilishi mumkin.

Gyotitli hosila tarkibida pirit reliktlarining saqlanishi boshlang‘ich sulfidning qisman almashinishiga mos keladi. Pirit oksidlanishining elektrokimyoviy mexanizmlari adabiyotlarda yoritilgan [6], biroq mazkur namunada jarayonning tezligi, davomiyligi va fizik-kimyoviy sharoitlari aniqlanmagan. Pirit chetidagi xalkozin–digenit sifatida talqin qilingan hoshiyani baholashda uning fazaviy tarkibi va shakllanish ketma-ketligini alohida tekshirish zarur. Cu va S ning element xaritalari hamda nuqtaviy mikroanalitik o‘lchovlar hoshiyaning tarkibini aniqlashtirishga xizmat qiladi.

Magnetit asosidagi gematit plastinkalari martitlanish teksturasiga xos belgi sifatida baholandi. Zhao va hammualliflar gidrotermal tajribalarda magnetitning gematit bilan almashinishi oksidlanish hamda oksidlanish-qaytarilishsiz mexanizmlar orqali kechishi mumkinligini ko‘rsatgan [7]. Ushbu natijalar kuzatilgan teksturani talqin qilish uchun nazariy asos beradi, ammo o‘rganilgan namunadagi almashinishning aynan gidrotermal sharoitda sodir bo‘lganini tasdiqlamaydi. Temir saqlovchi fazalarni EDS tahlili bilan birga Raman spektroskopiyasi yoki difraksion usullar yordamida tekshirish ularning identifikatsiyasini aniqlashtiradi.

Vismutinning egilgan plastinkali ichki tuzilishi va granatning konsentrik zonalligi qo‘shimcha diagnostik belgilar sifatida qayd etildi. Vismutindagi deformatsion belgilarni talqin qilishda tabiiy tuzilish bilan namunani silliqlash jarayonidagi mexanik ta’sirni farqlash lozim. Granatdagi optik zonallikning tarkibiy xususiyatlarini aniqlash uchun dona markazidan chetiga yo‘nalgan element profillarini o‘rganish maqsadga muvofiq. Noruda kiritmali pirit, g‘ovakli hosilalar va mineral chekka zonalarini tavsiflashda BSE tasvirlari hamda EDS element xaritalarini birgalikda qo‘llash fazalararo munosabatlarni aniqlashtirish imkonini beradi [3]. Donalar soniga asoslangan hisobni kimyoviy yoki hajmiy mineral balansga o‘tkazish esa qo‘shimcha o‘lchovlarni talab etadi.

Xulosa. Ingichka boyitish fabrikasi texnogen chiqindi namunasining to‘qqizta mikroskopik maydoni tasvirlar va hisob jadvallari asosida tavsiflandi. Tahlil natijasida relikt sulfidlar, mineral hoshiyalar, martitlanish, plastinkali ichki tuzilish, konsentrik zonallik va darzlanish belgilari qayd etildi. Manbadagi 11 ta jadval va 7 ta umumlashtiruvchi grafikning sonli ko‘rsatkichlari o‘zaro tekshirildi. Bir xil maydonning dastlabki, o‘lchov belgilari tushirilgan va konturlangan tasvirlari mustaqil kuzatuv sifatida hisoblanmadi.

Rudali mineral donalarining maydondagi jami zarralar soniga nisbatan ulushi 8,60–23,46% oralig‘ida o‘zgarib, o‘rganilgan kesimning mahalliy mineralogik notekisligini ko‘rsatdi. Kam uchraydigan fazalarning aniq maydonlarda qayd etilishi ularni keyingi mikroanalitik tekshiruvlar uchun tanlash imkonini beradi. Biroq mazkur hisob asosida metallarning kimyoviy miqdori, minerallarning hajmiy ochilish darajasi yoki texnologik ajratib olish samaradorligini bevosita aniqlash mumkin emas.

Keyingi tadqiqotlarda relikt–hosila kontaktlari, pirit chetidagi sulfid hoshiya, magnetitdagi gematit plastinkalari, vismutinning chekka zonalari va granatning ichki zonalarini o‘rganish ustuvor yo‘nalishlar sifatida tavsiya etiladi. Optik mikroskopiya natijalarini mustaqil kimyoviy va fazaviy tahlillar bilan birlashtirish texnogen chiqindilarni qayta boyitish bo‘yicha tajribalarni rejalashtirish uchun asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Petruk, W. (2000). Applied mineralogy in the mining industry. Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/book/9780444500779
[2] Craig, J. R., & Vaughan, D. J. (1994). Ore microscopy and ore petrography (2nd ed.). John Wiley & Sons. https://msaweb.org/ore/
[3] Fandrich, R., Gu, Y., Burrows, D., & Moeller, K. (2007). Modern SEM-based mineral liberation analysis. International Journal of Mineral Processing, 84(1–4), 310–320. https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.07.018

[4] Mineral Data Publishing. (2005). Bismuthinite. In Handbook of mineralogy (Version 1). https://handbookofmineralogy.org/pdfs/bismuthinite.pdf
[5] Putnis, A. (2009). Mineral replacement reactions. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 70(1), 87–124. https://doi.org/10.2138/rmg.2009.70.3
[6] Rimstidt, J. D., & Vaughan, D. J. (2003). Pyrite oxidation: A state-of-the-art assessment of the reaction mechanism. Geochimica et Cosmochimica Acta, 67(5), 873–880. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(02)01165-1
[7] Zhao, J., Brugger, J., & Pring, A. (2019). Mechanism and kinetics of hydrothermal replacement of magnetite by hematite. Geoscience Frontiers, 10(1), 29–41. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.05.015
[8] Schulz, B., Sandmann, D., & Gilbricht, S. (2020). SEM-based automated mineralogy and its application in geo- and material sciences. Minerals, 10(11), 1004. https://doi.org/10.3390/min10111004
[9] Hrstka, T., Gottlieb, P., Skála, R., Breiter, K., & Motl, D. (2018). Automated mineralogy and petrology—Applications of TESCAN Integrated Mineral Analyzer (TIMA). Journal of Geosciences, 63(1), 47–63. https://doi.org/10.3190/jgeosci.250
[10] Lotter, N. O. (2011). Modern process mineralogy: An integrated multi-disciplined approach to flowsheeting. Minerals Engineering, 24(12), 1229–1237. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.03.004
[11] Gu, Y. (2003). Automated scanning electron microscope based mineral liberation analysis an introduction to JKMRC/FEI Mineral Liberation Analyser. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2(1), 33–41. https://doi.org/10.4236/jmmce.2003.21003
[12] Saberi, N., & Vriens, B. (2023). Sample preparation biases in automated quantitative mineralogical analysis of mine wastes. Microscopy and Microanalysis, 29(1), 94–104. https://doi.org/10.1093/micmic/ozac006
[13] 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. In BIO Web of Conferences (Vol. 149, p. 01049). EDP Sciences.
[14] Khasanov, A., Kuttybayev, A., Boymurodov, N., Turobov, S., Khasanov, O., Nimchik, A., ... & Kambarov, A. (2025). METHODS OF SEPARATION OF TUNGSTEN AND MOLYBDENUM IN THE PROCESSING OF TUNGSTEN WASTE. New Materials, Compounds and Applications, 9(3), 645-657.

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

Xasanov, A. A., Xasanov, A. S., Tolibov, B. I., & Boymurodov, N. A. (2026). Ingichka boyitish fabrikasi texnogen chiqindilarining mikroskopik tuzilishi va mineral fazalarining maydonlar bo‘yicha tavsifi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.31

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 622.7:622.795:669.21/.22 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.32

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

GMZ-3 TEXNOGEN CHIQINDILARINING GRANULOMETRIK VA MINERALOGIK TARKIBI HAMDA OLTIN VA KUMUSHNING O‘LCHAM FRAKSIYALARI BO‘YICHA TAQSIMOTI



Rustamov Islomjon Ilhomovich

Mustaqil izlanuvchi, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: islom4744740@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-3508-806X
Science ID: MQD-1026-0842



Majidova Iroda Ibrohimovna

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti “Metallurgiya” kafedrasi assistenti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: Irodamajidova97@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-9087-4097
Science ID: MNV-1026-0164



Voxidov Baxriddin Raxmidinovich

Texnika fanlari doktori, Professor, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: bakhriddin.vokhidov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-0819-6752
Science ID: DNV-0225-0001



Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: najmiddinboy-94@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-7820-7799
Science ID: MQD-0625-0004

Annotatsiya. *GMZ-3 chiqindixonasida to‘plangan texnogen materialning granulometrik va mineralogik tarkibi hamda oltin va kumushning o‘lcham fraksiyalari bo‘yicha taqsimoti tadqiq etildi. Granulometrik baholash 1–3 m chuqurlikdan olingan to‘qqizta namunaning elak tahliliga, mineralogik-geokimyoviy tavsiflash esa beshta namunaning tekshiruv natijalariga asoslandi. O‘rtachalashtirilgan materialda fraksiyalarning massa chiqishi va Au–Ag miqdorlari taqqoslanib, metall balansi hisobiy tekshirildi. Alohida namunalarda −0,074 mm sinfning massa chiqishi 67,2–80,0%, o‘rtachalashtirilgan materialda esa 76,2% ni tashkil etdi. Ushbu fraksiyada oltin miqdori 0,65 g/t, kumush miqdori 1,4 g/t ekanligi aniqlandi. Mineral tarkibda jins hosil qiluvchi komponentlarning yig‘ma guruhi 90,58% bilan ustunlik qildi; pirit 3,44%, arsenopirit 0,22%, metall oksidlari va gidroksidlari 5,49% miqdorda qayd etildi. Element xaritalari mineral fazalarning mahalliy tarqalishini tavsifladi. Hisobiy tekshiruv metallarning fraksiyalar bo‘yicha hisoblangan va birlamchi taqsimot ko‘rsatkichlari o‘rtasida nomuvofiqlik mavjudligini ko‘rsatdi. Natijalar mayda fraksiyani batafsil kimyoviy-mineralogik o‘rganish va metall balansini aniqlashtirish zarurligini asoslaydi. Qayta ishlash usulini tanlash uchun qimmatbaho metallarning mineral tashuvchilari, ochilish darajasi va tajribaviy ajratib olish ko‘rsatkichlarini aniqlash lozim.*

Kalit so‘zlar: *GMZ-3, texnogen chiqindilar, granulometrik tarkib, elak tahlili, mineral tarkib, oltin, kumush, element xaritalash, metall balansi, mineral ochilishi.*

Received: 18.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВЫ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ГМЗ-3 И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ

Рустамов Исломжон Илхомович

Самостоятельный соискатель, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Мажидова Ирода Иброхимовна

Ассистент кафедры «Металлургия», Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Вохидов Бахриддин Рахмидинович

Доктор технических наук, профессор, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Боймуродов Нажмиддин Абдукодирович

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *Исследованы гранулометрический и минеральный составы техногенного материала хвостохранилища ГМЗ-3, а также распределение золота и серебра по классам крупности. Гранулометрическая оценка основана на результатах ситового анализа девяти проб, отобранных с глубины 1–3 м, а минералого-геохимическая характеристика — на результатах исследования пяти проб. Для усреднённого материала сопоставлены массовые выходы фракций и содержания Au и Ag, выполнена расчётная проверка баланса металлов. Массовый выход класса −0,074 мм в отдельных пробах составил 67,2–80,0%, в усреднённом материале — 76,2%. Содержание золота в данной фракции составило 0,65 г/т, серебра — 1,4 г/т. В минеральном составе преобладала совокупная группа породообразующих компонентов с долей 90,58%; содержание пирита составило 3,44%, арсенопирита — 0,22%, оксидов и гидроксидов металлов — 5,49%. Элементные карты охарактеризовали локальное распределение минеральных фаз. Расчётная проверка выявила несоответствие между расчётными и исходными показателями распределения металлов по фракциям. Полученные результаты обосновывают необходимость детального химико-минералогического изучения тонкой фракции и уточнения баланса металлов. Для выбора способа переработки необходимо установить минералы-носители благородных металлов, степень их раскрытия и показатели извлечения в технологических испытаниях.*

Ключевые слова: *ГМЗ-3, техногенные отходы, гранулометрический состав, ситовой анализ, минеральный состав, золото, серебро, элементное картирование, баланс металлов, раскрытие минералов.*

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION AND MINERAL COMPOSITION OF GMZ-3 TAILINGS AND THE DISTRIBUTION OF GOLD AND SILVER ACROSS SIZE FRACTIONS

Rustamov Islomjon Ilhomovich

Independent Researcher, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Majidova Iroda Ibrohimovna

Assistant Lecturer, Department of Metallurgy, Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan

Voxidov Baxriddin Raxmidinovich

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

Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich

Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The particle size distribution, mineral composition, and size-fraction distribution of gold and silver in material from the GMZ-3 tailings storage facility were investigated. Particle size characterization was based on sieve analyses of nine samples collected at depths of 1–3 m, while mineralogical and geochemical characterization involved five samples. Fraction mass yields and Au–Ag grades in the composite material were compared, and the metal balance was checked by calculation. The mass yield of the −0.074 mm fraction ranged from 67.2% to 80.0% in individual samples and reached 76.2% in the composite material. This fraction contained 0.65 g/t gold and 1.4 g/t silver. The combined group of rock-forming components dominated the mineral composition, accounting for 90.58%; pyrite, arsenopyrite, and metal oxides and hydroxides accounted for 3.44%, 0.22%, and 5.49%, respectively. Elemental maps characterized the local distribution of mineral phases. Calculations revealed discrepancies between the calculated and reported metal distributions across size fractions. The findings support further chemical and mineralogical investigation of the fine fraction and reconciliation of the*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

metal balance. Selecting a reprocessing method requires identification of the precious-metal host minerals, assessment of liberation, and determination of recovery through metallurgical testing.
Keywords: *GMZ-3, tailings, particle size distribution, sieve analysis, mineral composition, gold, silver, elemental mapping, metal balance, mineral liberation.*

Kirish. Oltin ajratish korxonalarida hosil bo‘lgan texnogen chiqindilar tarkibida saqlanib qolgan qimmatbaho metallarni qayta ajratib olish imkoniyatini baholash xomashyoning kimyoviy, granulometrik va mineralogik xususiyatlarini kompleks o‘rganishni talab etadi. Texnologik jarayonning samaradorligi metallning umumiy miqdori bilan bir qatorda, uning mineral shakllari, donadorligi, boshqa fazalar bilan o‘zaro bog‘lanishi hamda ochilish darajasiga bog‘liq. Shu jihatdan, oltin va kumushning o‘lcham fraksiyalari bo‘yicha taqsimotini mineral tarkib bilan birgalikda tahlil qilish qayta ishlash usullarini asoslashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Goodall tadqiqotida avtomatlashtirilgan mineralogik tahlilni diagnostik kimyoviy usullar bilan uyg‘unlashtirish chiqindilardagi oltinning mineral fazalar bo‘yicha taqsimotini va texnologik yo‘qotilish sabablarini aniqlash imkonini berishi ko‘rsatilgan [2]. Liipo oltinning donadorligi va mineral assotsiatsiyalari uning ajralish xususiyatlariga ta’sir etishini, silikatlar tarkibidagi mayda oltin kiritmalari esa metallning chiqindida saqlanib qolish shakllaridan biri ekanini aniqlagan [3]. Zhou, Jago va Martin oltinni ajratib olishga ta’sir etuvchi mineralogik omillar sifatida mineral o‘sishmalari, donalar yuzasidagi qoplamalar va sulfidlar tarkibidagi submikroskopik oltinni ajratib ko‘rsatgan [4]. Mazkur tadqiqotlar fraksion kimyoviy tahlil natijalarini oltinning mineral tashuvchilari va ochilish xususiyatlari bilan bog‘liq holda baholash zarurligini asoslaydi.

GMZ-3 texnogen chiqindilarini qayta ishlash imkoniyatlarini baholashda qimmatbaho metallarning qaysi o‘lcham sinflarida to‘planganini aniqlash, asosiy mineral guruhlarni tavsiflash va fraksion metall balansining o‘zaro muvofiqligini tekshirish muhimdir. Ushbu ma’lumotlar keyingi boyitish tajribalarining yo‘nalishini belgilash uchun dastlabki ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi [6].

Tadqiqotning maqsadi GMZ-3 texnogen chiqindilarining granulometrik va mineralogik tarkibini o‘rganish [5], oltin hamda kumushning o‘lcham fraksiyalari bo‘yicha taqsimotini baholash va olingan natijalar asosida keyingi texnologik tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishlarini belgilashdan iborat.

Materiallar va tadqiqot usullari. Tadqiqot obyekti sifatida GMZ-3 chiqindixonasida to‘plangan texnogen chiqindilar o‘rganildi. Granulometrik tarkib 1, 2 va 3 m chuqurlikdan olingan 18–26-raqamli to‘qqizta namuna asosida baholandi. Mineralogik va geokimyoviy tadqiqotlar beshta namuna bo‘yicha bajarildi. Granulometrik hamda mineralogik-geokimyoviy tekshiruvlarda foydalanilgan namunalarning o‘zaro muvofiqligi hujjatlashtirilmaganligi sababli, natijalar alohida tanlanmalar doirasida tahlil qilindi.

Elak tahlilida material +0,16; −0,16+0,1; −0,1+0,074 va −0,074 mm o‘lcham sinflariga ajratildi. Bunda “−a+b” belgilanishi teshik o‘lchami *a* bo‘lgan elakdan o‘tgan va teshik o‘lchami *b* bo‘lgan elakda qolgan mahsulotni ifodalaydi. Har bir fraksiyaning massa chiqishi foizlarda, oltin va kumush miqdorlari esa g/t birlikda baholandi. Materialning tarkibi spektral, mass-spektrometrik va mikroskopik tahlil usullari yordamida o‘rganildi. Asbob modellari, boshlang‘ich namuna massasi, elash davomiyligi, analitik aniqlash chegaralari va takroriy o‘lchovlar to‘g‘risidagi ma’lumotlar birlamchi materialda keltirilmagan.

Ruda tayyorlash bosqichi uchun mahsulotning kamida 80% ini −0,074 mm sinfgacha maydalash rejimi ko‘rsatilgan [1; s.26–31]. Ushbu texnologik ko‘rsatkich chiqindixona namunalarida aniqlangan −0,074 mm fraksiyaning amaldagi massa chiqishidan alohida ko‘rib chiqildi. Natijalarni qayta ishlashda tavsifiy tahlil va fraksion metall balansini arifmetik tekshirish usullari qo‘llanildi. Mustaqil takroriy o‘lchovlar mavjud bo‘lmaganligi sababli, kuzatilgan farqlarning statistik ahamiyatliligi baholanmadi.

Metallning hisobiy o‘rtacha miqdori quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$\overline{C} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \gamma_i C_i}{100} \quad (1)$$

Metallning alohida o‘lcham fraksiyasidagi hisobiy taqsimoti quyidagicha baholandi:

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i C_i}{\sum_{j=1}^{n} \gamma_j C_j} \times 100\% \quad (2)$$

Bu yerda γ_i — i-fraksiyaning massa chiqishi, %; C_i — mazkur fraksiyadagi metall miqdori, g/t; $\overline{C}$ — metallning hisobiy o‘rtacha miqdori, g/t; ε_i — metallning i-fraksiyadagi hisobiy taqsimoti, %; n — o‘lcham fraksiyalari soni. Hisoblashlar Au va Ag uchun alohida bajarilib, fraksiyalar chiqishi, metall miqdori va taqsimot ko‘rsatkichlarining o‘zaro muvofiqligini tekshirishga yo‘naltirildi.

Natijalar. Chiqindilarning granulometrik xususiyatlari. Elak tahlili natijalariga ko‘ra, barcha namunalarning granulometrik tarkibida −0,074 mm sinfning massa bo‘yicha ustunligi aniqlandi (1-jadval). Mazkur sinfning eng kichik chiqishi 20-namunada 67,2%, eng yuqori chiqishi esa 18-namunada 80,0% ni tashkil etdi; ular orasidagi farq 12,8 foiz punktiga teng bo‘ldi. To‘qqizta namuna bo‘yicha ushbu fraksiya chiqishining arifmetik o‘rtachasi 71,19% ni tashkil etdi.

1-jadval

GMZ-3 chiqindixonasi namunalarining elak tahlili natijalari (muallif ishlanmasi)

Namuna №	Chuqurlik, m	+0,16 mm, %	−0,16+0,1 mm, %	−0,1+0,074 mm, %	−0,074 mm, %	Jami, %
18	1	4,0	5,4	10,6	80,0	100
19	2	6,7	9,0	13,5	70,8	100
20	1	9,3	9,0	14,5	67,2	100
21	2	7,0	8,4	11,2	73,4	100
22	3	10,8	9,4	11,7	68,1	100
23	1	6,4	7,6	14,0	72,0	100
24	3	6,3	7,6	14,6	71,5	100
25	1	6,4	7,3	17,7	68,6	100
26	3	8,3	10,6	12,0	69,1	100

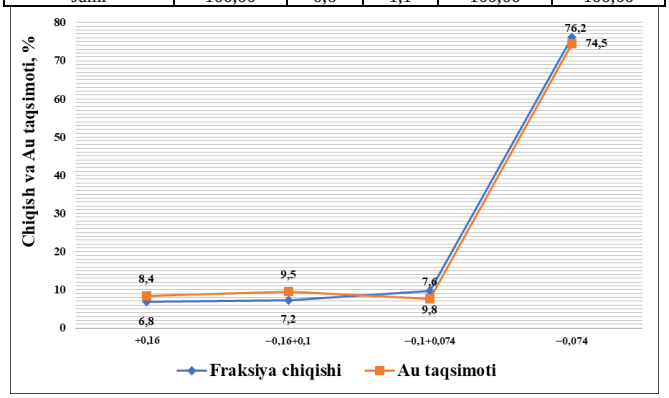
Granulometrik tahlil natijalariga ko‘ra, +0,16 mm sinfning massa chiqishi 4,0–10,8%, −0,16+0,1 mm sinfniki 5,4–10,6%, −0,1+0,074 mm sinfniki esa 10,6–17,7% oralig‘ida aniqlandi. Barcha namunalarda fraksiyalarning jami massa chiqishi 100% ni tashkil etdi. Bir xil chuqurlikdan olingan namunalarning fraksion tarkibida ham tafovutlar kuzatildi. Ushbu natijalar o‘rganilgan materialning granulometrik jihatdan notekisligini ko‘rsatadi hamda qayd etilgan farqlarni faqat namuna olish chuqurligi bilan izohlash yetarli emasligini bildiradi.

Oltin va kumushning fraksiyalar bo‘yicha taqsimoti. O‘rtachalashtirilgan materialda −0,074 mm sinf 76,2% massa chiqishi bilan asosiy mahsulotni tashkil etdi. Ushbu fraksiyada Au 0,65 g/t va Ag 1,4 g/t miqdorda aniqlandi. Qolgan fraksiyalar yig‘indisi 23,8% bo‘lib, ularda Au 0,4–0,6 g/t va Ag 0,9–1,3 g/t oralig‘ida qayd etilgan (2-jadval).

2-jadval

O‘rtachalashtirilgan GMZ-3 chiqindilarida Au va Ag ning fraksion tarkibi va taqsimoti (birlamchi qiymatlar)

№	O‘lcham sinfi, mm	Chiqish, %	Au, g/t	Ag, g/t	Au taqsimoti, %	Ag taqsimoti, %
1	+0,16	6,8	0,4	1,1	8,4	9,4
2	−0,16+0,1	7,2	0,55	1,3	9,5	7,3
3	−0,1+0,074	9,8	0,6	0,9	7,6	12,1
4	−0,074	76,2	0,65	1,4	74,5	71,2
Jami		100,00	0,6	1,1	100,00	100,00



1-rasm. GMZ-3 texnogen chiqindilarida fraksiyalar massa chiqishi va oltin taqsimoti (muallif ishlanmasi).

Birlamchi taqsimot ma’lumotlarida −0,074 mm sinfga oltinning 74,5% i va kumushning 71,2% i to‘g‘ri kelgan. Diagramma massa chiqishi va oltin taqsimotining asosiy qismi mayda sinfga tegishli ekanini ifodalaydi (1-rasm). Bu holat mayda mahsulotni keyingi tekshiruvlarda alohida baholash uchun asos bo‘ldi.

Mineral tarkib va elementlarning fazoviy joylashuvi. Mineralogik natijalarga ko‘ra, jins hosil qiluvchi komponentlarning yig‘ma ulushi 90,58% ni tashkil etdi (3-jadval). Mazkur guruhda kvars, kaliyli dala shpatlari, gidroslyuda, xlorit, biotit, kalsit va uglerodli modda qayd etilgan. Guruh uchun yagona miqdor keltirilganligi sababli uning tarkibiy qismlari ulushi alohida hisoblanmadi.

Pirit, arsenopirit hamda boshqa sulfid va sulfotuzlar yig‘indisi 3,72% ni tashkil etdi. Fe, V, Ti va Cr oksidlari hamda gidroksidlari 5,49% bilan ikkinchi yirik guruh sifatida ajralib turdi. Apatit 0,20%, sheelit esa 0,010% miqdorda qayd etildi. Ushbu natijalar asosiy massa silikatli komponentlardan iboratligini, rudali fazalar esa nisbatan kam miqdorda mavjudligini ko‘rsatdi.

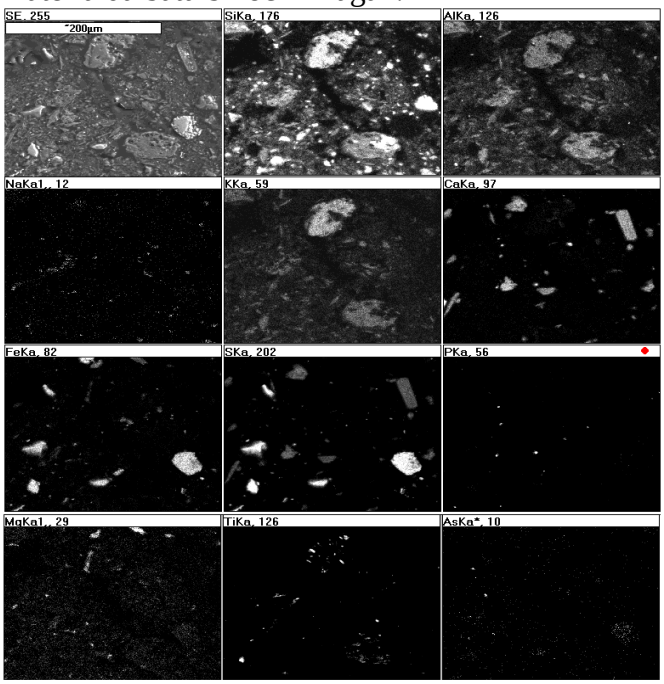
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

3-jadval

GMZ-3 ning yotib qolgan chiqindilari o‘rtacha mineral tarkibi (muallif ishlanmasi)

№	Mineral yoki mineral guruhi	Miqdori, %
1	Kvars > kaliyli dala shpatlari > gidroslyuda > xlorit > biotit > kalsit > uglerodli modda	90,58
2	Pirit	3,44
3	Arsenopirit	0,22
4	Boshqa sulfidlar va sulfotuzlar	0,06
5	Fe, V, Ti va Cr oksidlari hamda gidroksidlari	5,49
6	Apatit	0,20
7	Sheelit	0,010
	Jami	100

Izoh. Birinchi qatordagi “>” belgisi manbada berilgan nisbiy ketma-ketlikni bildiradi; u alohida minerallarning foiz miqdorini belgilamaydi. Mineral miqdorlarining hisoblash bazasi birlamchi materialda batafsil ochilmagan.



2-rasm. GMZ-3 chiqindilarining 8-namunasidagi elektron tasvir va Si, Al, Na, K, Ca, Fe, S, P, Mg, Ti hamda As elementlari tarqalish xaritalari (muallif ishlanmasi).

Element xaritalarida Si va Al ning ayrim donalar hamda matritsada, Fe va S ning esa mahalliy yorqin sohalarda taqsimlanganligi kuzatildi (2-rasm). Birlamchi fazaviy tavsifda kvars, biotit, albit, ortoklaz, xlorit, gidrogyotit, gips, apatit, rutil, Mg–Fe karbonat, pirit va arsenopirit ajratilgan. Xaritalar elementlarning joylashishini tavsiflaydi; Au va Ag xaritalari berilmagani uchun ulardan qimmatbaho metall tashuvchilarini bevosita aniqlash mumkin emas.

Muhokama. Donadorlikning texnologik ahamiyati. −0,074 mm sinfning massa bo‘yicha ustunligi o‘rganilgan chiqindilarning mayda zarrachali tarkibga ega ekanini ko‘rsatdi. Bunda material zarrachalarining o‘lchami oltin donalarining o‘lchami va ochilish darajasini bevosita ifodalamaydi, chunki zarrachalar turli minerallarning o‘sishmalaridan tashkil topgan bo‘lishi mumkin [7]. Liipo tadqiqotida silikatlar tarkibida mayda oltin kiritmalari aniqlanganligi granulometrik tarkib bilan oltinning mineralogik ochilishini alohida baholash zarurligini asoslaydi [3]. O‘rganilgan GMZ-3 namunalarida esa bunday kiritmalar mavjudligi bevosita tasdiqlanmagan.

Mayda fraksiyaning yuqori massa chiqishi hamda uning tarkibida oltin va kumushning aniqlanishi ushbu mahsulotni batafsil kimyoviy-mineralogik tadqiq etish zarurligini ko‘rsatadi. Yirik fraksiyalarda ham qimmatbaho metallar qayd etilganligi sababli, ularni qayta ishlash jarayonidan chiqarish imkoniyati metall balansi va ajratish sinovlari asosida baholanishi lozim. Qo‘shimcha maydalashning maqsadga muvofiqligi oltinning erkin va mineral o‘sishmalari tarkibidagi ulushlarini aniqlash, shuningdek, turli maydalash darajalarida metallning ochilishi va ajratib olinishini qiyosiy o‘rganish orqali asoslanadi.

Fraksion metall balansini tekshirish. 2-jadvalda keltirilgan fraksiyalarning massa chiqishi va ulardagi metall miqdorlari asosida hisoblangan o‘rtacha konsentratsiya Au uchun 0,6209 g/t, Ag uchun esa 1,3234 g/t ni tashkil etdi. Oltinning hisobiy miqdori bir o‘nlik xonasigacha yaxlitlanganda jadvaldagi 0,6 g/t qiymatga mos keladi. Kumushning hisobiy miqdori bilan jadvalda keltirilgan 1,1 g/t qiymat o‘rtasidagi tafovut esa bunday yaxlitlash doirasidan tashqarida ekanligi aniqlandi.

+0,16; −0,16+0,1; −0,1+0,074 va −0,074 mm fraksiyalar uchun oltinning hisobiy taqsimoti mos ravishda 4,38; 6,38; 9,47 va 79,77%, kumushniki esa 5,65; 7,07; 6,66 va 80,61% ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlarning birlamchi jadvaldagi taqsimot ko‘rsatkichlariga mos kelmasligi fraksion metall balansida nomuvofiqlik mavjudligini ko‘rsatdi. Tafovutning kelib chiqish sababini aniqlash uchun dastlabki hisoblashlar va analitik bayonnomalarni tekshirish zarur. Qayta hisoblangan qiymatlar

mavjud ma’lumotlarning arifmetik tekshiruvi natijasi bo‘lib, mustaqil tahlil bilan tasdiqlangan metall balansi sifatida talqin qilinmaydi.

Fraksiyalar bo‘yicha metall taqsimotini aniqlashtirish keyingi texnologik hisoblarning ishonchliligini ta’minlash uchun muhimdir. Bunda metallning muayyan o‘lcham sinfidagi ulushi uning boyitish mahsulotiga ajratib olinish darajasidan farqlanishi lozim. Goodall tomonidan qo‘llanilgan mineralogik tadqiqotlarni diagnostik kimyoviy tahlil bilan uyg‘unlashtirish yondashuvi ushbu ko‘rsatkichlarni o‘zaro bog‘liq holda baholashga imkon beradi [2]. Shu asosda bosh namuna va alohida fraksiyalardagi Au–Ag miqdorlarini qayta aniqlash, fraksiyalarning massa chiqishini tekshirish hamda natijalarni birlamchi analitik bayonnomalar bilan solishtirish maqsadga muvofiq.

Mineral assotsiatsiyalar va keyingi tekshiruvlar. Mineralogik tahlilda pirit va arsenopiritning aniqlanishi oltinning sulfidli fazalar bilan bog‘lanish xususiyatlarini o‘rganish zarurligini ko‘rsatdi. Ushbu minerallarning mavjudligi esa ularni o‘rganilgan namunadagi oltin tashuvchilari sifatida belgilash uchun yetarli emas. Oltinning mineral shakllari va fazalar bo‘yicha taqsimotini aniqlashda mineral fraksiyalarni dastlabki boyitish, elektron mikroskopik kuzatuvlar hamda tegishli mikroanalitik usullarni birgalikda qo‘llash maqsadga muvofiq. Sulfidlar tarkibidagi submikroskopik oltin va donalar yuzasidagi qoplamalarning texnologik ahamiyati mustaqil diagnostik natijalar bilan asoslanishi lozim [4].

Jins hosil qiluvchi komponentlar guruhida uglerodli modda qayd etilgan bo‘lsa-da, uning alohida miqdori va sorbsion faolligi aniqlanmagan. Shu bois mazkur materialning eritmadagi oltinni qayta sorbsiyalash qobiliyati haqida xulosa chiqarish uchun maxsus sinovlar talab etiladi. Sheelitning 0,010% miqdorda aniqlanishi ham volframni sanoat miqyosida ajratib olish imkoniyatini baholash uchun yetarli asos bo‘lmaydi. Keyingi tadqiqotlarda element xaritalarini miqdoriy mikroanalitik natijalar bilan to‘ldirish hamda Au va Ag ning mineral tashuvchilarini aniqlash texnologik sinovlar yo‘nalishini asoslashga xizmat qiladi.

Namuna olish koordinatalari, takroriy tahlillar, mineral miqdorlarini aniqlash metodikasi va analitik noaniqliklar to‘g‘risidagi ma’lumotlarning yetishmasligi natijalarni butun chiqindixonaga umumlashtirish imkoniyatini cheklaydi. Shu sababli to‘qqizta namuna natijalari asosida chiqindixonaning umumiy zaxirasi va metallarining vakillik o‘rtacha miqdori baholanmadi. Olingan natijalar keyingi texnologik tadqiqotlar uchun dastlabki mineralogik va granulometrik asos bo‘lib xizmat qiladi. Flotatsion, gravitatsion va gidrometallurgik usullarning qo‘llanish imkoniyati hamda ajratib olish samaradorligi esa alohida tajribalar va metall balansi asosida aniqlanishi lozim.

Xulosa. GMZ-3 texnogen chiqindilarining granulometrik va mineralogik tarkibini o‘rganish natijasida materialda mayda zarrachalar hamda jins hosil qiluvchi mineral komponentlarning ustunligi aniqlandi. Chiqindixonaning 1–3 m chuqurligidan olingan to‘qqizta namunada −0,074 mm sinfning massa chiqishi 67,2–80,0 %, o‘rtachalashtirilgan materialda esa 76,2% ni tashkil etdi. Mazkur fraksiyada oltin miqdori 0,65 g/t va kumush miqdori 1,4 g/t bo‘lib, tahlil qilingan o‘lcham sinflari orasida eng yuqori qiymatlar qayd etildi.

Mineral tarkibda jins hosil qiluvchi komponentlar yig‘ma guruhi 90,58%, pirit 3,44%, arsenopirit 0,22%, boshqa sulfidlar va sulfotuzlar 0,06%, metall oksidlari hamda gidroksidlari 5,49% ni tashkil etdi. Element xaritalari mineral fazalarning mahalliy tarqalishini tavsifladi, biroq oltin va kumushning mineral tashuvchilari hamda ochilish darajasini bevosita aniqlash imkonini bermadi. Fraksiyalarning massa chiqishi va metall miqdorlari asosidagi hisoblashlarda birlamchi taqsimot ko‘rsatkichlari bilan nomuvofiqlik aniqlanganligi sababli, texnologik hisoblarni bajarishdan oldin analitik natijalarni tekshirish zarurligi belgilandi.

Olingan natijalar mayda fraksiyani batafsil kimyoviy-mineralogik tadqiq etish, qimmatbaho metallarning mineral shakllarini aniqlash va fraksion metall balansini aniqlashtirish uchun asos yaratdi. Chiqindilarni qayta ishlash usulini tanlash hamda uning samaradorligini baholash mineral ochilishi va tajribaviy ajratib olish natijalariga asoslanishi lozim.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Алгебраистова, Н. К., Алексеева, Е. А., & Коляго, Е. К. (2000). Минералогия и технология обогащения лежалых хвостов Артёмовской ЗИФ. Горный информационно-аналитический бюллетень, (6), 191–197.
[2] Бабаев, М. Ш., & Вохидов, Б. Р. (2022). Исследование технологии переработки техногенных отходов АО «НГМК». Ёш олимлар ахборотномаси, (1(4)), 26–31.
[3] Газалеева, Г. И., Мамонов, С. В., Братыгин, Е. В., & Клюшников, А. М. (2017). Проблемы и инновационные решения в обогащении техногенного сырья. Горный информационно-аналитический бюллетень, (1), 257–272.
[4] Исмагилов, М. М., Музафаров, А. М., Саттаров, Г. С., Хужакулов, Н. Б., & Сулаймонов, С. (2016). К вопросу методологии исследования техногенных отходов золотоизвлекательных заводов. Горный вестник Узбекистана, (3), 116–127.
[5] Goodall, W. R. (2008). Characterisation of mineralogy and gold deportment for complex tailings deposits using QEMSCAN®. Minerals Engineering, 21(6), 518–523. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.02.022
[6] Liipo, J. (2003). Characterization of the mode of occurrence of gold in Jokisivu pilot feed and products. Minerals Engineering, 16(11, Suppl. 1), 1317–1321. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2003.07.010
[7] Zhou, J., Jago, B., & Martin, C. (2004). Establishing the process mineralogy of gold ores (SGS Minerals Technical Bulletin No. 2004-03). SGS Lakefield Research Limited. SGS Technical Bulletin.

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

Rustamov, I. I., Majidova, I. I., Voxidov, B. R., & Boymurodov, N. A. (2026). GMZ-3 texnogen chiqindilarining granulometrik va mineralogik tarkibi hamda oltin va kumushning o‘lcham fraksiyalari bo‘yicha taqsimoti. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.32

UO‘K: 528.8:622.1

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.33

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

KON HUDUDLARIDA YER YUZASI DEFORMATSIYALARINI InSAR USULLARI BILAN MONITORING QILISHNING QIYOSIY TAHLILI



Botirov Shoxbos Soibjon o‘g‘li

Katta o‘qituvchi, Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Termiz, O‘zbekiston
E-mail: shoxbos.b@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-3045-4217
Science ID: MFR-0925-0068



Nomdorov Rustam Uralovich

Dotsent, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti, “Geologiya va konchilik ishi” kafedrasi, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: rustamnomdorov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-6987-8995
Science ID: FQD-0425-0028

Annotatsiya. *Kon hududlarida yer yuzasi deformatsiyalarini aniqlash va talqin qilishda interferometrik sintetik aperturali radar usullarining imkoniyatlari qiyosiy baholandi. Tadqiqot taqdim etilgan oltita tasvir, beshta amaliy misol guruhi va tekshirilgan ilmiy adabiyotlar tahliliga asoslandi. Berezniki kaliy tuzi koni va Lost Hills neft koni asosiy texnogen obyektlar sifatida, Bam zilzilasi, Rim shahar muhiti hamda Alyaska vulqonlari esa metodik qiyoslash uchun o‘rganildi. D-InSAR, doimiy sochuvchi nuqtalar interferometriyasi va kichik bazisli interferogrammalar vaqt qatorlari kuzatuv geometriyasi, kogerentlik, vaqt bo‘yicha qamrov va tekshirish talablari asosida solishtirildi. Faza–siljish bog‘lanishi va gorizontal harakatni e’tiborsiz qoldirish ta’siri bo‘yicha qayta hisoblanadigan analitik diagrammalar tuzildi. Shartli 56,6 va 236 mm to‘lqin uzunliklari uchun bir to‘liq faza sikli mos ravishda 28,3 va 118 mm radar yo‘nalishidagi siljishga tengligi hisoblandi. Qarash yo‘nalishidagi 5 mm gorizontal siljish vertikal harakat sifatida talqin qilinganda, 35° tushish burchagida 3,50 mm sistematik og‘ish yuzaga kelishi ko‘rsatildi. Tasvirlarni tekshirish ayrim sarlavhalar va obyekt nomlari orasida nomuvofiqlik mavjudligini aniqladi. Natijalar kon monitoringida radar yo‘nalishidagi siljishni vertikal cho‘kishdan ajratish, atmosfera va kogerentlik ta’sirini baholash hamda InSAR kuzatuvlarini GNSS va nivelirlash bilan tekshirish zarurligini asoslaydi. Hisobiy diagrammalar yangi dala o‘lchovlari yoki kon uchun tayyor xavf chegaralari sifatida talqin qilinmaydi.*

Kalit so‘zlar: *InSAR, kon hududi, yer yuzasi deformatsiyasi, cho‘kish, D-InSAR, doimiy sochuvchi nuqtalar, SBAS, kogerentlik, kuzatuv geometriyasi, geodezik monitoring.*

Received: 20.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ МЕТОДАМИ InSAR

Ботиров Шохбос Соибжон угли

Старший преподаватель, Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, Термез, Узбекистан

Номдоров Рустам Уралович

Доцент, доктор философии (PhD) по техническим наукам, кафедра «Геология и горное дело», Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Аннотация. *Проведена сравнительная оценка возможностей интерферометрической радиолокации с синтезированной апертурой для выявления и интерпретации деформаций земной поверхности на горнопромышленных территориях. Исследование основано на анализе шести предоставленных изображений, пяти групп практических примеров и проверенной научной литературы. Калийный рудник в Березниках и нефтяное месторождение Lost Hills рассмотрены как основные техногенные объекты; землетрясение в Баме, городская среда Рима и вулканы Аляски использованы для методического сопоставления. D-InSAR, интерферометрия постоянных рассеивателей и временные ряды малобазисных интерферограмм сопоставлены по геометрии наблюдений, когерентности, временному охвату и требованиям к верификации. Построены воспроизводимые аналитические диаграммы зависимости смещения от фазы и влияния неучтённого горизонтального движения. Для условных длин волн 56,6 и 236 мм полный фазовый цикл соответствует смещениям вдоль линии визирования 28,3 и 118 мм соответственно. Показано, что при угле падения 35° неучтённое горизонтальное смещение 5 мм в направлении горизонтальной проекции линии визирования вызывает систематическое отклонение оценки вертикального движения на 3,50 мм. Проверка изображений выявила несоответствия отдельных подписей и названий объектов. Результаты обосновывают необходимость разграничения смещения вдоль линии визирования и вертикального оседания, оценки атмосферных эффектов и когерентности, а также верификации InSAR посредством GNSS и нивелирования. Расчётные диаграммы не являются новыми полевыми измерениями или готовыми порогами опасности для конкретного рудника.*
Ключевые слова: *InSAR, горнопромышленная территория, деформация земной поверхности, оседание, D-InSAR, постоянные рассеиватели, SBAS, когерентность, геометрия наблюдений, геодезический мониторинг.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF InSAR METHODS FOR MONITORING GROUND SURFACE DEFORMATION IN MINING AREAS

Botirov Shoxbos Soibjon ugli

Senior Lecturer, Termez State University of Engineering and Agrotechnology, Termez, Uzbekistan

Nomdorov Rustam Uralovich

Associate Professor, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Department of Geology and Mining Engineering, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The capabilities of interferometric synthetic aperture radar for detecting and interpreting ground surface deformation in mining areas were comparatively assessed. The study examined six supplied images, five groups of application examples, and verified scientific literature. The Berezniki potash mine and Lost Hills oilfield were considered the principal industrial cases, while the Bam earthquake, the urban environment of Rome, and Alaskan volcanoes provided methodological comparisons. D-InSAR, persistent scatterer interferometry, and small-baseline time series were compared in terms of observation geometry, coherence, temporal coverage, and validation requirements. Reproducible analytical charts were developed to examine phase-to-displacement conversion and the effects of neglected horizontal motion. For illustrative wavelengths of 56.6 and 236 mm, a complete phase cycle corresponded to line-of-sight displacements of 28.3 and 118 mm, respectively. At a 35° incidence angle, a neglected horizontal displacement of 5 mm along the horizontal projection of the line of sight produced a 3.50 mm bias in the estimated vertical displacement. Image inspection revealed inconsistencies between some panel labels and the stated geographical objects. The findings support distinguishing line-of-sight displacement from vertical subsidence, evaluating atmospheric effects and coherence, and validating InSAR observations against GNSS and levelling measurements. The analytical charts represent neither new field observations nor operational hazard thresholds for a specific mine.*
Keywords: *InSAR, mining area, ground surface deformation, subsidence, D-InSAR, persistent scatterers, SBAS, coherence, observation geometry, geodetic monitoring.*

Kirish. Yer osti kon ishlarini olib borish, qazib olingan bo‘shliqlarning deformatsiyalanishi va suyuqlik chiqarish bilan bog‘liq bosim o‘zgarishlari yer yuzasida cho‘kish hamda differensial siljishlarni yuzaga keltirishi mumkin. Bunday jarayonlarning fazoviy qamrovi alohida geodezik nuqtalar oralig‘idan katta bo‘lganda, hududiy deformatsiya maydonini tavsiflash zarurati paydo bo‘ladi. Interferometrik sintetik aperturali radar — InSAR takroriy sun’iy yo‘ldosh tasvirlarining faza farqidan foydalanib, radar yo‘nalishidagi nisbiy siljishni baholash imkonini beradi. Ushbu xususiyat kon hududi, transport yo‘llari va unga tutash shahar infratuzilmasini birgalikda kuzatishda ahamiyatlidir (Gabriel et al., 1989; Rosen et al., 2000).

InSAR natijasining ilmiy qiymati rangli deformatsiya xaritasini olish bilan cheklanmaydi. Faza tarkibidagi deformatsiya, topografik qoldiq, atmosfera kechikishi va shovqin hissalarini ajratish, tayanch maydon barqarorligini tekshirish hamda o‘lchov geometriyasini to‘g‘ri talqin qilish talab etiladi. Shu sababli bitta interferogrammada ko‘ringan rang almashinishlarini bevosita vertikal cho‘kish yoki kelajakdagi avariya belgisi deb qabul qilish asosli emas (Hanssen, 2001).

Ilmiy adabiyotlar tahlili. Gabriel, Goldstein va Zebker (1989) differensial radar interferometriyasi yordamida kichik sirt siljishlarini keng maydonda kuzatish imkoniyatini ko‘rsatgan. Massonnet va hammualliflar (1993) Landers zilzilasi deformatsiya maydonini radar ma’lumotlari asosida xaritalashtirgan. Bu ishlar takroriy SAR tasvirlarining fazoviy o‘lchov vositasi sifatidagi salohiyatini namoyon etdi. Massonnet va Feigl (1998), shuningdek Rosen va hammualliflar (2000) usulning fizik asoslari, ishlov berish bosqichlari va qo‘llanish shartlarini tizimlashtirgan.

Ko‘p davrli tahlil usullarining rivojlanishi deformatsiya xaritasidan vaqt bo‘yicha monitoringga o‘tish imkonini berdi. Ferretti, Prati va Rocca (2001) uzoq tasvirlar qatorida barqaror sochuvchi nishonlardan foydalanish yondashuvini ishlab chiqqan. Berardino va hammualliflar (2002) kichik bazisli interferogrammalar tarmog‘i asosida siljish vaqt qatorlarini tiklash algoritmini taklif etgan. Hooper va hammualliflar (2004) tabiiy va vulqon relyeflaridagi barqaror piksellarni fazaviy xususiyatlar orqali ajratish imkoniyatini kengaytirgan. Bu uch yondashuvning birini tanlash hududning sirt qoplami va mavjud tasvirlar qatoriga bog‘liq.

Zebker va Villasenor (1992) interferometrik korrelyatsiyani kamaytiruvchi omillarni tavsiflagan; mazkur cheklov kon chiqindilari, o‘simlik, qor va faol o‘zgaruvchi sirtlarda ayniqsa muhimdir. Bekaert va hammualliflar (2015) troposfera tuzatish usullarini turli sharoitlarda qiyoslab, yordamchi ma’lumotlarning fazoviy va vaqt aniqligi bilan bog‘liq cheklovlarni ko‘rsatgan. Crosetto va hammualliflar (2016) doimiy sochuvchi nuqtalar interferometriyasining kuzatuv zichligi, sifat nazorati va amaliy talqin masalalarini umumlashtirgan. Demak, millimetr darajasidagi natija har qanday tasvir juftligi uchun avtomatik kafolat emas.

Konchilik misollarida Samsonov va Baryakh (2020) Berezniki hududidagi suv bosgan kaliy tuzi koni ustida RADARSAT-2 va Sentinel-1 ma’lumotlari yordamida cho‘kish jarayonini tadqiq etgan. Fielding va hammualliflar (1998) hamda Xu va hammualliflar (2001) Lost Hills va Belridge neft konlarida suyuqlik qazib olish bilan bog‘liq deformatsiyalarni baholagan. Ushbu ishlar kon hududidagi deformatsiya shaklini ishlab chiqarish va geomexanik ma’lumotlar bilan birgalikda talqin qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Boshqa geodinamik sharoitlar usulning talqin chegaralarini tushunishga yordam beradi. Funning va hammualliflar (2005) Bam zilzilasi uchun turli orbitadagi interferogrammalar va azimut siljishlarini birlashtirgan. Stramondo va hammualliflar (2008) Rimda interferometrik nuqtaviy tahlilni geotexnik ma’lumotlar bilan bog‘lagan. Lu va Dzurisin (2014) Alyaska–Aleut vulqonlari monitoringining imkoniyatlari va cheklovlarini yoritgan. Biroq bu obyektlardagi deformatsiya mexanizmlari kon ishlari oqibatidagi cho‘kishga to‘g‘ridan to‘g‘ri tenglashtirilmaydi.

Tadqiqotning maqsadi kon hududlari monitoringiga oid taqdim etilgan InSAR misollarini tekshirilgan adabiyotlar bilan qiyoslash, tasvirlardan chiqarilishi mumkin bo‘lgan xulosalar chegarasini belgilash hamda faza–siljish va kuzatuv geometriyasi ta’sirini qayta hisoblanadigan diagrammalar orqali baholashdan iborat. Ishning tahliliy hissasi kon, seysmik, shahar va vulqon misollarini yagona talqin mezonlari bo‘yicha

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

solishtirish hamda ularni kon monitoringiga ko‘chirish shartlarini ajratishdan iborat.

Materiallar va tadqiqot usullari. Tadqiqot kon hududlarida yer yuzasi deformatsiyalarini InSAR usullari yordamida kuzatishga oid ilmiy ishlarning qiyosiy tahlili hamda o‘lchov sezgirligini analitik baholash asosida bajarildi. Berezniki kaliy tuzi koni va Lost Hills neft konidagi deformatsion jarayonlar asosiy tadqiqot misollari sifatida ko‘rib chiqildi. Bam zilzilasi, Rim shahar hududi va Alyaska vulqonlariga oid natijalar esa turli geodinamik sharoitlarda interferometrik kuzatuv-larning imkoniyatlarini solishtirish uchun tahlil qilindi. Tasviriy materiallar tarkibidagi oltita rastr tasvir deformatsiya maydonlarining fazoviy xususiyatlari va ularni talqin qilish shartlari bo‘yicha o‘rganildi.

Ilmiy adabiyotlarni tanlashda InSAR usulining fizik asoslari, differensial va ko‘p davrli interferometrik algoritmlar, o‘lchov xatolarining manbalari hamda kon hududlaridagi amaliy tadqiqotlarga ustuvorlik berildi. Tanlangan 19 ta manba asosida usullarning qo‘llanish sharoitlari, kuzatuv natijalarining ishonchliligiga ta’sir etuvchi omillar va mustaqil geodezik tekshiruv talablari umumlashtirildi.

1-jadval

InSAR yondashuvlarini tanlash mezonlari va cheklovlari

Yondashuv	Ma’lumot va natija	Mos sharoit	Asosiy cheklov va manba
D-InSAR	Ikki yoki bir nechta tasvir; davrlar oralig‘idagi LOS maydoni	Hodisadan oldingi va keyingi kogerent juftlik	Atmosfera va topografik qoldiq; Gabriel et al. (1989), Rosen et al. (2000)
PSI	Uzoq tasvirlar qatori; barqaror nishonlar tezligi va vaqt qatori	Bino, inshoot va barqaror radar nishonlari mavjudligi	Nishon zichligi va faza modeli; Ferretti et al. (2001), Crosetto et al. (2016)
SBAS	Kichik vaqt va fazoviy bazisli juftliklar tarmog‘i	Yetarli kogerent juftliklar va bog‘langan vaqt tarmog‘i	Tarmoq uzilishi, fazani ochish va inversiya; Berardino et al. (2002)
Ko‘p geometriyali tahlil	Turli orbitalar va zaruratda GNSS yoki azimut siljishlari	Komponentlarni ajratish uchun yetarli mustaqil kuzatuv	Bitta LOS uch komponentni bermaydi; Wright et al. (2004)

Amaliy misollar obyekt turi, deformatsiya mexanizmi, kuzatuv davri, o‘lchov birligi, siljish komponenti va natijalarni tekshirish imkoniyati bo‘yicha qiyoslandi. Radar yo‘nalishidagi siljish bilan vertikal harakatni farqlashga, shuningdek, kuzatuv geometriyasi va tasvir legendasining tal-qinga ta’sirini baholashga alohida e’tibor qaratildi. Birlamchi SAR ma’lumotlari va raqamli siljish qatorlari mavjud bo‘lmaganligi sababli, tahlil e’lon qilingan natijalar va tasviriy materiallar doirasida olib borildi. Analitik hisoblar faza–siljish bog‘lanishini hamda gorizontal harakatni e’tiborsiz qoldirishning vertikal siljish bahosiga ta’sirini aniqlashga yo‘naltirildi.

Faza va radar yo‘nalishidagi siljish. Interferometrik fazaning umumiy tarkibi quyidagi konseptual ko‘rinishda ifodalandi (Hanssen, 2001; Rosen et al., 2000):

$$\Delta\varphi_{obs} = \Delta\varphi_{def} + \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_{orb} + \Delta\varphi_{noise} \quad (1)$$

Bu yerda $\Delta\varphi_{obs}$ — kuzatilgan faza farqi; $\Delta\varphi_{def}$ — deformatsiya hissasi; $\Delta\varphi_{topo}$ — topografik model qoldig‘i; $\Delta\varphi_{atm}$ — atmosfera hissasi; $\Delta\varphi_{orb}$ — orbita bilan bog‘liq qoldiq; $\Delta\varphi_{noise}$ — boshqa shovqinlar. Mazkur ajratish xatolar to‘liq yo‘qotilganini anglatmaydi, balki natijaga ta’sir qiluvchi tarkibiy qismlarni ko‘rsatadi.

$$|d_{LOS}| = \frac{\lambda|\Delta\varphi_{def}|}{4\pi} \quad (2)$$

Mazkur ifodada d_{LOS} sun’iy yo‘ldoshning kuzatish yo‘nalishi (Line of Sight — LOS) bo‘yicha yer yuzasi siljishini, λ esa radar signalining to‘lqin uzunligini ifodalaydi. Faza o‘zgarishi bilan siljish miqdori o‘rtasidagi bog‘liqlikni baholashda faza ishorasining dasturiy ta’minotda qabul qilingan konvensiyalarga bog‘liqligini hisobga olish maqsadida modul ko‘rinishidan foydalanildi. Hisoblash jarayonida C va L diapazonlari uchun mos ravishda $\lambda_C = 56.6$ mm va $\lambda_L = 236$ mm qiymatlari qabul qilindi. Ushbu parametrlar radar diapazonlarining to‘lqin uzunligi bo‘yicha farqlanishini tavsiflash va ularning siljishni aniqlashdagi xususiyatlarini qiyosiy baholash maqsadida tanlangan bo‘lib, tadqiqotda foydalanilgan tasvirlarning aniq sensori yoki ishlash chastotasi bilan bevosita bog‘lanmagan. Faza o‘zgarishi $\Delta\varphi$ ning qiymatlari 0 dan 2π gacha bo‘lgan oraliqda π/4 qadam bilan belgilandi. Hisoblash natijalarining aniqligini saqlash maqsadida olingan oraliq qiymatlar yaxlitlanmagan holda diagrammalarni shakllantirishda foyda-lanilgan ma’lumotlar to‘plamiga kiritildi.

Kuzatuv geometriyasi va hisobiy og‘ish.

Sun'iy yo'ldosh radar interferometriyasida bitta orbital kuzatuv geometriyasi asosida aniqlanadigan siljish yer yuzasining uch o'lchamli harakat vektorini radar signalining kuzatish yo'nalishiga (Line of Sight — LOS) proyeksiyalash orqali ifodalanadi. Bunda o'lchangan siljish qiymati yer yuzasidagi harakatning sharqiy, shimoliy va vertikal komponentlariga bog'liq bo'lib, yagona kuzatuv geometriyasi asosida ushbu komponentlarni bir-biridan mustaqil ravishda aniqlash imkoniyati cheklangan. Radar kuzatish yo'nalishini tavsiflovchi birlik vektorning sharqiy, shimoliy va vertikal yo'nalishlardagi komponentlari mos ravishda l_E, l_N va l_U bilan belgilansa, sun'iy yo'ldoshning kuzatish yo'nalishi bo'yicha siljish miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi (Wright et al., 2004):

$$d_{LOS} = l_E u_E + l_N u_N + l_U u_U \quad (3)$$

Radar signalining tushish burchagi θ mahalliy vertikal yo'nalishga nisbatan aniqlanganda, sun'iy yo'ldoshning kuzatish yo'nalishi bo'yicha qayd etilgan siljish yer yuzasi harakatining gorizontal va vertikal komponentlari orqali ifodalanadi. Bunda u_H — gorizontal siljishning radar kuzatish yo'nalishi gorizontal proyeksiyasiga mos komponentini, u_U esa vertikal siljish komponentini tavsiflaydi. Ushbu komponentlarning radar kuzatish yo'nalishidagi umumiy siljishga qo'shgan hissasi $d_{LOS} = u_H sin\theta + u_U cos\theta$ munosabat orqali aniqlanadi. Agar hisoblash jarayonida gorizontal siljish komponenti e'tiborga olinmasa, ya'ni $u_H = 0$ deb faraz qilinsa, vertikal siljishning baholangan qiymatida sistematik og'ish yuzaga keladi. Mazkur og'ish gorizontal siljish miqdori va radar signalining tushish burchagiga bog'liq bo'lib, quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\hat{u}_U = \frac{d_{LOS}}{cos\,\theta}; \quad \delta u_U = \hat{u}_U - u_U = u_H\, tan\,\theta \quad (4)$$

Mazkur tadqiqotda kuzatuv geometriyasining vertikal siljishni baholash aniqligiga ta'sirini aniqlash maqsadida analitik sezgirlik hisoblari bajarildi. Hisoblashlarda gorizontal siljish komponenti uchun $u_H = 0$, 5 va 10 mm, radar signalining tushish burchagi uchun esa $\theta = 20°$, 25°, 30°, 35°, 40° va 45° qiymatlari qabul qilindi. Bunda u_H parametri gorizontal siljish vektorining to'liq modulini emas, balki ushbu vektorning radar kuzatish yo'nalishi gorizontal proyeksiyasiga mos keluvchi komponentini ifodalaydi. Tanlangan parametrlar asosida vertikal siljishni aniqlashda gorizontal harakatni hisobga olmaslik natijasida yuzaga keladigan sistematik og'ishning tushish burchagiga bog'liqligi baholandi. Olingan natijalar bevosita geodezik kuzatuvlar yoki eksperimental o'lchash ma'lumotlari sifatida emas, balki radar kuzatuv geometriyasining siljish komponentlarini baholashga ta'sirini nazariy jihatdan tavsiflovchi analitik hisoblash natijalari sifatida talqin qilindi.

Tasvirlar va diagrammalarning daliliy maqomi. Tadqiqotda foydalanilgan rastr xaritalar interferometrik tasvirlarda aks etgan deformatsiya xususiyatlarini aniqlash va ularni o'zaro qiyoslash maqsadida sifat jihatidan tahlil qilindi. Bunda tasvirlarning rangli ifodalanishi, deformatsiya zonalarining fazoviy taqsimlanishi va kuzatilgan o'zgarishlarning umumiy xususiyatlariga e'tibor qaratildi. Rastr tasvirlarda aks etgan rang qiymatlari asosida yer yuzasi siljishining maksimal miqdori, deformatsiya tezligi yoki o'lchash natijalarining statistik aniqligi hisoblanmadi. Chunki tahlil qilingan tasvirlar uchun yagona o'lchov shkalasi va o'zaro taqqoslanadigan miqdoriy ma'lumotlar mavjud emas. Shu sababli turli interferometrik tasvirlarning rang intensivligi asosida bevosita miqdoriy qiyoslash amalga oshirilmadi.

Tadqiqot doirasida shakllantirilgan yangi chiziqli diagrammalar (2) va (4) matematik ifodalar asosida bajarilgan analitik hisoblash natijalariga tayangan holda ishlab chiqildi. Mazkur diagrammalar Microsoft Word dasturining tahrirlash imkoniyatiga ega Chart obyektlari ko'rinishida shakllantirilib, ularning har biriga hisoblash natijalarini o'z ichiga olgan elektron jadvallar biriktirildi. Bu esa diagrammalardagi miqdoriy bog'liqliklarni tekshirish, boshlang'ich parametrlarni o'zgartirish va hisoblash natijalarini qayta tahlil qilish imkonini beradi. Dastlabki materiallarda mavjud bo'lgan rastr grafiklar esa ularning asl vizual tuzilishini saqlash maqsadida o'zgartirilmagan holda foydalanildi.

Natijalar. **Amaliy misollarni qiyosiy tahlil qilish**. Sun'iy yo'ldosh radar interferometriyasining yer yuzasi deformatsiyalarini aniqlashdagi qo'llanish xususiyatlarini baholash maqsadida turli geodinamik va texnogen sharoitlarni ifodalovchi beshta obyekt guruhi qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot uchun tanlangan Berezniki va Lost Hills hududlari

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

konchilik hamda yer osti tabiiy resurslarini qazib olish faoliyati natijasida yuzaga keladigan texnogen deformatsiyalarni tavsiflovchi misollar sifatida ko‘rib chiqildi. Bam, Rim va Alyaska hududlari esa mos ravishda zilzila bilan bog‘liq koseysmik deformatsiyalar, urbanizatsiyalashgan hududlardagi geotexnik jarayonlar hamda vulqon faolligi ta’sirida shakllanadigan yer yuzasi siljishlarini o‘rganish nuqtayi nazaridan tahlil qilindi.

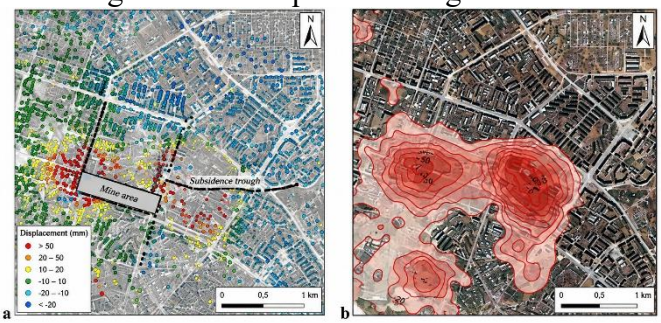
Mazkur obyektlarning qiyosiy tahlili radar interferometriyasi yordamida qayd etiladigan yer yuzasi deformatsiyalari turli tabiiy va antropogen jarayonlar natijasida shakllanishi mumkinligini ko‘rsatadi. Xususan, interferometrik kuzatuvlarda o‘xshash fazoviy siljish xususiyatlari qayd etilgan taqdirda ham, ularni yuzaga keltiruvchi fizik-geologik mexanizmlar, deformatsiyaning rivojlanish sharoitlari va dinamik xususiyatlari bir-biridan sezilarli darajada farqlanishi mumkin. Shu bois interferometrik ma’lumotlarni talqin qilishda hududning geologik tuzilishi, geodinamik sharoiti, texnogen ta’sir omillari va deformatsiyaning ehtimoliy kelib chiqish mexanizmlarini kompleks hisobga olish muhim ahamiyat kasb etadi. Tanlangan obyektlar bo‘yicha o‘tkazilgan qiyosiy tahlilning umumlashtirilgan natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Amaliy obyektlar bo‘yicha dalillar va talqin chegaralari

Obyekt	Ilmiy dalil	Taqdim etilgan tasvirning cheklovi	Tekshirilgan qiyosiy manba
Berezniki	Suv bosgan kaliy tuzi koni ustidagi deformatsiya monitoringi	Dastlabki panellarda to‘liq birlik, davr va tayanch yo‘q	Samsonov & Baryakh (2020)
Bam	Turli geometriyalar asosida koseysmik komponentlarni ajratish	−20 va +30 sm yozuvlarining komponenti noma’lum	Funning et al. (2005)
Lost Hills	Neft qazib olish bilan bog‘liq cho‘kish; mustaqil nashrda 105 kunda 15 sm	Kompozitdagi vulqon nomlari Lost Hills talqiniga mos emas	Xu et al. (2001); Werner et al. (n.d.)
Rim	Shahar nishonlari va geotexnik sharoitni birgalikda baholash	Rang legendasi va kuzatuv sanalari yo‘q	Stramondo et al. (2008)
Alyaska	Vulqonlarda deformatsiya maydonlarini kuzatish	Turli rang shkalalari o‘zaro bir xil maksimumni bermaydi	Lu & Dzurisin (2014)

Berezniki kon hududida deformatsiya maydonining fazoviy xususiyatlari. Berezniki kon hududiga oid interferometrik tasvirlarni tahlil qilish natijasida yer yuzasi deformatsiyalarining fazoviy taqsimlanishida sezilarli nomutanosibliklar mavjudligi kuzatildi. Xususan, taqdim etilgan tasvirlarda turli rangli sohalar va izoliniyalar orqali ifodalangan lokal deformatsiya zonalari ajralib turadi (1-rasm). Mazkur zonalarning hudud bo‘ylab notekis joylashuvi deformatsiya jarayonlarining fazoviy jihatdan bir jinsli emasligini ko‘rsatadi. Tasvirlarning ayrim qismlarida izoliniyalarga tegishli sonli qiymatlar aks ettirilgan bo‘lsa-da, ularning o‘lchov birliklari, kuzatuv davri va hisoblashda foydalanilgan tayanch nuqtalar haqidagi ma’lumotlar yetarli darajada keltirilmagan. Shu sababli ushbu qiymatlarni millimetr yoki santimetr birliklaridagi ishonchli cho‘kish ko‘rsatkichlari sifatida talqin qilish hamda ular asosida deformatsiyaning mutlaq miqdorini aniqlash ilmiy jihatdan asoslanmagan. O‘tkazilgan sifat tahlili Berezniki kon hududida deformatsiya maydonining fazoviy o‘zgaruvchanligini tavsiflash imkonini berdi. Olingan natijalar lokal deformatsiya zonalarining chegaralari, siljishlarning fazoviy taqsimlanishi va ularning rivojlanish xususiyatlarini batafsil o‘rganishda kuzatuv nuqtalarining yetarli zichligini ta’minlash, shuningdek, interferometrik ma’lumotlarni mustaqil geodezik o‘lchash natijalari bilan birgalikda tahlil qilish zarurligini ko‘rsatadi.

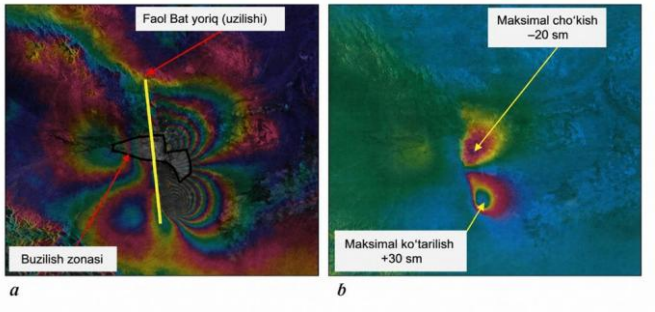


1-rasm. Berezniki hududidagi deformatsiya maydonining nuqtaviy (a) va izoliniyali (b) ko‘rinishlari.

Taqdim etilgan dastlabki materiallarda Berezniki kon hududida yuzaga kelgan suv bosish hodisasi 2007-yil bilan bog‘langan bo‘lsa-da, ilmiy manbalarni qiyosiy tahlil qilish ushbu jarayonning boshlanish davri va keyingi geodinamik oqibatlarini xronologik jihatdan farqlash zarurligini ko‘rsatadi. Xususan, Samsonov va Baryakh (2020) tadqiqotida

Berezniki-1 koniga suv kirishi 2006-yil 17-oktabrda boshlangani, 2007-yilda esa kon hududida yirik o‘pirilish hodisasi sodir bo‘lgani qayd etilgan. Mazkur ma’lumotlar asosida suvning yer osti kon lahimlariga kirib borishi va uning oqibatida yuzaga kelgan yer yuzasi deformatsiyalari bilan bog‘liq o‘pirilish hodisasi o‘zaro aloqador, biroq xronologik jihatdan alohida jarayonlar sifatida baholandi. Hududdagi deformatsiya jarayonlarini o‘rganishga bag‘ishlangan RADARSAT-2 va Sentinel-1 ma’lumotlariga asoslangan keyingi tadqiqotdan dastlabki interferometrik xaritalarning bevosita manbasi sifatida emas, balki Berezniki kon hududidagi geodinamik o‘zgarishlarni mustaqil ilmiy kuzatuvlar asosida tavsiflovchi manba sifatida foydalanildi. Bunday yondashuv dastlabki tasvirlarning kelib chiqishi bilan keyingi ilmiy tadqiqotlarda aniqlangan natijalarni o‘zaro farqlash hamda deformatsiya jarayonlarining rivojlanishini tarixiy va geodinamik jihatdan izchil talqin qilish imkonini beradi.

Bam zilzilasi misolida yer yuzasi siljish komponentlarining interferometrik ifodalanishi. Bam zilzilasi hududiga oid interferometrik kompozit tasvirni tahlil qilish natijasida yer yuzasidagi deformatsiya jarayonlarini aks ettiruvchi zich interferometrik chiziqlar, tektonik yorilish bilan bog‘liq hududlar hamda siljish miqdorini tavsiflovchi sonli belgilashlar mavjudligi aniqlandi (2-rasm). Xususan, tasvirda −20 sm va +30 sm qiymatlari bilan ifodalangan deformatsiya sohalari ajratib ko‘rsatilgan. Biroq mazkur kompozit tasvirda radar kuzatuvining orbital geometriyasi, sun’iy yo‘ldoshning qarash yo‘nalishi, signalning tushish burchagi hamda uch o‘lchamli siljish vektorini alohida komponentlarga ajratish metodikasi to‘g‘risidagi ma’lumotlar yetarli darajada keltirilmagan. Shu sababli tasvirda aks ettirilgan sonli qiymatlarni bevosita vertikal siljishning mutlaq minimum va maksimum ko‘rsatkichlari sifatida talqin qilish ilmiy jihatdan asoslanmagan. Ushbu tadqiqotda mazkur qiymatlar dastlabki tasvirga tegishli annotatsion ma’lumotlar sifatida saqlanib, ularning fizik mazmuni mustaqil geodezik o‘lchashlar yoki qo‘shimcha interferometrik hisoblashlar orqali tasdiqlangan natijalar sifatida baholanmadi. Mazkur holat radar interferometriyasi yordamida aniqlangan deformatsiyalarni talqin qilishda kuzatuv geometriyasini hisobga olish hamda radar qarash yo‘nalishi bo‘yicha o‘lchangan siljishlarni vertikal va gorizontal komponentlardan farqlash muhimligini ko‘rsatadi.



2-rasm. Bam hududiga oid interferometrik kompozit.

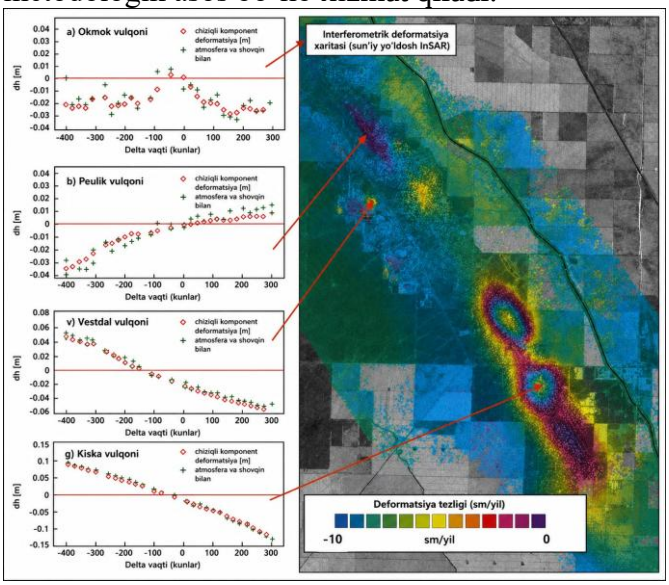
Funning va hammualliflar (2005) tomonidan 2003-yil 26-dekabrda Eronning Bam hududida sodir bo‘lgan zilzila natijasida yuzaga kelgan yer yuzasi deformatsiyalarini o‘rganish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotda radar interferometriyasining ko‘p geometriyali kuzatuv imkoniyatlaridan foydalanilgan. Mazkur tadqiqotda sun’iy yo‘ldoshning ko‘tariluvchi va pasayuvchi orbitalarida olingan interferometrik ma’lumotlar radar tasvirlaridagi azimut yo‘nalishi bo‘yicha siljishlarni baholash natijalari bilan birlashtirilib, yer yuzasi harakatining uch o‘lchamli komponentlarini aniqlash amalga oshirilgan. Ushbu yondashuv yagona orbital kuzatuv geometriyasida olingan radar qarash yo‘nalishi (LOS) bo‘yicha siljish ma’lumotlari asosida yer yuzasi harakatining sharqiy, shimoliy va vertikal komponentlarini bir-biridan mustaqil ravishda aniqlash imkoniyati cheklanganligini ko‘rsatadi. Shu nuqtayi nazardan, Bam zilzilasi bo‘yicha olingan ilmiy natijalar konchilik faoliyati ta’sirida yuzaga keladigan yer yuzasi cho‘kishlarining fizik mexanizmlarini bevosita izohlash uchun emas, balki deformatsiya komponentlarini aniqlashda turli orbital geometriyalardagi radar kuzatuvlarini birlashtirishning metodologik ahamiyatini asoslash maqsadida qiyosiy misol sifatida ko‘rib chiqildi. Bunday yondashuv interferometrik o‘lchash natijalarini talqin qilishda kuzatuv geometriyasiga bog‘liq cheklovlarni hisobga olish va ko‘p yo‘nalishli radar ma’lumotlaridan foydalanish zaruratini ilmiy jihatdan asoslash imkonini beradi.

Lost Hills hududiga oid interferometrik

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

kompozit tasvirning muvofiqligini baholash. Dastlabki tadqiqot materiallarida Lost Hills hududidagi yer yuzasi deformatsiyalarini tavsiflovchi misol sifatida taqdim etilgan kompozit tasvirning tarkibiy elementlari tahlil qilindi. Mazkur tasvirning o‘ng qismida deformatsiyalarning fazoviy taqsimlanishini ifodalovchi xarita, chap qismida esa vaqt bo‘yicha o‘zgarishlarni aks ettiruvchi to‘rtta grafik joylashtirilgan (3-rasm). Grafik panellaridagi yozuvlarni o‘rganish natijasida ularda Lost Hills hududiga emas, balki Alyaskadagi Okmok, Peulik, Westdahl va Kiska vulqonlariga tegishli geografik nomlar keltirilganligi aniqlandi. Bu holat kompozit tasvirning umumiy sarlavhasi bilan uning tarkibidagi grafik panellarda ko‘rsatilgan tadqiqot obyektlari o‘rtasida mazmuniy nomuvofiqlik mavjudligini ko‘rsatadi. Shuningdek, grafiklarda aks ettirilgan ma’lumotlarning dastlabki manbasi, kuzatuv davri, vaqt shkalasi va koordinata qiymatlari to‘g‘risida yetarli ma’lumotlarning mavjud emasligi ularning miqdoriy ishonchliligini mustaqil tekshirish imkoniyatini cheklaydi. Shu sababli mazkur grafiklarda ifodalangan vaqt qatorlari raqamlashtirilmadi, Lost Hills hududidagi deformatsiya jarayonlarini tavsiflovchi bevosita kuzatuv natijalari sifatida qabul qilinmadi hamda yangi tahrirlanadigan diagrammalarga ko‘chirilmadi. Aniqlangan nomuvofiqlik interferometrik tadqiqotlarda foydalaniladigan kartografik va grafik materiallarning kelib chiqish manbalarini tekshirish, tasvir annotatsiyalarining tadqiqot obyektiga muvofiqligini baholash hamda turli hududlarga tegishli kuzatuv natijalarini o‘zaro farqlash muhimligini ko‘rsatadi.

Lost Hills neft koni hududida kuzatilgan yer yuzasi deformatsiyalari mustaqil ilmiy tadqiqotlar natijalari asosida tahlil qilindi. Xususan, Xu va hammualliflar (2001) tomonidan olib borilgan tadqiqotda 1995-yil 5-noyabrdan 1996-yil 17-fevralgacha bo‘lgan 105 kunlik kuzatuv davrida konning markaziy qismida yer yuzasining 15 sm gacha cho‘kishi aniqlangan. Mazkur miqdoriy ko‘rsatkich bevosita ushbu ilmiy nashrda keltirilgan tadqiqot natijalariga asoslangan bo‘lib, dastlabki materiallarda taqdim etilgan 3-rasmdan hisoblab olinmagan. Fielding va hammualliflar (1998) tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotlarda esa sun’iy yo‘ldosh radar kuzatuvlari yordamida neft konlarida yuzaga keladigan jadal deformatsiya jarayonlarini aniqlash va ularning fazoviy xususiyatlarini baholash imkoniyatlari o‘rganilgan. Shuningdek, GAMMA kompaniyasi mutaxassislari Werner va hammualliflar (n.d.) tomonidan RADARSAT-1 sun’iy yo‘ldoshining 28 ta radar tasviri asosida 2002–2004-yillar oralig‘idagi yer yuzasi siljishlarini ko‘p bazisli interferometrik tahlil qilish va deformatsiyalarning vaqt qatorlarini shakllantirishga oid amaliy misol taqdim etilgan. Mazkur tadqiqotlar radar interferometriyasining neft qazib olish hududlarida yuzaga keladigan deformatsiya jarayonlarini aniqlash, ularning vaqt davomida rivojlanishini kuzatish va fazoviy taqsimlanishini baholashdagi imkoniyatlarini ilmiy jihatdan tavsiflaydi. Shu bilan birga, interferometrik kuzatuvlar asosida shakllantirilgan deformatsiya vaqt qatorlarini uglevodorodlarni qazib olish hajmi, qatlam bosimining o‘zgarishi va boshqa ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari bilan birgalikda tahlil qilish yer yuzasi siljishlari hamda konni ekspluatatsiya qilish jarayonlari o‘rtasidagi ehtimoliy bog‘liqliklarni aniqlash uchun muhim metodologik asos bo‘lib xizmat qiladi.

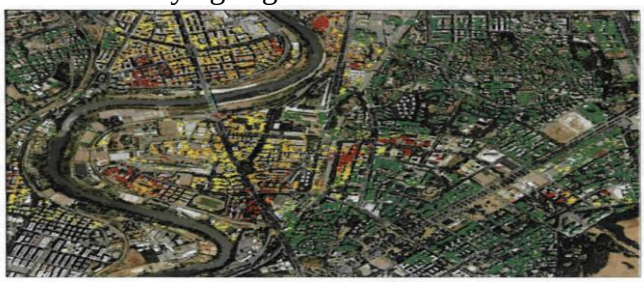


3-rasm. Boshlang‘ich hujjatda Lost Hills deb berilgan kompozit.

Rim va Alyaska hududlariga oid interferometrik kuzatuvlarning metodologik ahamiyati. Rim shahri hududiga oid interferometrik xaritani tahlil qilish natijasida radar kuzatuv nuqtalarining shahar infratuzilmasi obyektlari, xususan, bino va inshootlar hamda boshqa barqaror radar qaytaruvchi yuzalar bo‘ylab

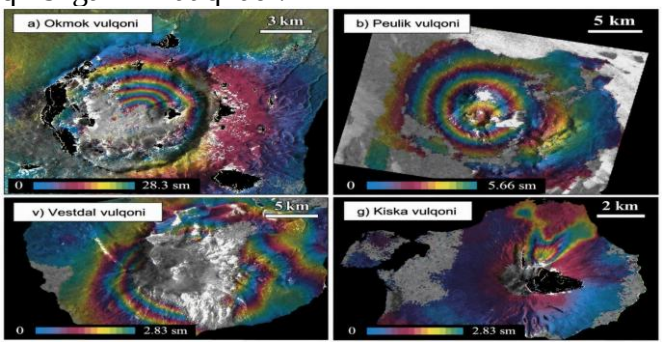
zich taqsimlanganligi kuzatildi (4-rasm). Mazkur fazoviy taqsimlanish urbanizatsiyalashgan hudud-larda sun'iy yo'ldosh radar interferometriyasi yordamida yer yuzasi va muhandislik inshoot-larining deformatsiyalarini kuzatish imkoniyatlarini namoyon etadi. Biroq taqdim etilgan xaritada rangli belgilarning miqdoriy mazmunini izohlovchi legenda, radar kuzatuvlarining aniq davri hamda siljishlarni hisoblashda foydalanilgan tayanch nuqta to'g'risidagi ma'lumotlar mavjud emas. Shu sababli xaritada aks ettirilgan rangli nuqtalarga deformatsiya tezligining aniq miqdoriy qiymatlari biriktirilmadi va ular mustaqil tasdiqlangan geodezik o'lchash natijalari sifatida talqin qilinmadi.

Stramondo va hammualliflar (2008) tomo-nidan Rim shahri misolida olib borilgan tadqiqotda interferometrik nuqtaviy nishonlarni tahlil qilish (Interferometric Point Target Analysis — IPTA) usuli asosida olingan natijalar hududning geotexnik va litostratigrafik xususiyatlarini tavsiflovchi ma'lumotlar bilan qiyosiy o'rganilgan. Bunday kompleks yondashuv radar interferometriyasi yordamida aniqlangan yer yuzasi siljishlarini faqat fazoviy deformatsiya ko'rsatkichlari sifatida emas, balki hududning muhandislik-geologik sharoitlari bilan o'zaro bog'liq jarayonlar sifatida baholash imkonini beradi. Xususan, deformatsiya kuzatilgan zonalarning geologik tuzilishi, grunt qatlamlarining litologik tarkibi va geotexnik xususiyatlarini hisobga olish yer yuzasi siljishlarining ehtimoliy sabablarini aniqlash hamda ularning muhandislik inshootlari barqarorligiga ta'sirini baholashda muhim ahamiyatga ega.



4-rasm. Rim shahar hududidagi rangli kuzatuv nuqtalari xaritasi.

Mazkur metodologik yondashuv konchilik faoliyati olib borilayotgan hududlarga tutash shahar infratuzilmasini monitoring qilishda ham qo'llanishi mumkin. Bunda interferometrik kuzatuv natijalarini hududning geologik tuzilishi, yer osti kon lahimlarining joylashuvi va mustaqil geodezik o'lchash ma'lumotlari bilan birgalikda tahlil qilish deformatsiya jarayonlarini yanada asosli talqin qilishga xizmat qiladi.



5-rasm. Okmok, Peulik, Westdahl va Kiska vulqonlariga oid interferometrik tasvirlar.

Alyaska hududidagi vulqon faolligi bilan bog'liq yer yuzasi deformatsiyalarini tavsiflovchi interferometrik kompozit tasvirda Okmok, Peulik, Westdahl va Kiska vulqonlari uchun radar interferometriyasi asosida aniqlangan fazaviy o'zgarishlarning fazoviy taqsimlanishi aks ettirilgan (5-rasm). Mazkur tasvirlarda kuzatiladigan interfe-rometrik rang sikllari radar signalining faza farqlari bilan bog'liq bo'lib, ular yer yuzasida sodir bo'lgan deformatsiya jarayonlarining fazoviy xususiyat-larini sifat jihatidan baholash imkonini beradi. Kompozit tasvirning quyi qismida joylashgan rang shkalalarida 28,3; 5,66 va 2,83 sm qiymatlari keltirilgan bo'lib, ushbu ko'rsatkichlar tasvirlarni ifodalashda qo'llanilgan rang shkalalarining miqdoriy parametrlarini tavsiflaydi. Biroq interfe-rometrik ma'lumotlarning to'liq legendasi, radar kuzatuv geometriyasi, kuzatuv davri hamda faza noaniqliklarini bartaraf etish (phase unwrapping) jarayoniga oid ma'lumotlar yetarli bo'lmaganligi sababli mazkur qiymatlarni alohida vulqon hududlarida qayd etilgan maksimal siljish miqdori yoki deformatsiyaning yillik tezligi sifatida talqin qilish ilmiy jihatdan asoslanmagan. Shuningdek, turli interferometrik tasvirlarda kuzatiladigan rang sikllari sonini bevosita taqqoslash orqali deformatsiya intensivligi yoki siljish miqdori haqida miqdoriy xulosa chiqarish mumkin emas. Chunki bunday baholash radar signalining to'lqin uzunligi, interferometrik fazaning siljishga aylantirilish koeffitsiyenti, tasvirlash shkalasi va kuzatuv geometriyasining o'zaro muvofiqligini talab etadi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Shu sababli ushbu tadqiqotda Alyaska vulqonlariga oid interferometrik tasvirlar deformatsiya jarayonlarining fazoviy taqsimlanishini tavsiflovchi sifat ko‘rsatkichlari sifatida tahlil qilinib, ular asosida mustaqil miqdoriy siljish qiymatlari hisoblanmadi.

Lu va Dzurisin (2014) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda vulqon faolligi natijasida yuzaga keladigan yer yuzasi deformatsiyalarini aniqlash va baholashda interferometrik kuzatuvlarning vaqt bo‘yicha ketma-ketligini tahlil qilish, yer yuzasi qoplamining fizik xususiyatlarini hisobga olish hamda radar interferometriyasi natijalarini mustaqil geofizik kuzatuv ma’lumotlari bilan kompleks ravishda o‘rganishning ahamiyati asoslab berilgan. Mazkur yondashuv vulqon hududlarida qayd etilgan deformatsiya jarayonlarining fazoviy va vaqt bo‘yicha rivojlanish xususiyatlarini aniqlash, shuningdek, kuzatilgan siljishlarning ehtimoliy geofizik sabablarini izohlash imkonini beradi. Hooper va hammualliflar (2004) tomonidan ishlab chiqilgan metodologik yondashuv esa tabiiy relyef sharoitida radar signalini barqaror qaytaruvchi nuqtalarni ajratish va ulardan interferometrik kuzatuvlarda foydalanish imkoniyatlarini ko‘rsatadi. Ushbu tadqiqotlarning qiyosiy tahlili konchilik faoliyati olib borilayotgan hududlarda radar interferometriyasi asosida deformatsiya monitoringini tashkil etishdan avval tabiiy radar qaytaruvchi nishonlarning fazoviy zichligi, signal kogerentligining saqlanish darajasi hamda yer yuzasi qoplamining interferometrik o‘lchashlarga ta’sirini baholash zarurligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, vulqon faolligi va konchilik faoliyati natijasida yuzaga keladigan deformatsiyalar turli fizik-geologik mexanizmlar bilan bog‘liq ekanligi inobatga olinib, vulqon hududlarida aniqlangan siljish xususiyatlari kon maydonlaridagi cho‘kish jarayonlarining bevosita belgisi sifatida talqin qilinmadi. Mazkur qiyosiy yondashuvdan turli geodinamik sharoitlarda interferometrik kuzatuvlarning metodologik imkoniyatlari va cheklovlarini baholash maqsadida foydalanildi.

Faza sezgirligi bo‘yicha analitik hisoblash natijalari. Radar interferometriyasida faza o‘zgarishi va sun’iy yo‘ldoshning kuzatish yo‘nalishi bo‘yicha yer yuzasi siljishi o‘rtasidagi matematik bog‘liqlikni baholash maqsadida C va L diapazonlari uchun qabul qilingan to‘lqin uzunliklari asosida analitik hisoblashlar amalga oshirildi. Hisoblash natijalari interferometrik fazaning bir to‘liq 2π siklga o‘zgarishi C diapazoni uchun qabul qilingan $\lambda_C = 56.6$ mm to‘lqin uzunligida 28,3 mm, L diapazoni uchun qabul qilingan $\lambda_L = 236$ mm to‘lqin uzunligida esa 118 mm radar kuzatish yo‘nalishidagi siljishga mos kelishini ko‘rsatdi (3-jadval, 6-rasm). Mazkur bog‘liqlik radar interferometriyasida faza o‘zgarishining siljish miqdoriga aylantirilishi signalning to‘lqin uzunligiga bevosita bog‘liq ekanligini ifodalaydi. Xususan, fazani aniqlashdagi noaniqlik har ikkala diapazon uchun bir xil deb faraz qilinganda, L diapazonida hisoblangan siljish noaniqligi C diapazoniga nisbatan taxminan 4,17 baravar yuqori bo‘lishi aniqlandi. Ushbu nisbat qabul qilingan radar to‘lqin uzunliklarining o‘zaro nisbatidan kelib chiqib, faza o‘zgarishining siljish qiymatiga aylantirilishidagi matematik sezgirlik farqini tavsiflaydi. Biroq mazkur natijani radar tizimlarining umumiy o‘lchash aniqligi yoki muayyan chastota diapazonining boshqa diapazonga nisbatan mutlaq ustunligi sifatida baholash mumkin emas. Chunki interferometrik o‘lchashlarning amaliy aniqligi radar signalining to‘lqin uzunligi bilan bir qatorda faza shovqini, interferometrik kogerentlik, atmosfera ta’siri, kuzatuv geometriyasi, fazani ochish algoritmlarining ishonchliligi hamda yer yuzasi qoplamining xususiyatlariga ham bog‘liq. Shu sababli olingan hisobiy natijalar C va L diapazonlarining faza–siljish bog‘liqligi bo‘yicha nazariy sezgirligini qiyosiy baholovchi ko‘rsatkichlar sifatida talqin qilindi.

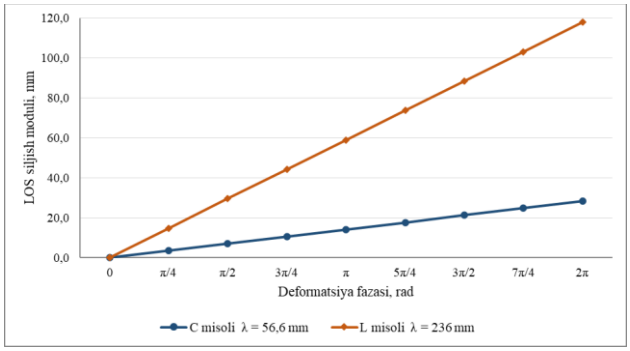
3-jadval

Faza–siljish bog‘lanishining hisobiy qiymatlari

Faza, rad	C misoli λ = 56,6 mm uchun |dLOS|, mm	L misoli λ = 236 mm uchun |dLOS|, mm
0	0,000	0,000
π/2	7,075	29,500
π	14,150	59,000
3π/2	21,225	88,500
2π	28,300	118,000

Radar interferometriyasida fazani aniqlashdagi qoldiq xatolikning yer yuzasi siljishini baholash natijalariga ta’sirini miqdoriy jihatdan tavsiflash maqsadida qo‘shimcha analitik hisoblashlar amalga oshirildi. Hisoblashlarda qoldiq faza xatosining shartli qiymati 0,1 rad deb qabul qilinib, (2) matematik ifoda asosida uning sun’iy

yo‘ldoshning kuzatish yo‘nalishi (LOS) bo‘yicha siljish miqdoriga ta’siri baholandi. Olingan natijalarga ko‘ra, mazkur faza xatosi C diapazoni uchun qabul qilingan to‘lqin uzunligida taxminan 0,45 mm, L diapazoni uchun esa 1,88 mm siljish xatosiga mos kelishi aniqlandi. Ushbu hisob-lashlarda har ikkala diapazon uchun qoldiq faza xatosi bir xil deb faraz qilingan bo‘lib, natijalar radar to‘lqin uzunligining faza xatoligini siljish qiymatiga aylantirishdagi ta’sirini nazariy jihatdan ifodalaydi. Biroq real interferometrik kuzatuvlarda faza xatolarining shakllanishi atmosfera va ionosferadagi elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish sharoitlari, yer yuzasi qoplamining fizik xususiyatlari, interferometrik kogerentlik darajasi hamda radar sensorining texnik parametrlariga bog‘liq holda farqlanishi mumkin. Xususan, uzunroq radar to‘lqinlari ayrim tabiiy sirtlarda, jumladan, o‘simlik qoplami mavjud hududlarda vaqt bo‘yicha kogerentlikning nisbatan yaxshiroq saqlanishiga imkon berishi mumkin. Biroq ushbu xususiyat uzun to‘lqinli radar tizimlarining barcha atmosfera va ionosfera ta’sirlariga nisbatan kamroq sezgir ekanligini anglatmaydi. Shu sababli radar diapazonlarining deformatsiyalarni aniqlashdagi samaradorligini baholashda faza–siljish bog‘liqligi bilan bir qatorda kuzatuv muhitining xususiyatlari, signalning tarqalish sharoitlari va faza xatolarining shakllanish mexanizmlarini kompleks hisobga olish zarur.



6-rasm. Faza va LOS siljishi orasidagi hisobiy bog‘lanish (Muallif ishlanmasi).

Gorizontal siljish komponentining vertikal deformatsiyani baholashga ta’siri. Radar interferometriyasi yordamida aniqlangan yer yuzasi siljishlarini vertikal deformatsiya komponentiga aylantirishda gorizontal harakatning hisobga olinmasligi natijasida yuzaga keladigan sistematik og‘ishlarni baholash maqsadida turli gorizontal siljish qiymatlari va radar signalining tushish burchaklari uchun analitik hisoblashlar bajarildi. Hisoblash natijalariga ko‘ra, gorizontal siljish komponenti nolga teng bo‘lgan sharoitda ($u_H = 0$) qabul qilingan matematik model doirasida vertikal siljishni baholashda gorizontal harakatni e’tiborga olmaslik bilan bog‘liq sistematik og‘ish kuzatilmadi. Gorizontal siljish komponenti $u_H = 5$ mm deb qabul qilinganda esa radar signalining tushish burchagi $\theta = 20°$ bo‘lgan holatda vertikal siljishni baholashdagi og‘ish 1,82 mm, $\theta = 35°$ da 3,50 mm va $\theta = 45°$ da 5,00 mm ni tashkil etdi. Gorizontal siljish komponenti 10 mm gacha oshirilganda, qolgan parametrlar o‘zgarmagan sharoitda mazkur og‘ish qiymatlari mos ravishda 3,64; 7,00 va 10,00 mm gacha ortishi aniqlandi (4-jadval, 7-rasm).

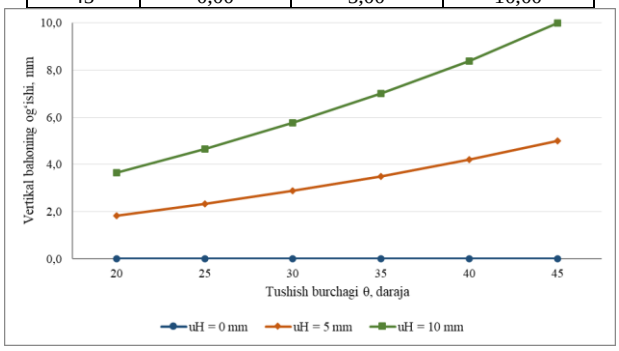
Olingan natijalar vertikal siljishni baholashda yuzaga keladigan sistematik og‘ish gorizontal harakat komponentining miqdori va radar signalining tushish burchagiga bevosita bog‘liq ekanligini ko‘rsatadi. Xususan, qabul qilingan modelda tushish burchagining ortishi bilan gorizontal siljishning vertikal deformatsiya bahosiga ta’siri kuchayadi. Bu holat hatto nisbatan kichik gorizontal siljishlar mavjud bo‘lgan sharoitda ham ularni hisobga olmaslik millimetr miqyosidagi deformatsiya ko‘rsatkichlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkinligini tasdiqlaydi. Ayniqsa, konchilik faoliyati natijasida yuzaga keladigan yer yuzasi cho‘kishlarini yuqori aniqlikda monitoring qilishda mazkur geometrik omil muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki kon maydonlarida shakllanadigan deformatsiya jarayonlari faqat vertikal cho‘kish bilan cheklanmasdan, cho‘kish zonasining markaziga yo‘nalgan yoki undan uzoqlashuvchi gorizontal siljish komponentlari bilan ham tavsiflanishi mumkin. Shu nuqtayi nazardan, radar kuzatish yo‘nalishi bo‘yicha o‘lchangan siljishlarni vertikal deformatsiya sifatida talqin qilishda gorizontal harakatning ehtimoliy ta’sirini baholash, zarur hollarda esa ko‘tariluvchi va pasayuvchi orbitalardagi interferometrik ma’lumotlarni mustaqil geodezik kuzatuv natijalari bilan birgalikda tahlil qilish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

4-jadval

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Gorizontal harakat e'tiborsiz qoldirilganda vertikal bahoning hisobiy og'ishi

θ, daraja	uH = 0 mm uchun δuU, mm	uH = 5 mm uchun δuU, mm	uH = 10 mm uchun δuU, mm
20	0,00	1,82	3,64
25	0,00	2,33	4,66
30	0,00	2,89	5,77
35	0,00	3,50	7,00
40	0,00	4,20	8,39
45	0,00	5,00	10,00



7-rasm. E'tiborsiz qoldirilgan gorizontal komponentning vertikal bahoga hisobiy ta'siri. Chiziqlar (4) formula bo'yicha tuzilgan (Muallif ishlanmasi).

Gorizontal siljish komponentining vertikal deformatsiyani baholashga ta'siri nafaqat uning miqdoriga, balki harakat yo'nalishiga ham bog'liq. Xususan, gorizontal siljish radar kuzatish yo'nalishining gorizontal proyeksiyasiga qarama-qarshi yo'nalgan holatlarda yuzaga keladigan sistematik og'ish vertikal siljishning hisoblangan qiymatini kamaytirishi mumkin. Shu sababli vertikal deformatsiyani baholashda gorizontal harakatning yo'nalishi va miqdorini hisobga olish muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan hisobiy diagrammalar muayyan kon hududida kuzatilgan cho'kish jarayonlarining vaqt bo'yicha rivojlanishini yoki interferometrik natijalarning GNSS o'lchashlari bilan qiyoslanishini ifodalamaydi. Mazkur diagrammalar radar kuzatuv geometriyasining vertikal siljishni aniqlashga ta'sirini analitik jihatdan baholash, shuningdek, siljish komponentlarini ajratish jarayonida radar signalining tushish burchagi va gorizontal harakat to'g'risida qabul qilingan farazlarning asoslanganligini tekshirish maqsadida shakllantirildi.

Muhokama. Kon hududlarida deformatsiya monitoringi uchun interferometrik usullarni tanlash. O'tkazilgan qiyosiy tahlil natijalari kon hududlarida yer yuzasi deformatsiyalarini monitoring qilish uchun radar interferometriyasi usullarini tanlashda deformatsiya jarayonlarining fizik-geologik mexanizmlari bilan bir qatorda yer yuzasi qoplamining radar signallarini qaytarish xususiyatlari, interferometrik kogerentlik darajasi hamda mavjud sun'iy yo'ldosh tasvirlarining vaqt bo'yicha taqsimlanishini kompleks hisobga olish zarurligini ko'rsatadi. Xususan, differensial radar interferometriyasi (D-InSAR) usuli turli kuzatuv sanalari oralig'ida yuzaga kelgan yer yuzasi siljishlarining fazoviy taqsimlanishini aniqlash va alohida deformatsiya hodisalarini baholashda qo'llanishi mumkin. Biroq mazkur usulning samaradorligi tasvirlar oralig'idagi interferometrik kogerentlikning saqlanishi, atmosfera ta'sirining darajasi va deformatsiya jarayonlarining xususiyatlariga bog'liq.

Bino va muhandislik inshootlari zich joylashgan urbanizatsiyalashgan hududlarda doimiy radar qaytaruvchi nuqtalarga asoslangan interferometrik tahlil (Persistent Scatterer Interferometry — PSI) usuli deformatsiya jarayonlarini yuqori fazoviy zichlikdagi nuqtaviy kuzatuvlar orqali baholash imkonini berishi mumkin. Tabiiy yer yuzasi qoplami ustun bo'lgan va barqaror nuqtaviy radar qaytaruvchilar nisbatan kam uchraydigan hududlarda esa kichik bazisli interferometrik tarmoqlarga asoslangan SBAS (Small Baseline Subset) yondashuvidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'lishi mumkin. Ushbu usul fazoviy va vaqt bazislari nisbatan kichik bo'lgan interferogrammalarni birlashtirish orqali deformatsiyaning vaqt bo'yicha o'zgarishini baholashga xizmat qiladi. Shunga qaramay, mazkur usullarning muayyan hududda yuqori aniqlikdagi natijalarni ta'minlashi oldindan kafolatlanmaydi. Shu sababli interferometrik tahlil usulini tanlashdan avval mavjud SAR tasvirlarining orbital qamrovi, vaqt bo'yicha takrorlanish davri, kogerentlik xaritalari va radar qaytaruvchi nishonlarning fazoviy taqsimlanishi baholanishi lozim.

Interferometrik kuzatuvlar asosida shakllantirilgan deformatsiya vaqt qatorlarini tahlil qilishda siljishlarning vaqt bo'yicha rivojlanish xususiyatlarini to'g'ri talqin qilish alohida ahamiyatga ega. Xususan, deformatsiya vaqt qatorini chiziqli matematik model yordamida approksimatsiya qilish kuzatuv davri uchun o'rtacha siljish tezligini

baholash imkonini bersa-da, deformatsiya jarayonlarining mavsumiy tebranishlari, keskin bosqichli o‘zgarishlari yoki vaqt davomida tezlashish xususiyatlarini yetarli darajada aks ettirmasligi mumkin. Werner va hammualliflar tomonidan keltirilgan ko‘p bazisli inter-ferometrik inversiya natijalari vaqt qatorlarini qayta tiklash jarayonida qo‘llaniladigan silliqlash parameter-larining tanlanishi deformatsiya dinamikasining hisoblangan shakliga ta’sir ko‘rsatishini namoyon etadi. Bu holat interferometrik vaqt qatorlarini talqin qilishda ma’lumotlarga matematik ishlov berish usullari va parametrlarini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.

Shu nuqtayi nazardan, konchilik faoliyati natijasida yuzaga keladigan yer yuzasi defor-matsiyalari bilan qazib olish jarayonlarining o‘zgarishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni baholashda dastlabki interferometrik kuzatuv ma’lumotlari, deformatsiya vaqt qatorlaridagi uzilishlar, kuzatuv davrlari hamda ma’lumotlarga ishlov berishda qabul qilingan matematik parametrlar birgalikda tahlil qilinishi lozim. Bunday yondashuv deformatsiya jarayonlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini yanada asosli baholash va ularning konchilik faoliyati bilan ehtimoliy bog‘liqligini aniqlash imkonini beradi.

Interferometrik kuzatuvlarning sifati va deformatsiya natijalarini fizik talqin qilish. Radar interferometriyasi yordamida olingan deformatsiya natijalarining ishonchliligi interfe-rometrik fazaning barqarorligi, kuzatuv geomet-riyasi, atmosfera sharoitlari va ma’lumotlarga ishlov berish algoritmlarining xususiyatlariga bevosita bog‘liq. Interferometrik kogerentlikning yuqori bo‘lishi turli kuzatuv sanalarida qayd etilgan radar signallari orasidagi kompleks korrel-yatsiyaning yuqoriligini ko‘rsatadi. Biroq ushbu ko‘rsatkichning yuqori qiymatga ega bo‘lishi interferometrik fazada atmosfera ta’siri yoki boshqa sistematik xatoliklar mavjud emasligini anglat-maydi. Xususan, troposferadagi atmosfera sharoit-larining fazoviy jihatdan izchil o‘zgarishi natijasida yuzaga keladigan faza kechikishlari yuqori kogerentlik saqlangan interferogrammalarda ham yer yuzasi deformatsiyalariga o‘xshash fazoviy xususiyatlarni shakllantirishi mumkin.

Bekaert va hammualliflar (2015) tomonidan muhokama qilingan atmosfera ta’sirini kamaytirish usullarining qo‘llanishi hududning relyef xususiyatlari, meteorologik sharoitlari hamda yordamchi atmosfera ma’lumotlarining mavjud-ligiga bog‘liq. Shu sababli interferometrik kuzatuvlarga atmosfera tuzatishlarini kiritishda muayyan hududning tabiiy-geografik sharoitlarini hisobga olish, tanlangan tuzatish usulining asoslanganligini tekshirish va tuzatishdan keyin saqlanib qolgan qoldiq faza xatolarini baholash talab etiladi. Bunda qoldiq fazaning fazoviy masofa, relyef balandligi va boshqa ehtimoliy ta’sir omillari bilan bog‘liqligini tahlil qilish atmosfera ta’sirining to‘liq bartaraf etilmagan komponentlarini aniqlashga yordam berishi mumkin.

Shuningdek, uzunroq to‘lqinli radar kuzatuvlarining ayrim tabiiy sirtlarda interfe-rometrik kogerentlikni nisbatan yaxshiroq saqlash xususiyatini barcha relyef va atmosfera sharoitlarida yuqori o‘lchash barqarorligini ta’minlovchi universal afzallik sifatida talqin qilish ilmiy jihatdan asoslanmagan. Chunki radar signalining to‘lqin uzunligidan qat’i nazar, murakkab relyef sharoitida geometrik soyalanish, radar tasvirida turli balandlikdagi obyektlarning ustma-ust aks etishi (layover), yer yuzasi qoplamining vaqt davomida o‘zgarishi hamda interferometrik fazani ochish jarayonidagi xatoliklar kuzatilishi mumkin. Mazkur omillar radar kuzatuvlarining fazoviy qamrovi va deformatsiya natijalarining ishonchliligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Interferometrik fazani ochish jarayonida yuzaga keladigan xatoliklar siljish qiymatlarining noto‘g‘ri baholanishiga sabab bo‘lishi mumkin. Xususan, fazani ochishda bir yoki bir nechta to‘liq 2π sikl miqdoridagi xatolik yuzaga kelsa, radar kuzatish yo‘nalishi bo‘yicha hisoblangan siljish qiymatida mos ravishda bir yoki bir nechta $\lambda/2$ miqdoridagi sistematik og‘ish paydo bo‘lishi mumkin. Ushbu tadqiqotda ishlab chiqilgan 6-rasmda faza o‘zgarishining siljish miqdoriga aylantirilish xususiyatlari C va L diapazonlari uchun analitik jihatdan ifodalangan. Biroq mazkur hisoblashlar muayyan kon hududida fazani ochish xatoliklari mavjudligini aniqlash yoki ularning fazoviy taqsimlanishini baholash uchun yetarli emas. Ular faqat faza xatolarining siljish qiymatiga ta’sirini nazariy jihatdan tavsiflash imkonini beradi.

Radar interferometriyasi asosida aniqlana-digan yer yuzasi siljishlari tanlangan fazoviy va vaqt bo‘yicha tayanchlarga nisbatan hisoblanadigan

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

kattaliklar hisoblanadi. Shu sababli interferometrik natijalarni talqin qilishda tayanch nuqtaning joylashuvi, uning deformatsiya jarayonlariga nisbatan barqarorligi hamda kuzatuv sanalarining o‘zaro muvofiqligi muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, konchilik faoliyati ta’sirida deformatsiyalanayotgan hududda joylashgan nuqtadan tayanch sifatida foydalanish butun kuzatuv maydoni bo‘yicha hisoblangan nisbiy siljish yoki deformatsiya tezligi qiymatlarida sistematik siljishga olib kelishi mumkin.

Interferometrik kuzatuv natijalarini global navigatsiya sun’iy yo‘ldosh tizimlari (GNSS) yoki geometrik nivelirlash ma’lumotlari bilan qiyoslashda koordinata tizimlari, kuzatuv yo‘nalishlari, o‘lchash davrlari va tayanch nuqtalarining o‘zaro muvofiqligi ta’minlanishi zarur. Chunki InSAR yordamida o‘lchangan siljish radar kuzatish yo‘nalishi (LOS) bo‘yicha aniqlansa, geometrik nivelirlash natijalari asosan balandlik farqlarining o‘zgarishini ifodalaydi. Shu sababli radar kuzatish yo‘nalishidagi siljish qiymatlarini gorizontal harakat komponentlarining ta’sirini baholamasdan vertikal nivelirlash natijalari bilan bevosita taqqoslash o‘lchash usullarining aniqligi va ishonchliligi to‘g‘risida noto‘g‘ri xulosalar shakllanishiga sabab bo‘lishi mumkin. Mazkur holat interferometrik ma’lumotlarni mustaqil geodezik kuzatuvlar bilan integratsiyalashda kuzatuv geometriyasini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.

Deformatsiya monitoringi natijalaridan muhandislik xavfini baholashda foydalanish. Konchilik faoliyati natijasida yuzaga keladigan yer yuzasi deformatsiyalarini monitoring qilish natijalari hududdagi geodinamik jarayonlarning rivojlanishini baholash va muhandislik xavfsizligini ta’minlash uchun muhim axborot manbai hisoblanadi. Biroq interferometrik kuzatuvlarda qayd etilgan katta siljish qiymatining o‘zi muayyan hududda avariya yoki geotexnik buzilish sodir bo‘lish ehtimolini bevosita aniqlash uchun yetarli emas. Muhandislik xavfini baholashda deformatsiyaning mutlaq va nisbiy miqdorlari bilan bir qatorda cho‘kish gradienti, siljish tezligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, deformatsiya jarayonining tezlashishi, ta’sir zonasining fazoviy chegaralari, muhandislik inshootlarining konstruktiv xususiyatlari hamda yer osti kon lahimlarining geomekanik holatini kompleks hisobga olish talab etiladi.

Shuningdek, interferometrik kuzatuv nuqtasining bino tomi yoki boshqa muhandislik konstruksiyasida joylashganligi ushbu nuqtada aniqlangan siljish qiymati yer yuzasining deformatsiyasini to‘liq ifodalashini anglatmaydi. Chunki radar signalini qaytaruvchi konstruktiv elementlarning harakati ayrim hollarda binoning umumiy siljishi, konstruksiyaning mahalliy deformatsiyasi yoki harorat ta’sirida yuzaga keladigan o‘zgarishlar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu sababli kon hududlariga tutash urbanizatsiyalashgan maydonlarda interferometrik monitoringni tashkil etishda nazorat qilinadigan muhandislik obyektlarining xususiyatlariga mos kuzatuv nuqtalarini tanlash, barqaror geodezik tayanch tarmog‘ini shakllantirish hamda radar kuzatuvlarini mustaqil geodezik o‘lchashlar bilan birgalikda olib borish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Kon hududlarida kompleks deformatsiya monitoringi tizimini tashkil etish dastlabki geologik, kon-texnik va geodezik ma’lumotlarni tizimlashtirishdan boshlanishi lozim. Bunda yer osti kon lahimlarining joylashuvi, qazib olish ishlari olib borilayotgan maydonlar, gidrogeologik sharoitlar, mavjud muhandislik inshootlari va boshqa xavfga sezgir obyektlar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni yagona geofazoviy axborot bazasida birlashtirish muhim ahamiyatga ega. Keyingi bosqichda hududning sun’iy yo‘ldosh radar kuzatuvlari bilan qamrab olinishi, mavjud SAR tasvirlarining vaqt bo‘yicha taqsimlanishi va interferometrik kogerentlik ko‘rsatkichlari baholanib, kuzatuv sharoitlariga mos D-InSAR, PSI yoki SBAS usullari tanlanishi mumkin.

Interferometrik ma’lumotlarga ishlov berish natijasida shakllantirilgan deformatsiya xaritalari va vaqt qatorlari mustaqil dala geodezik kuzatuvlari bilan qiyoslangandan so‘ng hududga xos deformatsiya ko‘rsatkichlarini aniqlash hamda ularning o‘zgarishini nazorat qilish mezonlarini ishlab chiqish imkoniyati yuzaga keladi. Mazkur yondashuv kon hududlarida deformatsiya monitoringini bosqichma-bosqich tashkil etishga qaratilgan metodologik tavsiya sifatida taklif qilinmoqda. Biroq u muayyan kon uchun amaliy sinovlardan o‘tkazilgan va tasdiqlangan monitoring reglamenti yoki barcha kon-geologik sharoitlarda

qo‘llanishi mumkin bo‘lgan universal ogohlantirish mezonlari sifatida talqin qilinmaydi.

Tadqiqot natijalarining cheklovlari. Mazkur tadqiqot natijalari sun’iy yo‘ldosh radar interferometriyasining kon hududlaridagi deformatsiyalarni aniqlash imkoniyatlariga bag‘ishlangan ilmiy adabiyotlar, mavjud interferometrik tasvirlar va analitik hisoblashlarning qiyosiy tahliliga asoslangan. Tadqiqot doirasida dastlabki SAR tasvirlari arxivini qayta ishlash, yangi interferogrammalar shakllantirish yoki deformatsiya vaqt qatorlarini bevosita radar kuzatuvlaridan hisoblash ishlari amalga oshirilmadi. Shuningdek, interferometrik kuzatuv natijalarining aniqligini tekshirish maqsadida yangi GNSS yoki geometrik nivelirlash o‘lchashlari bajarilmadi. Shu sababli tadqiqot natijalari muayyan kon hududidagi deformatsiyalar miqdorini eksperimental tasdiqlash yoki radar interferometriyasi usullarining amaliy o‘lchash aniqligini bevosita baholash imkonini bermaydi.

Tahlil qilingan rastr tasvirlarning ayrimlarida kuzatuv sanalari, radar sensorining texnik parametrlari, orbital geometriya, to‘liq legenda va fazoviy tayanch ma’lumotlarining mavjud emasligi deformatsiya tezligi, siljishlarning mutlaq qiymatlari hamda ularning vaqt bo‘yicha rivojlanishini miqdoriy jihatdan qayta hisoblash imkoniyatini chekladi. Xususan, 3-rasmda keltirilgan kompozit tasvirning sarlavhasi bilan uning tarkibidagi grafik panellarda ko‘rsatilgan geografik obyektlar nomlari o‘rtasidagi nomuvofiqlik mazkur grafiklardan Lost Hills kon hududiga tegishli mustaqil miqdoriy kuzatuv ma’lumotlari sifatida foydalanishga imkon bermadi. Bundan tashqari, foydalanilgan rastr tasvirlarning dastlabki nashr manbalari va ulardan qayta foydalanish shartlarini aniqlashtirish ilmiy maqolani yakuniy nashrga tayyorlash jarayonida bajarilishi lozim bo‘lgan muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Tadqiqot doirasida bajarilgan analitik hisoblashlarda interferometrik o‘lchashlarga ta’sir etuvchi ayrim omillar maqsadli ravishda soddalashtirildi. Jumladan, birinchi hisoblash modelida radar signalining to‘lqin uzunligi bilan interferometrik faza o‘zgarishi o‘rtasidagi matematik bog‘liqlik alohida ko‘rib chiqilgan bo‘lsa, ikkinchi modelda gorizontal siljishning radar kuzatish yo‘nalishi bo‘yicha proyeksiyasi vertikal deformatsiyani baholashda yuzaga keltiradigan sistematik og‘ish tahlil qilindi. Mazkur modellar real interferometrik kuzatuvlardagi shovqin komponentlarining kovariatsion tuzilishini, fazani ochish algoritmlarining murakkab xususiyatlarini yoki kon hududidagi deformatsiya jarayonlarining to‘liq geomekanik modelini ifodalamaydi.

Shunga qaramay, hisoblashlarda foydalanilgan parametrlarning aniq belgilanganligi va matematik bog‘liqliklarning ochiq ifodalanganligi olingan natijalarni qayta hisoblash, turli kuzatuv sharoitlari uchun nazariy sezgirlikni baholash hamda interferometrik ma’lumotlarni talqin qilishda qabul qilinadigan farazlarni tekshirish imkonini beradi. Ushbu jihatlar tadqiqotda ishlab chiqilgan analitik yondashuvlardan keyingi eksperimental kuzatuvlarni rejalashtirish va kon hududlarida deformatsiya monitoringi metodikasini takomillashtirishda foydalanish mumkinligini ko‘rsatadi.

Xulosa. Kon hududlari va ulardagi deformatsiya jarayonlarini o‘rganishga metodologik jihatdan aloqador bo‘lgan beshta amaliy obyekt guruhining qiyosiy tahlili sun’iy yo‘ldosh radar interferometriyasi yer yuzasi siljishlarining fazoviy taqsimlanishi hamda vaqt bo‘yicha rivojlanish xususiyatlarini baholashda muhim imkoniyatlarga ega ekanligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, interferometrik kuzatuvlar asosida olinadigan natijalarning ishonchliligi radar kuzatuv geometriyasi, yer yuzasi qoplamining barqarorligi, interferometrik kogerentlik darajasi, atmosfera ta’siri va ma’lumotlarga ishlov berish jarayonida amalga oshiriladigan sifat nazorati bilan uzviy bog‘liqligi aniqlandi. Berezniki va Lost Hills hududlariga oid ilmiy materiallar konchilik faoliyati hamda yer osti suyuqlik resurslarini qazib olish natijasida yuzaga keladigan texnogen deformatsiyalarni tavsiflash imkonini bergan bo‘lsa, Bam, Rim va Alyaska misollari radar kuzatuv geometriyasining ahamiyati, siljish komponentlarini ajratishdagi metodologik cheklovlar hamda interferometrik natijalarni mustaqil geologik va geodezik ma’lumotlar bilan birgalikda talqin qilish zarurligini ko‘rsatdi.

Radar interferometriyasining faza sezgirligini baholash bo‘yicha bajarilgan analitik hisoblashlarda C va L diapazonlari uchun mos ravishda 56,6 va 236

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

mm shartli to‘lqin uzunliklari qabul qilindi. Hisoblash natijalariga ko‘ra, interferometrik fazaning bir to‘liq 2π siklga o‘zgarishi C diapazoni misolida 28,3 mm, L diapazoni misolida esa 118 mm radar kuzatish yo‘nalishidagi siljishga mos kelishi aniqlandi. Ushbu natijalar radar signalining to‘lqin uzunligi faza o‘zgarishini siljish miqdoriga aylantirish jarayonidagi matematik sezgirlikni belgilovchi muhim parametr ekanligini ko‘rsatadi. Biroq mazkur bog‘liqlikning o‘zi turli radar diapazonlarining umumiy o‘lchash aniqligini yoki amaliy monitoringdagi ustunligini to‘liq tavsiflamaydi.

Kuzatuv geometriyasining vertikal deformatsiyani baholashga ta’sirini aniqlash bo‘yicha o‘tkazilgan hisoblashlarda radar qarash yo‘nalishining gorizontal proyeksiyasi bo‘yicha 5 mm siljishni e’tiborga olmaslik signalning 35° tushish burchagida vertikal siljish bahosining 3,50 mm ga og‘ishiga olib kelishi aniqlandi. Mazkur natija radar kuzatish yo‘nalishi bo‘yicha o‘lchangan siljishlarni bevosita vertikal deformatsiya sifatida talqin qilishda gorizontal harakat komponentlarining ta’sirini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. Shuningdek, faza sezgirligi, interferometrik o‘lchash aniqligi va siljish komponentlarini geometrik ajratish bilan bog‘liq xatoliklarni o‘zaro farqlash deformatsiya natijalarining fizik mazmunini to‘g‘ri baholash uchun muhim metodologik shart ekanligi asoslandi.

Tadqiqot davomida dastlabki materiallar tarkibidagi oltita rastr tasvir saqlanib, ularning ilmiy talqiniga ta’sir etuvchi manba, legenda va metama’lumotlar bilan bog‘liq cheklovlar aniqlashtirildi. Xususan, Lost Hills hududiga oid deb taqdim etilgan kompozit tasvir tarkibida Alyaska vulqonlariga tegishli grafiklarning mavjudligi aniqlanib, mazkur grafiklardan kon hududidagi deformatsiyalarning miqdoriy vaqt qatorlarini shakllantirishda foydalanilmadi. Bu holat interferometrik tasvirlar va grafik materiallardan ilmiy tadqiqotlarda foydalanishdan avval ularning geografik mansubligi, dastlabki manbasi va o‘lchov parametrlarini tekshirish zarurligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalari asosida kon hududlarida deformatsiya monitoringi tizimini yanada takomillashtirish uchun to‘liq metama’lumotlarga ega SAR tasvirlaridan foydalanish, ko‘tariluvchi va pasayuvchi orbitalardagi interferometrik kuzatuvlarni umumiy koordinata hamda tayanch tizimiga keltirish, shuningdek, olingan natijalarni GNSS va geometrik nivelirlash ma’lumotlari bilan birgalikda tahlil qilish tavsiya etiladi. Bunday kompleks yondashuv yer yuzasi siljishlarining fazoviy va vaqt bo‘yicha rivojlanishini ishonchliroq baholash, deformatsiya komponentlarini ajratishdagi noaniqliklarni kamaytirish hamda interferometrik kuzatuv natijalarining geodezik asoslanganligini tekshirish imkonini beradi. Kelgusida mazkur yondashuvni muayyan konning geologik, gidrogeologik va geomekanik sharoitlariga moslashtirish orqali deformatsiya monitoringining amaliy sxemasini ishlab chiqish, muhandislik infratuzilmasiga ta’sir etuvchi xavf omillarini baholash va hududga xos nazorat mezonlarini ilmiy jihatdan asoslash imkoniyati yaratiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Bekaert, D. P. S., Walters, R. J., Wright, T. J., Hooper, A. J., & Parker, D. J. (2015). Statistical comparison of InSAR tropospheric correction techniques. Remote Sensing of Environment, 170, 40–47. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.035

[2] Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(11), 2375–2383. https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792

[3] Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011

[4] Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1), 8–20. https://doi.org/10.1109/36.898661
[5] Fielding, E. J., Blom, R. G., & Goldstein, R. M. (1998). Rapid subsidence over oil fields measured by SAR interferometry. Geophysical Research Letters, 25(17), 3215–3218. https://doi.org/10.1029/98GL52260
[6] Funning, G. J., Parsons, B., Wright, T. J., Jackson, J. A., & Fielding, E. J. (2005). Surface displacements and source parameters of the 2003 Bam (Iran) earthquake from Envisat advanced synthetic aperture radar imagery. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 110(B9), Article B09406. https://doi.org/10.1029/2004JB003338
[7] Gabriel, A. K., Goldstein, R. M., & Zebker, H. A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 94(B7), 9183–9191. https://doi.org/10.1029/JB094iB07p09183
[8] Hanssen, R. F. (2001). Radar interferometry: Data interpretation and error analysis. Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47633-9
[9] Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. Geophysical Research Letters, 31(23), Article L23611. https://doi.org/10.1029/2004GL021737
[10] Lu, Z., & Dzurisin, D. (2014). InSAR imaging of Aleutian volcanoes: Monitoring a volcanic arc from space. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00348-6
[11] Massonnet, D., & Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. Reviews of Geophysics, 36(4), 441–500. https://doi.org/10.1029/97RG03139
[12] Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., & Rabaute, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature, 364(6433), 138–142. https://doi.org/10.1038/364138a0
[13] Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E., & Goldstein, R. M. (2000). Synthetic aperture radar interferometry. Proceedings of the IEEE, 88(3), 333–382. https://doi.org/10.1109/5.838084
[14] Samsonov, S., & Baryakh, A. (2020). Estimation of deformation intensity above a flooded potash mine near Berezniki (Perm Krai, Russia) with SAR interferometry. Remote Sensing, 12(19), Article 3215. https://doi.org/10.3390/rs12193215
[15] Stramondo, S., Bozzano, F., Marra, F., Wegmuller, U., Cinti, F. R., Moro, M., & Saroli, M. (2008). Subsidence induced by urbanisation in the city of Rome detected by advanced InSAR technique and geotechnical investigations. Remote Sensing of Environment, 112(6), 3160–3172. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.008
[16] Werner, C., Strozzi, T., & Wegmüller, U. (n.d.). Deformation time-series of the Lost-Hills oil field using a multi-baseline interferometric SAR inversion algorithm with finite-difference smoothing constraints [Poster]. GAMMA Remote Sensing. https://www.gamma-rs.ch/uploads/media/2012-1_Multi-Baseline_Time-Series.pdf
[17] Zebker, H. A., & Villasenor, J. (1992). Decorrelation in interferometric radar echoes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30(5), 950–959. https://doi.org/10.1109/36.175330

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

Botirov, S. S., & Nomdorov, R. U. (2026). Kon hududlarida yer yuzasi deformatsiyalarini InSAR usullari bilan monitoring qilishning qiyosiy tahlili. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.33

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

GEOLOGIYA VA NEFT-GAZ SANOATI
ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
GEOLOGY AND OIL-GAS INDUSTRY

UO‘K: 556.3:556.18 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.5

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

SO‘NGGI YILLARDA YANGIBOZOR TAJRIBA-SINOV OBSERVATORIYASI LABORATORIYASIDA YER OSTI SUVLARI SATHINING O‘ZGARISHI





Xusomiddinov Axror Sabriddinovich

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G‘. O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, “Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi” laboratoriyasi mudiri, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: ahrors1980@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-6970-3482
Science ID: FTV-1225-0030

Ro‘zimboyev Farruh Farhodovich

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G‘. O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, “Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi” laboratoriyasi kichik ilmiy xodimi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: frozimboyev@gmail.com
ORCID ID: 0009-0002-7125-2611
Science ID: MXR-0726-0156

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasi hududidagi 4-sonli quduqda yer osti suvlari sathining 2020–2025-yillardagi o‘zgarishlari tahlil qilingan. Chuqurligi 140 m bo‘lgan quduqda yer osti suvlari sathi 2018-yildan boshlab muntazam ravishda kuzatib kelinmoqda. Tadqiqotda suv sathining sutkalik va yillik o‘zgarishlari, uning ko‘tarilish va pasayish davrlari hamda atmosfera yog‘inlari bilan bog‘liqligi o‘rganilgan. Natijalarga ko‘ra, suv sathi yil davomida muntazam tebranib turgan bo‘lib, ayrim kunlarda 0,2–0,42 m gacha bo‘lgan sezilarli o‘zgarishlar qayd etilgan. 2022 va 2024-yillarda yog‘ingarchilikning nisbatan ko‘pligi suv sathining ko‘tarilish davrlari bilan mos kelgan, 2025-yilda esa uzoq davom etgan quruq davr suv sathining pasayishi bilan birga kechgan. Tadqiqot natijalari atmosfera yog‘inlari yer osti suvlari dinamikasiga ta’sir qiluvchi muhim tabiiy omillardan biri ekanligini ko‘rsatadi. Uzoq muddatli monitoring ma’lumotlari hududdagi yer osti suvlari sathining tabiiy fon holatini aniqlash va kelgusida anomal o‘zgarishlarni ajratib olish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *yer osti suvlari, suv sathi, quduq, gidrogeologik monitoring, suv sathi dinamikasi, atmosfera yog‘inlari, havo namligi, Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi, seysmik monitoring.*

Received: 15.09.2026 | Accepted: 02.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЛАБОРАТОРИИ ЯНГИБАЗАРСКОЙ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Хусомиддинов Ахрор Сабриддинович
Институт сейсмологии имени Г. О. Мавлонова Академии наук Республики Узбекистан, заведующий лабораторией «Янгибазарская опытно-экспериментальная обсерватория», Ташкент, Узбекистан

Рузимбоев Фаррух Фарходович
Институт сейсмологии имени Г. О. Мавлонова Академии наук Республики Узбекистан, младший научный сотрудник лаборатории «Янгибазарская опытно-экспериментальная обсерватория», Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье проанализированы изменения уровня подземных вод в скважине № 4 на территории лаборатории Янги-базарской опытно-экспериментальной обсерватории за 2020–2025 годы. Глубина скважины составляет 140 м, а регулярные наблюдения за уровнем подземных вод проводятся с 2018 года. В исследовании рассмотрены суточные и годовые изменения уровня воды, периоды его подъёма и снижения, а также связь динамики уровня с атмосферными осадками. Установлено, что уровень подземных вод в течение года характеризуется регулярными колебаниями, при этом в отдельные дни величина изменений достигала 0,2–0,42 м. В 2022 и 2024 годах периоды относительно высокой атмосферной увлажнённости совпадали с повышением уровня подземных вод, тогда как продолжительный сухой период 2025 года сопровождался его снижением. Полученные результаты показывают, что атмосферные осадки являются одним из важных природных факторов, влияющих на динамику уровня подземных вод. Данные долгосрочного мониторинга имеют важное значение для определения естественного гидрогеологического фона и последующего выявления аномальных изменений, которые могут быть дополнительно сопоставлены с сейсмологическими и другими геофизическими наблюдениями.*

Ключевые слова: *подземные воды, уровень воды, скважина, гидрогеологический мониторинг, динамика уровня воды, атмосферные осадки, влажность воздуха, Янги-базарская опытно-экспериментальная обсерватория, сейсмический мониторинг.*

CHANGES IN THE GROUNDWATER LEVEL AT THE YANGIBOZOR EXPERIMENTAL OBSERVATORY LABORATORY IN RECENT YEARS

Khusomiddinov Akhror Sabriddinovich
Institute of Seismology named after G. O. Mavlonov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Head of the Laboratory of the "Yangibozor Experimental Observatory", Tashkent, Uzbekistan

Ruzimboev Farruh Farhodovich
Institute of Seismology named after G. O. Mavlonov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Junior Researcher at the Laboratory of the "Yangibozor Experimental Observatory", Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *This article analyzes changes in the groundwater level in Well No. 4 at the Yangibozor Experimental Observatory Laboratory during 2020–2025. The well has a depth of 140 m, and regular groundwater-level observations have been conducted since 2018. The study examines daily and annual variations in groundwater level, periods of rise and decline, and their relationship with atmospheric precipitation. The results show that the groundwater level fluctuated throughout the year, with noticeable daily changes reaching 0.2–0.42 m during certain periods. In 2022 and 2024, relatively higher precipitation levels coincided with periods of groundwater-level rise, whereas the prolonged dry period in 2025 was accompanied by a sustained decline in groundwater level. The findings indicate that atmospheric precipitation is an important natural factor influencing groundwater-level dynamics. Long-term monitoring data are important for establishing the natural hydrogeological background of the study area and for identifying anomalous groundwater-level variations that may subsequently be compared with seismic and other geophysical observations.*

Keywords: *groundwater, water level, well, hydrogeological monitoring, groundwater-level dynamics, atmospheric precipitation, air humidity, Yangibozor Experimental Observatory, seismic monitoring.*

Kirish. Yer osti suvlari tabiiy gidrologik va gidrogeologik tizimlarning muhim tarkibiy qismlaridan biri bo‘lib, ularning sathi vaqt davomida tabiiy hamda antropogen omillar ta’sirida dinamik ravishda o‘zgarib boradi. Xususan, atmosfera yog‘inlari, bug‘lanish jarayonlari, havo namligi, mavsumiy gidrometeorologik sharoitlar, yer usti suvlarining infiltratsiyasi va hududdagi

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

xo‘jalik faoliyati yer osti suvlari sathining shakllanishi va o‘zgarishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Yer osti suvlari sathining uzoq muddatli va muntazam monitoringini olib borish hududning gidrogeologik holatini baholash, suv sathi dinamikasining tabiiy qonuniyatlarini aniqlash hamda uning mavsumiy va yillik o‘zgarishlarini tavsiflash imkonini beradi. Uzoq muddatli kuzatuv ma’lumotlari asosida yer osti suvlari sathining ko‘tarilish va pasayish davrlarini ajratish, ularning davomiyligini baholash hamda kuzatilayotgan o‘zgarishlarning tabiiy omillar bilan bog‘liqligini tahlil qilish mumkin [4, 6].

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G‘. O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti “Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi” laboratoriyasida yer osti suvlari holatini monitoring qilish maqsadida bir qator kuzatuv quduqlarida muntazam gidrogeologik kuzatuvlar olib boriladi. Mazkur kuzatuvlar tizimida 4-sonli quduq alohida ahamiyatga ega bo‘lib, uning chuqurligi 140 m ni tashkil etadi. Ushbu quduqdagi yer osti suvlari sathi 2018-yildan boshlab muntazam ravishda o‘lchab kelinmoqda.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi “Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi” laboratoriyasidagi 4-sonli kuzatuv qudug‘ida 2020–2025-yillar davomida qayd etilgan yer osti suvlari sathi o‘zgarishlarini ilmiy jihatdan tahlil qilish, uning yillik va mavsumiy dinamikasini baholash hamda kuzatilgan o‘zgarishlarning asosiy xususiyatlarini aniqlashdan iborat [8].

Material va metodlar. Tadqiqot obyekti sifatida O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G‘. O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti “Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi” laboratoriyasi hududida joylashgan 4-sonli kuzatuv qudug‘i tanlandi. Quduqning umumiy chuqurligi 140 m bo‘lib, unda yer osti suvlari sathi 2018-yildan buyon muntazam ravishda kuzatib kelinmoqda. Mazkur tadqiqotda 2020–2025-yillarda qayd etilgan kuzatuv ma’lumotlari asosiy tahliliy material sifatida qabul qilindi.

1. Yer osti suvlari sathini o‘lchash usuli. Yer osti suvlari sathini aniqlashda gidrogeologik ruletkadan foydalanilgan. Suv sathini qayd etish jarayonida ruletkaning suv yuzasiga tegish momentini aniq belgilash maqsadida tovushli signal beruvchi maxsus “xlopushka” moslamasi qo‘llanilgan. Ushbu usul quduqdagi suv sathining vertikal holatini muntazam ravishda qayd etish va vaqt bo‘yicha o‘zgarishlar qatorini shakllantirish imkonini beradi.

Tahlil uchun 2020–2025-yillar oralig‘idagi kuzatuvlar tanlanib, ma’lumotlar xronologik ketma-ketlikda tizimlashtirildi. Dastlab har bir kuzatuv sanasiga mos keluvchi suv sathi qiymatlari yagona vaqt qatoriga birlashtirildi. Shu asosda olti yillik davr uchun yer osti suvlari sathining umumiy dinamikasi baholandi [1, 5].

2. Suv sathi dinamikasini statistik va grafik tahlil qilish. Tadqiqotning dastlabki bosqichida 2020–2025-yillar bo‘yicha suv sathi o‘zgarishining umumiy grafigi tuzildi. Grafik tahlil orqali:

- suv sathining uzoq muddatli o‘zgarish tendensiyasi;
- mavsumiy tebranishlar;
- maksimal va minimal qiymatlar;
- suv sathining ko‘tarilish va pasayish davrlari;
- keskin sutkalik o‘zgarishlar aniqlandi.

Keyingi bosqichda har bir yil uchun alohida vaqt qatorlari shakllantirilib, yillik dinamikalar o‘zaro taqqoslandi. Bunday yondashuv umumiy olti yillik tendensiya bilan qisqa muddatli yoki mavsumiy tebranishlarni bir-biridan ajratish imkonini beradi.

Suv sathining sutkalik o‘zgarishini miqdoriy baholash uchun ketma-ket kuzatuvlar orasidagi mutlaq farq quyidagi ifoda orqali hisoblandi:

$$\Delta h_i = |h_{i+1} - h_i| \quad (1)$$

bu yerda: h_i — i-kundagi yer osti suvlari sathi, m;

h_{i+1} — keyingi kuzatuv kunidagi yer osti suvlari sathi, m;

Δh_i — ketma-ket kuzatuvlar orasidagi suv sathi o‘zgarishi, m.

Ushbu ko‘rsatkich suv sathining qisqa vaqt oralig‘idagi o‘zgaruvchanligini miqdoriy ifodalash uchun qo‘llanildi. Bunda Δhi\Delta h_i qiymatining kattalashishi suv sathining qisqa muddatda keskin o‘zgarganligini, kichik qiymatlar esa nisbatan barqaror gidrogeologik holatni ifodalaydi.

3. Yillik o‘zgarishni baholash. Har bir yil uchun suv sathining amplitudasi quyidagicha aniqlandi:

$$A_y = h_{max,y} - h_{min,y} \quad (2)$$

bu yerda: A_y — tegishli yil uchun suv sathi o‘zgarish amplitudasi, m;

$h_{max,y}$ — yil davomida qayd etilgan maksimal suv sathi qiymati, m;

$h_{min,y}$ — yil davomida qayd etilgan minimal suv sathi qiymati, m.

Mazkur ko‘rsatkich yordamida 2020–2025-yillar oralig‘ida suv sathining qaysi yillarda ko‘proq, qaysi yillarda esa nisbatan kamroq o‘zgaruvchan bo‘lganligi aniqlanadi.

Shuningdek, har bir yil uchun o‘rtacha suv sathi quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$\overline{h_y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} h_i \quad (3)$$

bu yerda: $\overline{h_y}$ — tegishli yil uchun o‘rtacha suv sathi, m;

h_i — alohida kuzatuvdagi suv sathi, m;

n — mazkur yil davomida amalga oshirilgan kuzatuvlar soni.

Ushbu ko‘rsatkich yillararo taqqoslashda asosiy statistik parametr sifatida qabul qilinadi.

4. Atmosfera yog‘inlari va havo namligi bilan bog‘liqlik. Yer osti suvlari sathining shakllanishida gidrometeorologik omillarning mumkin bo‘lgan ta’sirini baholash maqsadida 2020–2025-yillardagi atmosfera yog‘inlari va havo namligi bo‘yicha ma’lumotlar suv sathi kuzatuvlari bilan vaqt bo‘yicha taqqoslandi [2, 3]. Bunda yog‘in miqdorining oshishi va undan keyingi davrda suv sathining ko‘tarilishi yoki aksincha, quruq davrlarda suv sathining pasayishi kabi holatlar alohida qayd etildi. Bu yondashuv atmosfera yog‘inlari bilan yer osti suvlari sathi o‘rtasidagi vaqt bo‘yicha moslikni aniqlash imkonini beradi. Agar kuzatuvlar soni yetarli bo‘lsa, ushbu bog‘liqlikni korrelyatsiya koeffitsiyenti orqali ham baholash mumkin:

$$r_{hP} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(h_i-\overline{h})(P_i-\overline{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(h_i-\overline{h})^2 \sum_{i=1}^{n}(P_i-\overline{P})^2}} \quad (4)$$

bu yerda P_i — tegishli vaqt oralig‘idagi atmosfera yog‘inlari miqdori, mm; h_i — yer osti suvlari sathi; r_{hP} — suv sathi va yog‘in miqdori o‘rtasidagi chiziqli bog‘liqlik koeffitsiyenti.

Natijalar. 2020–2025-yillar davomida Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi hududidagi 4-sonli quduqda yer osti suvlari sathi sezilarli vaqtinchalik tebranishlar bilan tavsiflangan. Kuzatuvlar suv sathining ayrim davrlarda ketma-ket pasayishi yoki ko‘tarilishi, boshqa davrlarda esa nisbatan barqaror holatda bo‘lishini ko‘rsatadi. Umumiy vaqt qatorida keskin va uzluksiz ekstremal o‘zgarishlar ko‘p kuzatilmagan bo‘lsa-da, ayrim sanalarda sutkalik o‘zgarish amplitudasi 0,20–0,42 m gacha yetgan.

Eng katta sutkalik pasayish 2022-yil 23-fevralda 0,42 m, undan keyingi yuqori qiymatlar 2020-yil 25-dekabrda 0,40 m, 2020-yil 21-yanvarda 0,30 m va 2022-yil 2-fevralda 0,27 m ni tashkil etgan. Bu qiymatlar qisqa muddatli davrlarda yer osti suvlari sathi dinamikasining sezilarli darajada o‘zgaruvchan bo‘lganligini ko‘rsatadi.

Suv sathining qisqa muddatli ko‘tarilishlari ham kuzatilgan. Eng katta ko‘tarilish 2020-yil 26-dekabrda 0,38 m, 2023-yil 29-avgustda 0,29 m, 2022-yil 1-iyunda 0,25 m va 2024-yil 28-mayda 0,22 m ni tashkil etgan.

1-jadval

2020–2022-yillarda yer osti suvlari sathining eng katta sutkalik pasayishlari

Yil	Sana	Suv sathi pasayishi, m
2020	21-yanvar	0,30
2020	3-fevral	0,25
2020	3-iyun	0,23
2020	25-dekabr	**0,40**
2021	13-fevral	0,22
2022	2-fevral	0,27
2022	23-fevral	**0,42**

2-jadval

Yer osti suvlari sathining qayd etilgan eng katta sutkalik ko‘tarilishlari

Yil	Sana	Suv sathi ko‘tarilishi, m
2020	20-yanvar	0,20
2020	30-yanvar	0,20
2020	26-dekabr	**0,38**
2021	26-avgust	0,16
2022	1-iyun	0,25
2023	29-avgust	**0,29**
2024	28-may	0,22

Kuzatuvlarning katta qismida sutkalik suv sathi o‘zgarishlari 0–0,15 m oralig‘ida bo‘lgan bo‘lib, bu tadqiqot davrining aksariyat qismida yer osti suvlari sathining nisbatan barqaror dinamikaga ega bo‘lganligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, ayrim davrlarda suv sathining uzoq muddatli ko‘tarilish va pasayish bosqichlari kuzatilgan.

2020-yilda yer osti suvlari sathi bir necha marta navbatma-navbat ko‘tarilish va pasayish jarayonlarini namoyon qilgan. Jumladan, 2–21-yanvar oralig‘ida suv sathi 1,0 m ga pasaygan. Keyinchalik 5–24-fevral oralig‘ida 0,31 m ga

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ko‘tarilgan. 28-martgacha yana 0,07 m, 26-aprelgacha esa 0,70 m ga pasayish kuzatilgan. Shundan so‘ng suv sathining tiklanish jarayoni qayd etilib, 29-aprelga kelib 0,20 m, 6-mayga kelib 0,35 m va 19-iyunga kelib 0,70 m ga ko‘tarilgan. Yilning oxirgi qismida, xususan oktabr oyining o‘rtalaridan yil oxirigacha, suv sathi umumiy hisobda 4,64 m ga pasaygan.

2021-yilda yanvar–sentabr oylarida suv sathi ko‘tarilish va pasayishlarning almashinib turishiga qaramay, umumiy hisobda 3,9 m ga pasaygan. 26-oktabrgacha suv sathi 0,70 m ga ko‘tarilgan, undan keyingi davrda esa yil oxirigacha yana 0,90 m ga pasaygan. Ushbu ko‘rsatkichlar 2021-yil davomida suv sathining pasayish tendensiyasi nisbatan ustun bo‘lganligini ko‘rsatadi.

2022-yilda yanvar oyida suv sathi 0,30 m ga pasaygan, 22-fevralgacha esa 0,27 m ga ko‘tarilgan. 17-martgacha yana 0,80 m ga pasayish kuzatilgan. Shundan keyin, ya’ni 17-martdan 21-noyabrgacha bo‘lgan davrda suv sathi turli tezliklarda ko‘tarilib, umumiy hisobda 3,39 m ga oshgan. Yilning oxirgi qismida esa suv sathi 0,12 m ga pasaygan. Shu sababli 2022-yilning asosiy qismi, ayniqsa mart–noyabr oralig‘i, suv sathining uzoq muddatli ko‘tarilish tendensiyasi bilan tavsiflanadi.

2023-yilda yer osti suvlari sathining o‘zgarishi murakkab xarakterga ega bo‘lgan. Yil boshidan mart oyining o‘rtalarigacha suv sathi 0,69 m ga pasaygan. 21-aprelgacha 0,58 m ga ko‘tarilgan bo‘lsa, 29-maygacha yana 1,12 m ga pasaygan. Shundan so‘ng uzoqroq davom etgan ko‘tarilish bosqichi kuzatilib, 25-oktabrgacha suv sathi 2,95 m ga oshgan. Yilning oxirgi qismida esa yana pasayish jarayoni qayd etilgan.

2024-yilda ham suv sathi ko‘tarilish va pasayish bosqichlarining almashinishi bilan tavsiflangan. 29-yanvargacha suv sathi 0,38 m ga ko‘tarilgan, 30-martgacha esa 1,07 m ga pasaygan. Keyinchalik 30-maygacha 0,58 m ga ko‘tarilish kuzatilgan. Iyun oyining oxirida suv sathi 0,35 m ga pasaygan, undan so‘ng 1-oktabrgacha 1,62 m ga ko‘tarilgan. Keyingi davrda esa suv sathi yana pasayish tendensiyasiga o‘tgan.

2025-yilgi kuzatuvlarni uchta asosiy davrga ajratish mumkin. Birinchi davr 1-yanvardan 26-maygacha davom etib, ayrim kichik ko‘tarilishlarga qaramay, suv sathi umumiy hisobda 3,30 m gacha pasaygan. Ikkinchi davr 26-maydan 16-iyungacha bo‘lgan bo‘lib, ushbu vaqtda suv sathi nisbatan barqaror saqlangan va uning o‘zgarish amplitudasi 0,09 m chegarasida bo‘lgan. Uchinchi davr 16-iyundan 15-oktabrgacha davom etgan va bu davrda suv sathi yana pasayish tendensiyasini namoyon qilib, umumiy pasayish 0,98 m ni tashkil etgan.

3-jadval

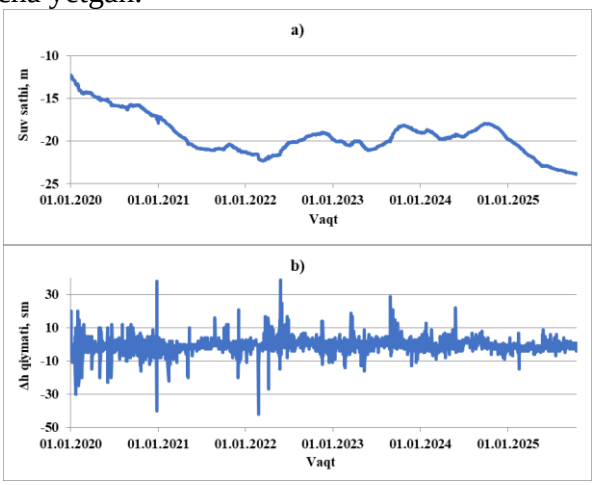
2020–2025-yillarda yer osti suvlari sathining asosiy yillik o‘zgarishlari

Yil	Davr	Asosiy o‘zgarish	Qiymat, m	Dinamik tavsifi
2020	2–21 yanvar	Pasayish	1,00	Pasayish
	5–24 fevral	Ko‘tarilish	0,31	Ko‘tarilish
	28 martgacha	Pasayish	0,07	Nisbatan kichik pasayish
	26 aprelgacha	Pasayish	0,70	Sezilarli pasayish
	29 aprel–19 iyun	Ko‘tarilish	0,70 gacha	Ko‘tarilish
	Oktabr o‘rtasi–yil oxiri	Pasayish	4,64	**Keskin pasayish**
2021	Yanvar–sentabr	Umumiy pasayish	3,90	Pasayish ustun
	–26 oktabr	Ko‘tarilish	0,70	Vaqtinchalik ko‘tarilish
	26 oktabr–yil oxiri	Pasayish	0,90	Qayta pasayish
2022	Yanvar	Pasayish	0,30	Pasayish
	Yanvar–22 fevral	Ko‘tarilish	0,27	Ko‘tarilish
	22 fevral–17 mart	Pasayish	0,80	Sezilarli pasayish
	17 mart–21 noyabr	Ko‘tarilish	3,39	**Uzoq muddatli ko‘tarilish**
	21 noyabr–yil oxiri	Pasayish	0,12	Kichik pasayish
2023	Yil boshi–mart o‘rtasi	Pasayish	0,69	Pasayish
	–21 aprel	Ko‘tarilish	0,58	Ko‘tarilish
	–29 may	Pasayish	1,12	Pasayish
	29 may–25 oktabr	Ko‘tarilish	2,95	**Uzoq muddatli ko‘tarilish**
2024	Yil boshi–29 yanvar	Ko‘tarilish	0,38	Ko‘tarilish
	–30 mart	Pasayish	1,07	Pasayish
	–30 may	Ko‘tarilish	0,58	Ko‘tarilish
	Iyun oxiri	Pasayish	0,35	Pasayish
	–1 oktabr	Ko‘tarilish	1,62	Ko‘tarilish
2025	1 yanvar–26 may	Pasayish	3,30 gacha	**Uzoq muddatli pasayish**
	26 may–16 iyun	Tebranish	0,09	**Barqaror davr**
	16 iyun–15 oktabr	Pasayish	0,98	Pasayish

Umuman olganda, 2020–2025-yillardagi kuzatuvlar yer osti suvlari sathining barqaror emas, balki davriy ko‘tarilish va pasayishlar bilan kechuvchi murakkab dinamikaga ega ekanligini ko‘rsatadi. 2021 va 2025-yillarda pasayish jarayonlari, 2022 va 2023-yillarda esa ayrim uzoq muddatli ko‘tarilish bosqichlari yaqqol namoyon bo‘lgan. 2020 va 2024-yillarda esa ko‘tarilish va pasayish jarayonlari nisbatan almashinuvchan

xarakterga ega bo‘lgan. Biroq ushbu o‘zgarishlarning sabablarini aniq belgilash uchun yer osti suvlari sathi ma’lumotlarini atmosfera yog‘inlari, havo namligi va boshqa gidrometeorologik ko‘rsatkichlar bilan birgalikda statistik tahlil qilish talab etiladi.

Grafikdan ko‘rinib turibdiki, tadqiqot davrida yer osti suvlari sathi muntazam ravishda tebranib turgan. Ayrim davrlarda suv sathining sezilarli ko‘tarilishi yoki pasayishi kuzatilgan. Sutkalik o‘zgarishlarning asosiy qismi 0–0,15 m oralig‘ida bo‘lgan, ayrim kunlarda esa o‘zgarishlar 0,2–0,42 m gacha yetgan.

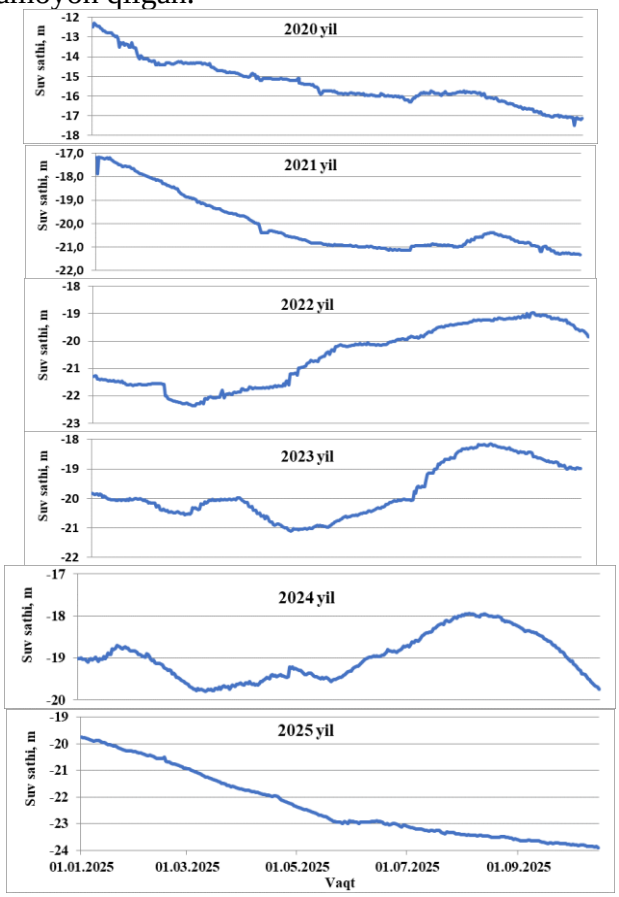


1-rasm. 2020–2025-yillarda Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasidagi 4-sonli quduqda yer osti suvlari sathining o‘zgarishi (a) va sutkalik o‘zgarishlari Δh (b).

Grafiklarda 2020–2025-yillar davomida 4-sonli kuzatuv qudug‘idagi yer osti suvlari sathining yillik va mavsumiy dinamikasi aks ettirilgan. Tahlil natijalari suv sathi o‘zgarishlarining yillar kesimida bir xil xarakterga ega emasligini ko‘rsatdi. Ayrim davrlarda suv sathining uzoq muddatli ko‘tarilishi, boshqa davrlarda esa izchil pasayishi kuzatilgan.

Xususan, 2022 va 2024-yillarda suv sathining ko‘tarilish davrlari nisbatan yaqqol namoyon bo‘lgan, 2025-yilda esa uzoq davom etgan pasayish jarayoni kuzatilgan. Grafik ma’lumotlarini gidrometeorologik kuzatuvlar bilan taqqoslash natijasida yog‘ingarchilik kuzatilgan davrlar bilan suv sathining ko‘tarilish bosqichlari o‘rtasida vaqt bo‘yicha ma’lum moslik mavjudligi aniqlandi. Shu bilan birga, mazkur moslikning sababiy bog‘liqlik darajasini aniqlash uchun qo‘shimcha statistik tahlillar talab etiladi.

Muhokama. 2020–2025-yillar davomida Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasi hududidagi 4-sonli, 140 m chuqurlikka ega bo‘lgan kuzatuv qudug‘ida olib borilgan monitoring natijalari yer osti suvlari sathining sezilarli yillik va mavsumiy o‘zgaruvchanlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Kuzatuvlar davomida suv sathi ayrim davrlarda uzoq muddatli pasayish, boshqa davrlarda esa nisbatan davomli ko‘tarilish tendensiyalarini namoyon qilgan.



2-rasm. Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasidagi 4-sonli quduqda yer osti suvlari sathining 2020–2025-yillar bo‘yicha yillik o‘zgarishi.

Tahlil qilingan davrda suv sathi dinamikasining eng muhim xususiyatlaridan biri uning gidrometeorologik sharoitlar bilan vaqt bo‘yicha mos ravishda o‘zgarishidir. Xususan, atmosfera yog‘inlari kuzatilgan davrlarda ayrim holatlarda suv sathining ko‘tarilish bosqichlari qayd etilgan. Biroq bunday moslikni bevosita sababiy bog‘liqlik sifatida talqin qilish uchun yog‘in miqdori, uning davomiyligi, infiltratsiya jarayonlari

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

va suv sathining vaqt bo‘yicha kechikish reaksiyasi kabi omillarni qo‘shimcha ravishda hisobga olish zarur.

2022-yilda yanvar–iyun oylarida jami 29 kun, oktabr–dekabr oylarida esa 11 kun yog‘ingarchilik kuzatilgan. Ushbu davrlar bilan bir qatorda yer osti suvlari sathining sezilarli ko‘tarilish bosqichlari ham qayd etilgan. Ayniqsa, 2022-yil 17-martdan 21-noyabrgacha bo‘lgan davrda suv sathi umumiy hisobda 3,39 m ga oshgan. Bu holat mazkur yildagi gidrometeorologik sharoitlar va yer osti suvlari dinamikasi o‘rtasidagi ehtimoliy bog‘liqlikni ko‘rsatadi.

2024-yilda yanvar–may oylarida 32 kun, oktabr–dekabr oylarida esa 11 kun yog‘ingarchilik kuzatilgan. Shu yil davomida suv sathining bir necha marotaba ko‘tarilishi qayd etilgan. Jumladan, 30-maydan 1-oktabrgacha bo‘lgan davrda suv sathi 1,62 m ga ko‘tarilgan. Biroq ushbu ko‘tarilishning aynan yog‘ingarchilik hisobiga yuzaga kelganligini tasdiqlash uchun yog‘in miqdori va suv sathi o‘rtasidagi vaqt kechikishini hisobga oluvchi statistik tahlil zarur.

2025-yilda esa boshqa xarakterdagi dinamik holat kuzatilgan. 9-maydan oktabr oyining o‘rtalarigacha yog‘ingarchilik kuzatilmagan uzoq quruq davrda quduqdagi suv sathining umumiy pasayish tendensiyasi qayd etilgan. Xususan, 1-yanvardan 26-maygacha suv sathi 3,30 m gacha, 16-iyundan 15-oktabrgacha esa yana 0,98 m ga pasaygan. 26-maydan 16-iyungacha bo‘lgan oraliqda esa suv sathi nisbatan barqaror bo‘lib, uning o‘zgarishi 0,09 m chegarasida saqlangan.

Shunday qilib, 2020–2025-yillardagi kuzatuvlar atmosfera yog‘inlari mavjudligi va suv sathining ko‘tarilish bosqichlari, shuningdek, uzoq davom etgan quruq davrlar va suv sathining pasayishi o‘rtasida ma’lum vaqtinchalik moslik mavjudligini ko‘rsatadi. Biroq ushbu bog‘liqlikni miqdoriy jihatdan baholash uchun faqat yog‘ingarchilikning kuzatilgan kunlari sonidan foydalanish yetarli emas. Bunda sutkalik yog‘in miqdori, havo harorati, bug‘lanish, havo namligi, tuproq namligi, infiltratsiya sharoitlari, yer osti suvlarining tabiiy oqimi va hududdagi suvdan foydalanish bilan bog‘liq antropogen omillar ham hisobga olinishi lozim.

Shuningdek, yer osti suvlari sathining yillik o‘zgarishlarini baholashda kuzatuv qudug‘ining gidrogeologik sharoiti ham muhim ahamiyatga ega. Shu sababli kelgusidagi tadqiqotlarda gidrometeorologik ma’lumotlarni suv sathi vaqt qatori bilan birgalikda tahlil qilish, o‘zaro korrelyatsiya va vaqt kechikishi parametrlarini aniqlash maqsadga muvofiq [7].

Xulosa. Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasi hududidagi 140 m chuqurlikka ega bo‘lgan 4-sonli kuzatuv qudug‘ida 2020–2025-yillar davomida qayd etilgan yer osti suvlari sathi ma’lumotlari tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari suv sathining yillik va mavsumiy dinamikasi murakkab hamda o‘zgaruvchan xarakterga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Kuzatuv davrida suv sathining asosiy qismidagi sutkalik o‘zgarishlar 0–0,15 m oralig‘ida bo‘lgan bo‘lsa, ayrim kunlarda 0,20–0,42 m gacha bo‘lgan sezilarli o‘zgarishlar qayd etilgan. Eng katta qisqa muddatli pasayish 2022-yil 23-fevralda 0,42 m, eng katta ko‘tarilish esa 2020-yil 26-dekabrda 0,38 m ni tashkil etgan.

Yillik dinamikani tahlil qilish natijasida 2022 va 2023-yillarda uzoq davom etgan ko‘tarilish bosqichlari, 2021 va 2025-yillarda esa pasayish tendensiyalari yaqqol namoyon bo‘lgan. 2022-yil 17-martdan 21-noyabrgacha suv sathining 3,39 m ga ko‘tarilishi, 2025-yil 1-yanvardan 26-maygacha esa 3,30 m gacha pasayishi uzoq muddatli dinamik o‘zgarishlarning muhim ko‘rsatkichlari sifatida qayd etildi.

Gidrometeorologik ma’lumotlar bilan taqqoslash natijasida yog‘ingarchilik kuzatilgan ayrim davrlar suv sathining ko‘tarilish bosqichlari bilan, 2025-yildagi uzoq davom etgan quruq davr esa suv sathining pasayishi bilan vaqt jihatdan mos kelgan. Shu bilan birga, ushbu natijalar yog‘ingarchilik va yer osti suvlari sathi o‘rtasidagi ehtimoliy bog‘liqlikni ko‘rsatadi, biroq sababiy bog‘liqlikni to‘liq tasdiqlamaydi. Buning uchun yog‘in miqdori, havo harorati, bug‘lanish, tuproq namligi, infiltratsiya va boshqa gidrogeologik omillarni kompleks hisobga oluvchi qo‘shimcha tadqiqotlar zarur [6, 8].

Yer osti suvlari sathidagi o‘zgarishlarni seysmik jarayonlar bilan bog‘liq holda tahlil qilishda tabiiy gidrometeorologik va antropogen omillarni albatta ajratib olish lozim. Suv sathining har qanday o‘zgarishini bevosita seysmik hodisa bilan bog‘lash ilmiy jihatdan yetarli asosga ega

emas. Shu sababli anomal o‘zgarishlarni aniqlashda avvalo tabiiy gidrogeologik fon shakllantirilishi, undan keyin kuzatilgan og‘ishlar seysmik hodisalarning vaqti, joylashuvi hamda boshqa parametrlar bilan taqqoslanishi kerak.

Shu nuqtayi nazardan, 4-sonli quduqda olib borilayotgan uzoq muddatli monitoring yer osti suvlarining tabiiy fon holatini aniqlash, mavsumiy va yillik tebranishlarni tavsiflash hamda kelgusida anomal o‘zgarishlarni ajratib olish uchun muhim ilmiy asos yaratadi. Yer osti suvlari sathi ma’lumotlarini seysmologik, geofizik va meteorologik kuzatuvlar bilan kompleks tahlil qilish orqali ushbu parametrning seysmik jarayonlar bilan ehtimoliy bog‘liqligini chuqurroq o‘rganish mumkin.

Umuman olganda, Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasida yer osti suvlari sathini muntazam kuzatish zilzilalarni bashorat qilishning mustaqil usuli sifatida emas, balki seysmologik monitoringni to‘ldiruvchi gidrogeologik-geofizik ko‘rsatkich sifatida ilmiy ahamiyatga ega. Kelgusidagi tadqiqotlarda uzoq muddatli suv sathi qatorlari, gidrometeorologik ma’lumotlar va seysmologik kuzatuvlarni yagona vaqt qatorida birlashtirish anomal o‘zgarishlarning kelib chiqish mexanizmlarini yanada asosli baholash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Abdullabekov, K. N., Maksudov, S. Kh., & Yusupov, V. R. (2025). The manifestation of abnormal variations of the geomagnetic field in Uzbekistan (Tashkent seismically active region). AIP Conference Proceedings, 3265, 040004. https://doi.org/10.1063/5.0265092

[2] Maksudov, S. Kh., Abdullabekov, K. N., Tuichiev, A. I., & Yusupov, V. R. (2021). Geomagnetic field variations caused by the processes occurring at different depths in the Earth's crust and upper mantle. Physics of the Solid Earth, 57, 295–308. https://doi.org/10.1134/S1069351321020063

[3] Maksudov, S. Kh., Yusupov, V. R., Khakimov, E. N., Sagdullaeva, K. A., Shakhriyev, B. B., & Nazarov, S. X. (2025). The manifestation of local anomalous variations of the geomagnetic field in Uzbekistan in connection with the problem of earthquake forecasting. Russian Journal of Earth Sciences, 25, ES4009. https://doi.org/10.2205/2025ES001037

[4] Egamberdiyev, S. A., Khusomiddinov, A. S., Sergushin, P. A., Ruzimboyev, F. F., Nuriddinov, N. R., Petrishchev, M. S., & Jurayev, E. M. (2026). Strong geomagnetic storms and their impact on local seismicity. Seismic Instruments, 62, 1–9. https://doi.org/10.3103/S0747923926700015

[5] Egamberdiyev, S. A., Khusomiddinov, A. S., Ruzimboyev, F. F., & Sadirov, F. X. (2026). Microseismic background in the conditions of the Yangibazar Observatory. Seismic Instruments. https://doi.org/10.3103/S0747923926700088

[6] Ruzimboyev, F. F., Khusomiddinov, A. S., Egamberdiyev, S. A., & Nuriddinov, N. R. (n.d.). 2D and 3D magnetic field modeling using ZOND software: Relationship with seismic activity (Case study of the Tashkent region). American Journal of Research. https://doi.org/10.5281/zenodo.20208774

[7] Эгамбердиев, С., Хусомиддинов, А., Рузимбоев, Ф., & Нуриддинов, Н. (2026). Среднесуточные вариации магнитного поля в Янгибазарской геофизической научно-исследовательской обсерватории в периоды сильных магнитных бурь. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(1), 159–165. https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.39

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

Xusomiddinov, A. S., & Ro‘zimboyev, F. F. (2026). So‘nggi yillarda Yangibozor tajriba-sinov observatoriyasi laboratoriyasida yer osti suvlari sathining o‘zgarishi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.5

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 553.98.041.551.763(575.16.(192) 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.6

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХАРО-ХИВИНСКОГО РЕГИОНА



Шоймуротов Туйчи Халикулович
Доктор геолого-минералогических наук, главный научный советник ГУ «ИГИРНИГМ» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан
E-mail: shoymurotov.tuychi@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-5184-5032



Хожиев Азиз Жумамуродович
Старший научный сотрудник ГУ «Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений» («ИГИРНИГМ») Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан
E-mail: igirnigm@ing.uz
ORCID ID: 0009-0000-3761-2551



Жураев Фазлиддин Очилхонович
Доцент, Каршинского государственного технического университета, Карши, Узбекистан
E-mail: fazliddin_ng@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7037-5946
Science ID: MQD-0925-0087



Ахмедов Шовдулло Шухратович
Доцент, Каршинского государственного технического университета, Карши, Узбекистан
E-mail: axmedov1127@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-7515-0175
Science ID: FQD-0925-0093

Аннотация. *В статье рассмотрены перспективы нефтегазоносности меловых отложений Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона, в особенности Чарджоуской ступени. На основе комплексного анализа геологических и геофизических материалов, результатов бурения скважин и гидродинамических условий подземных вод меловых отложений исследованы основные факторы, определяющие формирование и сохранение залежей углеводородов. Выявлены перспективные участки, связанные с тектоническими, литологическими и гидродинамическими экранами. Проанализированы структурно-тектоническое строение мелового разреза, распространение продуктивных горизонтов, направления движения пластовых вод, гидравлические градиенты и скорости фильтрации. Установлены локальные зоны с благоприятными гидродинамическими условиями для аккумуляции и сохранения углеводородов. Полученные результаты свидетельствуют о наличии значительного потенциала расширения перспективных площадей меловых отложений Чарджоуской ступени и необходимости проведения целенаправленных геологоразведочных работ на недостаточно изученных участках.*

Ключевые слова: *Бухаро-Хивинский регион, Чарджоуская ступень, меловые отложения, нефтегазоносность, структурно-тектоническое строение, углеводороды, нефть, газ, геологическая структура, литологический экран, тектонический экран, гидродинамические условия, гидравлический градиент, фильтрация, залежь углеводородов.*

Received: 12.09.2026 | Accepted: 04.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

BUXORO-XIVA REGIONI BO‘R DAVRI YOTQIZIQLARINING STRUKTURAVIY-TEKTONIK XUSUSIYATLARI VA NEFTGAZLILIK ISTIQBOLLARI

Shoimurotov Tuychi Xalikulovich
O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligi “IGIRNIGM” davlat muassasasi bosh ilmiy maslahatchisi, geologiya-mineralogiya fanlari doktori, Toshkent, O‘zbekiston

Xojiyev Aziz Jumamurodovich
O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligi “Neft va gaz konlari geologiyasi va qidiruvi instituti” (“IGIRNIGM”) davlat muassasasi katta ilmiy xodimi, Toshkent, O‘zbekiston

Jo‘rayev Fazliddin Ochilxonovich
Qarshi davlat texnika universiteti, dotsent, Qarshi, O‘zbekiston

Ahmedov Shovdullo Shuxratovich
Qarshi davlat texnika universiteti, dotsent, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Buxoro-Xiva neftgazli regionining, xususan, Chardjou pog‘onasining bo‘r davri yotqiziqlarining neftgazlilik istiqbollari tahlil qilingan. Tadqiqotda geologik va geofizik materiallar, burg‘ilangan quduqlar ma’lumotlari hamda bo‘r davri yotqiziqlaridagi yer osti suvlarining gidrodinamik sharoitlari kompleks o‘rganilgan. Tahlil natijasida uglevodorodlarning to‘planishi uchun qulay bo‘lgan tektonik, litologik va gidrodinamik ekranlar bilan bog‘liq istiqbolli hududlar aniqlangan. Bo‘r kesimida mahsuldor gorizontlarning tarqalishi, strukturaviy-tektonik tuzilish, yer osti suvlarining harakat yo‘nalishlari, gidravlik gradientlar va filtratsiya tezliklari baholangan. Chardjou pog‘onasining ayrim lokal maydonlarida gidrodinamik sharoitlarning uglevodorod uyumlarining shakllanishi va saqlanishi uchun qulayligi asoslangan. Tadqiqot natijalari Buxoro-Xiva regionida bo‘r davri yotqiziqlarining hali yetarlicha o‘rganilmagan istiqbolli maydonlarini kengaytirish va ularda maqsadli geologiya-qidiruv ishlarini olib borish imkoniyatlari mavjudligini ko‘rsatadi.*
Kalit so‘zlar: *Buxoro-Xiva regioni, Chardjou pog‘onasi, bo‘r davri yotqiziqlari, neftgazlilik, strukturaviy-tektonik tuzilish, uglevodorod, neft, gaz, geologik tuzilma, litologik ekran, tektonik ekran, gidrodinamik sharoit, gidravlik gradient, filtratsiya, uglevodorod uyumi.*

STRUCTURAL-TECTONIC FEATURES AND OIL AND GAS POTENTIAL OF THE CRETACEOUS DEPOSITS OF THE BUKHARA-KHIVA REGION

Shoimurotov Tuychi Khalikulovich
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Scientific Adviser at the State Institution “IGIRNIGM” of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Khojiev Aziz Jumamurodovich
Senior Researcher at the State Institution “Institute of Geology and Exploration of Oil and Gas Fields” (“IGIRNIGM”) of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Juraev Fazliddin Ochilkhonovich
Associate Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Akhmedov Shovdullo Shukhratovich
Associate Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This article examines the oil and gas potential of the Cretaceous deposits of the Bukhara-Khiva oil and gas region, with particular emphasis on the Chardzhou Step. A comprehensive analysis of geological and geophysical data, drilling results, and the hydrodynamic conditions of groundwater within the Cretaceous deposits was conducted. The study identifies prospective areas associated with tectonic, lithological, and hydrodynamic seals that may control the accumulation and preservation of hydrocarbons. The structural and tectonic framework of the Cretaceous succession, the distribution of productive horizons, groundwater flow directions, hydraulic gradients, and filtration velocities were analyzed. Local areas characterized by favorable hydrodynamic conditions for hydrocarbon accumulation and preservation were identified. The results demonstrate the significant potential for expanding prospective areas within the Cretaceous deposits of the Chardzhou Step and emphasize the need for targeted geological exploration in insufficiently studied areas of the region.*
Keywords: *Bukhara-Khiva region, Chardzhou Step, Cretaceous deposits, oil and gas potential, structural-tectonic framework, hydrocarbons, oil, gas, geological structure, lithological seal, tectonic seal, hydrodynamic conditions, hydraulic gradient, filtration, hydrocarbon accumulation.*

Введение. Мировая практика геолого-разведочных работ на нефть и газ показала, что в хорошо изученных нефтегазоносных бассейнах и регионах, как правило, наблюдается

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

многоэтажное размещение залежей углеводородов (УВ). Подобное явление наблюдается и в истории развития поисково-разведочных работ Амударьинского нефтегазоносного бассейна. В частности, в 50-60 годах прошлого века роль главного поискового объекта играли меловые отложения Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона (БХНГР). Позднее стратиграфический диапазон нефтегазоносности расширился за счет юрских отложений: в начале юрской карбонатной формации (КФ), позднее юрской терригенной формации (ТФ), которые в настоящее время являются основными источниками УВ-сырья в нефтегазодобыче Узбекистана.

В рамках исследуемой площади, а также смежной территории Амударьинской впадины (Багаджинской ступени и Мургабский прогиб) рассматриваемые образования изучены достаточно полно, причем на многих площадях в них обнаружены залежи нефти и газа. В начале второй половине XX в. на территории БХНГР почти одновременно обнаружен ряд месторождений, что подтвердило справедливость вывода о региональной продуктивности юрских карбонатных и нижнемеловых отложений. Вместе с тем, все более и более обращала на себя внимание продуктивность меловых или меловых и юрских отложений, располагающихся в таких структурно-формационных зонах, где разделяющая эти образования соляно-ангидритовая толща либо вообще отсутствует, либо выражена 20-25-метровой пачкой ангидритов. По мере расширения разведочных работ в южной части региона (зоне, где соляно-ангидритовая толща распространена повсеместно, а мощность ее составляет 400-1000 м) выявилось, что здесь на абсолютном большинстве месторождений продуктивна только КФ юры.

Опираясь на эти факты, многие исследователи утвердились во мнении, что в БХНГР продуктивны только юрские отложения, а залежи, размещающиеся в меловых отложениях, образовались либо латерально вдоль подошвы соляно-ангидритовой формации (САФ), либо сместились в зону их выклинивания и здесь насытили нижнемеловые отложения. Соответственно, одним из заключений по изучению нефтеносности и газоносности данного региона явился вывод о производящей природе только юрских образований и вторичности всех залежей, размещающихся в меловых отложениях.

Со временем информативный материал по меловым отложениям пополнился новыми многочисленными данными, полученными не только по БХНГР, но и по всему Амударьинскому нефтегазоносному бассейну. Наиболее существенным фактом по Амударьинскому бассейну следует считать открытые здесь большой группы крупных (Байрамали, Шехитли-Джуджукли, Фараб, Яшлар) и уникальных (Шатлык, Даулетабад-Донмез) месторождений УВ-сырья, расположенных в меловых отложениях, причем как в зоне регионального распространения мощной толщи соляно-ангидритовой формации, так и за ее пределами (табл. 1).

Таблица 1.

Распределение залежей нефти и газа в меловых отложениях Амударьинской впадины

Стратиграфическая приуроченность	**Зоны малых мощностей или полного выклинивания соляно-ангидритовой формации**	**Зоны регионального распространения мощной толщи соляно-ангидритовой формации**
Верхний мел	Газли, Ташкудук, Акджар, Калтакыр, Чальджульба, Дарваза, Шиих, Такыр, Топджульба, Чашхын, Атабай	Карабиль, Гельчешме, Карачоп
Нижний мел	Янгиказган, Газли, Муллахол, Калтакыр, Чукуркуль, Куюмазар, Караулбазар-Сарыташ, Шурчи, Акджар, Джаркак, Сеталантепе, Юлдузкак, Гарбий Юлдузкак, Жанубий-Гарбий Юлдузкак, Чембар, Шуртепе, Жанубий Мубарек, Карабаир, Карактай, Сарыча, Увада, Яккасарай, Западный Яккасарай, Гарби, Учкыр, Дарваза, Ёркин, Купук, Такыр, Топджульба, Гиммерли, Чашхын, Атабай, Сакарчага, Джералтакыр и др.	Гарбий Тошли, Шаркий Тошли, Кувачи-Алат, Ислим, Ачак, Наип, Байрамали, Шарапли, Кели, Шатлык, Майское, Марыйское, Шехитли-Джуджукли, Беурдешик, Фараб, Яшлар, Даулетабад-Донмезское и др.

Таким образом, становится еще более очевидной необходимость опоискования мело-

вых отложений на каждой структурной и литологической ловушке, независимо от того, залегают они непосредственно на продуктивной карбонатной толще или на мощной толще САФ.

Степень изученности проблемы. Из многочисленных исследований, характеризующих перспективы нефтегазоносности меловых отложений БХНГР, особого внимания заслуживают научные отчеты и публикации А.М.Акрамходжаева, В.П.Алексеева, А.Г.Бабаева, Р.А.Габрильян, З.С.Ибрагимова, А.Г.Ибрагимова, Х.К.Исматуллаева, А.К. Каримова, И.В.Кушнирова, Х.Х.Миркамалова, Б.У.Нишанова, К.А.Сотириади, Б.Б.Ситдикова, М.Э.Эгамбердыева, А.Х.Нугманова, Б.С. Хикматуллаева Т.Х.Шоймуротова, Б.И. Хожиева, Н.Ш.Хайитова, М.С.Суннатова и др. Следует отметить, что практически все исследователи, изучавшие нефтегазоперспективность меловых отложений региона отмечают недооцененность потенциала этих отложений на УВ. Очевидно, низкая эффективность поисков залежей нефти и газа в меловых отложениях обусловлена низкой их изученностью.

В настоящее время о нефтегазоперспективности меловых отложений существуют несколько представлений. В 1977 году группа ученых ИГИРНИГМ (М.А. Акрамходжаев, А.Г.Бабаев, М.Э.Эгамбердыев) обосновали наличие самостоятельных нефтегазоматерин-ских свит в отложениях мела. В частности отложения неокома Западного и Южного Узбекистана (валанжин и барремские ярусы, по литофациальным и геохимическим условиям формирования, они рассматривают в целом как нефтегазоматеринские [1]. Однако, по результатам дальнейших исследований А.М.Акрамходжаев и Ш.С.Саидходжаев (1985 г.) по изучению химико-битуминологического генезиса меловых отложений пришли к мнению, что в целом породы неокома характеризуются относительно низким содержанием органических веществ (ОВ) от 0,11 до 0,57 %, соответственно плотность эмиграции УВ с 1 кв.км в неокомских отложениях рассеяна и процессы эмиграции в пределах анализируемой территории протекали очень низко, то есть здесь нефтематеринские свиты отсутствуют [2]. Этим самым мнения специалистов разделились.

Чуть позже, И.С.Старобинец (1992 г) исследуя особенности формирования УВ-залежей в надсолевых отложениях, получил доказательство единства процесса формирования УВ скоплений и аномальных геохимических полей в надсолевом комплексе за счет перетока УВ из подсолевого комплекса [3].

В 1998 году Б.Б.Ситдиков, изучая формирование УВ-залежей в меловых отложениях допускает возможность за счет двух разных и независимых друг от друга источников нефти и газа: за счет собственного генетического потенциала меловых отложений и за счет перетока УВ из нижележащих юрских отложений. Такой переток возможен не только в районах ухудшения экранирующего качества САТ, но и на других участках, где имеются разломы, пересекающие весь мезозойский разрез. Так на Бухарской ступени возникновение месторождений в верхнем и нижнем мелу связывается с перераспределением скоплений газа в верхнеюрской карбонатной толще. Миграция происходит в направлении к северо-западу от Учбаш-Каршинской флексурно-разрывной зоны, концентрируются в зоне отсутствия флюидоупора между юрой и мелом [4]. С аналогичных позиций перспективы нефтегазоносности меловых отложений рассматривались А.Х.Нугмановым [5].

В 2013 году А.Г.Ибрагимов, Н.К.Фортунатова и М.С.Суннатов провели анализ формирования залежей газа в XIV горизонте Чарджоуской (пл. Бузахур) и Богаджинской ступени (месторождения Давлатабад-Донмез, Шехитли-Джутжукли, Фараб), на которые обычно ссылаются сторонники самостоятельности нефтегазообразования в мелу, и пришли к выводу, что залежи в этих месторождениях сформировались за счет перетока газа из юрских отложений посредством разрывных нарушений [6].

Такая же ситуация отмечена и в зоне развития Лянгаро-Караильского разлома и узлов их пересечений Т.Х.Шоймуротовым (2022 г.), где пьезометрические напоры в юрских карбонатных отложениях понижаются с 1096 м (пл. Караиль) до 800-900 м (пл. Бузахур). Если

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

допустить, что направление падения напоров совпадает с направлением горизонтальной миграции УВ, то можно предположить, что в данной флексурно-разрывной зоне горизонтальная миграция УВ сменилась вертикальной, что, возможно, способствовало перетоку флюидов из отложений одного стратиграфического комплекса в другой. Подтверждением могут служить результаты химического анализа проб воды, отобранные из XII и XIV горизонтов меловых отложений пл. Бузахур, где они представлены слабыми рассолами (98,8-114,6 г/л) хлоридно-кальциевого типа, с повышенными значениями растворенных ОВ, характерных для юрского водонапорного комплекса [7, 8].

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что при изучении меловых отложений в регионе специалисты не пришли к единому мнению, в результате чего они пришли к выводу, что продуктивность меловых отложений осуществлялась в двух разных условиях. В связи с этим возникла необходимость пересмотра перспектив нефтегазоносности меловых отложений в данном исследовании.

Результаты исследования. БХНГР является составной частью Амударьинской синеклизы и располагается между Южно-Кызылкумским и Амударьинским региональными разломами. В его пределах по структурно-тектоническим, литолого-фациальным и гидрогеологическим условиям выделяются Бухарской и Чарджоуской ступени (рис. 1.).

Мезозойские отложения региона представляют собой сложный комплекс осадочных образований, сформировавшихся в платформенных условиях и на всей территории широко развиты юрские, меловые, палеогеновые, неогеновые, четвертичные и местами пермо-триасовые отложения, составляющие осадочный чехол. Общая мощность осадочного чехла колеблется от 2500 до 4500 м и выше.

Меловые отложения рассматриваемой территории сложены тремя последовательно сменяющими друг друга во времени толщами: неоком-аптской, альб-сеноманской, турон-сенонской, сформировавшимися в процессе непрерывно нарастающей по масштабу трансгрессии, общая мощность варьирует от 500 до 1800 м [1, 7].

В объеме неоком-апта прослеживаются: карабильская, альмурадская (XIV горизонт), кызылташская (XIII горизонт), окузбулакская и калигрекская (XII горизонт) свиты, представленные, в основном, красноцветными песчаниками, алевролитами и глинами, расслоенными несколькими невыдержанными по простиранию горизонтами мелкогалечных конгломератов.

Начало раннемелового этапа характеризовалось дальнейшим распространением общих погружений, охвативших обширные пространства эпигерцинской платформы. Нисходящие движения характеризуются спокойным режимом. На исследуемой территории происходит накопление преимущественно континентальных и лагунных образований.

Встречаются единичные прослои морского происхождения, что свидетельствует о кратковременном проникновении морских вод.

Морской режим вновь был установлен в начале барремского века (окузбулакская свита) и продолжался в течение всего мелового периода. Аптский век характеризуется расширением морского бассейна с устойчивым режимом. Происходит накопление песчано-глинистых пород и оолитовых известняков.

Средняя часть мелового разреза (альб-сеноман) характеризуется преимущественно глинистым составом нижней секции разреза и песчаным верхней. В верхней части альбских отложений размещается вторая песчаная пачка, включающая прослои известняков-ракушечников и серых глин (XI горизонт). В подошве сеномана выделяется X горизонт, а в верхней его части – IX. Оба горизонта состоят, в основном, из песчаников и песков. Выше IX горизонта располагается глинисто-песчаная пачка с прослоями песков и песчаников, охватывающая отложения турона и большую часть сенона.

Верхняя часть мелового разреза объединяет отложения от верхнесенонских до датских включительно (VIII-VII горизонты). В отличие от нижней красноцветной молассовой и средней

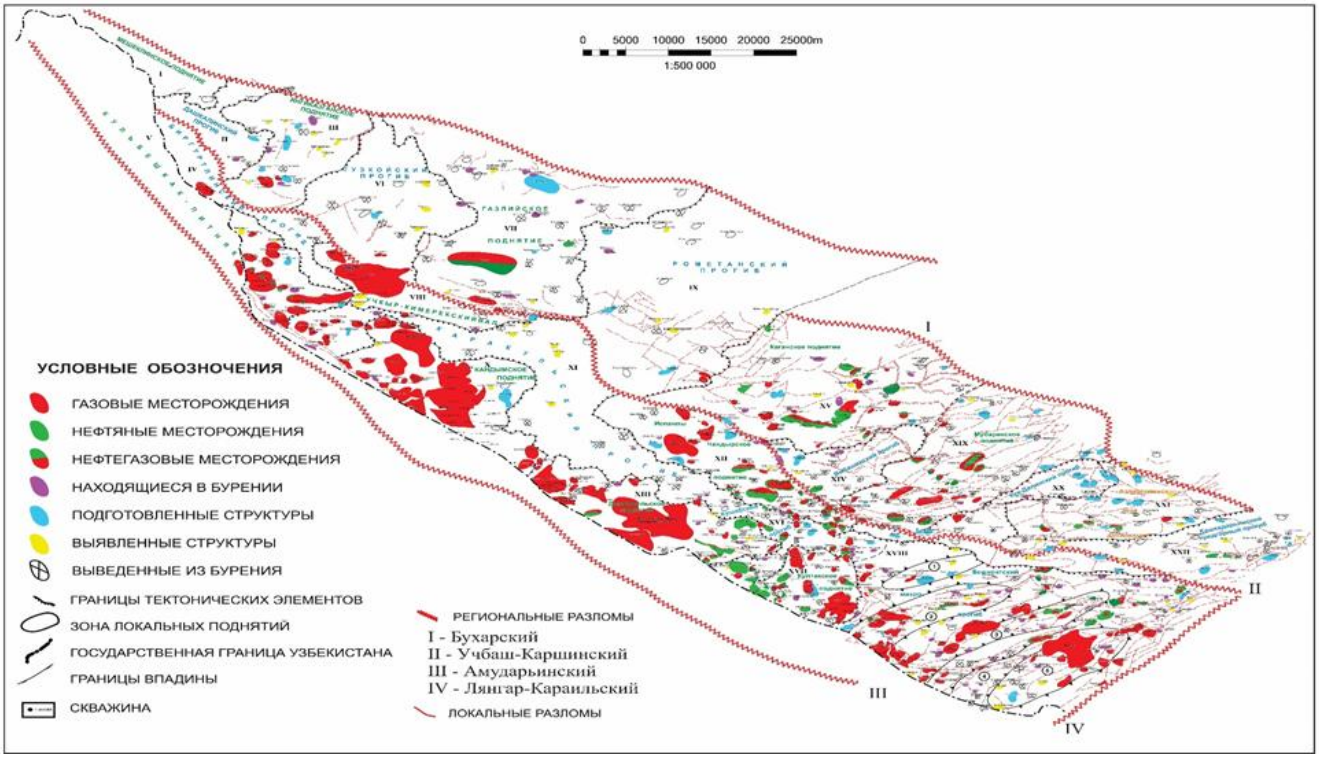


Рис.1. Схематическая тектоническая карта Бухаро-Хивинского региона с размещением месторождений нефти и газа и перспективных площадей.

терригенно-глауконитовой формаций, она представлена породами существенно неоднородного генезиса. Наряду с морскими, здесь развиты типично лагунные образования, а на периферии зон осадконакопления встречаются и отложения континентального генезиса. Именно эта пестрота фациальных условий осадконакопления обусловила гетерогенность петрографического состава пород. Здесь мы встречаем глины и известняки, несомненно морского генезиса, но наряду с ними и загипсованные глины, песчаники, довольно мощные (до 25-30 м) прослои гипсов или ангидритов, красноцветные песчаники и глины, в одних случаях с бесспорной морской фауной, в других – с фауной пресноводных остракод, в-третьих – без фауны.

Эта толща накапливалась в мелководных водоемах, соленость которых прогрессивно повышалась. Временами она достигала величин, свойственных соленым лагунам. Поэтому для осадков этой части мелового разреза характерны такие аутигенные минералы как целестин, ангидрит, гипс, доломит. Эта часть мелового разреза выделена в качестве лагунной формации.

Таким образом, в разрезе меловых отложений БХНГР установлены восемь проницаемых продуктивных горизонтов, разобщенных друг от друга пластами непроницаемых глинистых пород. Самый верхний из них VII горизонт выявлен в отложениях сенона, нижележащий VIII горизонт – в туроне, IX и X – в сеномане, XI – в альбе, XII – в апте и XIII и XIV горизонты – в отложениях неокома. Значит, по четыре горизонта в каждом отделе меловой системы. Литологически все эти горизонты представлены преимущественно песчаниками разной окраски и разной зернистости. Другие типы пород имеют подчиненное значение. При этом следует отметить, что прогнозные ресурсы УВ в меловых отложениях Чарджоуской ступени оцениваются (Ситдиков Б.Б. и др., 1998, 2010 гг.) в объеме 600 млн т.у.т., в том числе 560 млрд. м^3 бессернистого газа и 40 млн. т нефти и конденсата [4]. В общих промышленных запасах углеводородов БХНГР доля меловых отложений составляет 19 %, а юрских 81%.

Приведенные статистические данные как

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

будто говорят, что в БХНГР главным нефтегазоносным комплексом являются только юрские отложения, в которых выявлено более 80 % общих запасов УВ. Однако, по нашему мнению, с таким выводом не следует торопиться. Известно, что в сопредельных территориях Туркмении соотношение запасов в юрских и меловых отложениях прямо противоположно наблюдаемому в Западном Узбекистане. Получается, что в разных частях единого Амударьинского бассейна роль главного нефтегазоносного объекта играют разные стратиграфические комплексы: в узбекской части – юрские, а в соседней туркменистанской – меловые. Вряд ли в природе такое возможно. Не лучше ли объяснять этот факт разной степенью изученности указанных комплексов в разных частях нефтегазоносного бассейна? Это предположение мы считаем более верным. И предполагаем, что в дальнейшем, при достижении одинаковой степени изученности обоих стратиграфических комплексов на всей территории Амударьинского нефтегазоносного бассейна, соотношение запасов в них может измениться, и в конечном счете оба этих комплекса не будут уступать друг другу по своему значению для отрасли. В подтверждение этого вывода приведем следующий факт.

Из 27-ти выявленных в меловых отложениях БХНГР месторождений на 13-ти месторождениях залежи нефти и газа выявлены в обоих стратиграфических комплексах (табл. 2). В меловых отложениях этих месторождений общие запасы углеводородов в виде условного топлива значительно превышают запасы в юрских отложениях и составляют соответственно 83333 и 33420 тысяч тонн условного топлива. При этом запасы газа превышают более чем в два раза (соответственно 71,3 и 30,1 млрд.м^3), а запасы нефти с конденсатом превышают почти в 4 раза (соответственно 12,0 и 3,3 млн.т). Такое же соотношение наблюдается и на 10-ти месторождениях Туркменистана, на которых залежи выявлены в обоих стратиграфических комплексах (Наип, Южный Наип, Ачак, Северный Ачак, Малай, Сейраб, Учаджи, Восточный Учадчи, Бешкызыл и Гугуртли). На этих месторождениях общие балансовые запасы газа составили: в меловых отложениях – 663 млрд.м^3, а в юрских почти в четыре раза меньше – 147 млрд.м^3.

Все вышеизложенное о соотношении запасов в меловых и юрских отложениях дает нам основание для предположения о том, что в БХНГР при целенаправленном опоисковании меловых ловушек, расположенных над залежами в юрских отложениях, в них будут выявлены промышленные запасы УВ, близкие по своему объему к запасам в юрских отложениях или даже превышающие их. А такие ловушки имеются на территории Чарджоуской ступени. Например, на площадях Кандым, Уртабулак, Умид, Зеварды, Култак, Камаши, Бешкент, Шуртан, Северный Нишан Бузахур и др.

Таблица 2.

Месторождения нефти и газа, связанные с юрскими и меловыми отложениями Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона

№	Месторождения	В меловых отложениях				В юрских отложениях			
		Газ млн.м^3	Нефть тыс.т	Конд тыс.т	Усл.топ тыс.т	Газ млн.м^3	Нефть тыс.т	Конд. тыс.т	Усл.топ тыс.т
1	Сеталлантепе	409	-	-	409	78	-	-	78
2	Джаркак	7 655	491	-	8 146	118	265	-	383
3	Караулбазар-Сарыташ	1 124	435	-	1 559	3 904	243	-	4 147
4	Акджар	1 844	-	-	1 844	74	-	-	74
5	Южный Мубарек	23 369	-	1 801	25 170	4 114	-	224	4 338
6	Шурчи	1 737	-	-	1 737	255	-	-	255
7	Учкыр	28 153	-	527	28 680	16 294	-	497	16 791
8	Юлдузкак	281	-	-	281	371	-	-	371
9	Янгиказган	6 421	-	107	6 528	1 988	-	23	2 011
10	Западный Юлдузкак	20	166	-	186	5	30	-	35
11	Восточный Ташлы	-	5 324	-	5 324	764	463	-	1 227
12	Западный Ташлы	-	3 178	-	3 178	-	1 492	-	1 492
13	Алат	286	-	5	291	2 176	-	42	2 218
	Всего запасов:	71 299	9 594	2 440	**83 333**	30 141	2 493	786	**33 420**

Известно, что во всех нефтегазоносных регионах тектонический фактор играет важную роль в размещении залежей нефти и газа. В БХНГР в этом отношении месторождения в меловых отложениях распределены неравномерно. Хотя более четкая и бесспорная закономерность проявлена в контроле меловых залежей структурами второго и третьего порядка. В БХНГР широко развиты линейно вытянутые валообразные поднятия. Они контролируют зоны нефтегазонакопления, а расположенные в их пределах локальные поднятия играют роль конкретных ловушек нефти и газа. Так, на Бухарской ступени роль контролирующих структур второго порядка играют Янгиказганское, Газлийское, Мубарекское, Азлярtепинское линейные поднятия, а расположенные в их пределах многочисленные антиклинальные структуры являются ловушками для месторождений нефти и газа.

Что касается Чарджоуской ступени, то пока мало данных для однозначных выводов, потому что там открыто всего лишь три месторождения (Гарби, Учкыр и Алат-Кувачи). Но и здесь, так же как и на Бухарской ступени, имеются линейно вытянутые структуры второго порядка, а в их пределах – локальные антиклинальные поднятия. Таковы, например, Кульбешкак-Ходжиказганское, Денгизкульское, Испанлы-Чандырское, Зевардинское, Камаши-Бешкентское, Аляудинское и другие линейно вытянутые валообразные поднятия, объединяющие локальные структуры Ходжиказган, Даяхатын, Кульбешкак, Учкыр, Денгизкуль, Уртабулак, Зеварды, Чандыр, Зекры, Бешкент, Камаши, Аляуды, Шуртан и др.

С целью обоснования вышеприведенных выводов и дополнительно аргументировать их другими методами нами были изучены гидродинамические условия подземных вод нижнемеловых отложений Чарджоуской ступени, а также их влияние на формирование и скопление УВ-залежей.

По результатам гидродинамического анализа с учетом вновь накопленных данных по пьезометрии нижнемелового водонапорного комплекса, установлена гидродинамическая обстановка на данной территории. Определены основное и локальное направление движения подземных вод, изменения градиентов пластовой фильтрации, наличие участков с низкой и высокой потенциальной энергией пластовых вод и т.п. Полученные данные были дополнены указаниями на благоприятность для нефтегазонакопления на основе ряда гидродинамических факторов, такие как: скорости движения подземных вод; малые гидродинамические уклоны; резкое изменение направления подземного потока; наличие зон пьезоминимумов, замкнутые и незамкнутые гидродинамические зоны с расчётными данными коэффициентов затруднённости водообмена. По результатам этих характеристик и комплексного гидродинамического анализа были выделены наиболее перспективные локальные площади с рассмотрением отдельных вероятных участков скопления залежей УВ в пределах Чарджоуской ступени (рис. 3).

По гидродинамическим параметрам нижнемеловых отложений территории в районе восточного фланга Денгизкульского поднятия, отмечается резкий перепад приведенных напоров от месторождения Алан (2747 м) к месторождениям Сев. Уртабулак и Памук (709 м и 431 м). Районы этих площадей характеризуются наиболее высокими значениями гидравлических уклонов и скоростей фильтрации пластовых вод, на участке от площади Алан к площади Сев. Уртабулак гидродинамические параметры составляют: $i_ф$ = 58 (уклон) м/км, $V_ф$ = 3,6 см/год (скорость фильтрации), Ψ = 1,1 (коэф. затрудненности). В западном и северо-западном направлениях значения этих параметров постепенно падают: от площади Уртабулак к площади Денгизкуль $i_ф$ = 7,4 м/км, $V_ф$ = 2,3 см/год, Ψ = 1,6; от Денгизкуля в сторону Сев. Шады: $i_ф$ = 3 м/км, $V_ф$ = 0,9 см/год, Ψ = 4,2. Далее в западном направлении от Сев. Шады к площади Алат: $i_ф$=1,68 м/км, $V_ф$ = 0,53 см/год, Ψ = 7,2; и Сев. Сюзьма к площади Гугуртли: $i_ф$ = 0,5 м/км, $V_ф$ = 0,07 см/год, Ψ=52,8.

Особенно резкий перепад напоров обнаружен в районе площадей Зеварды, Юж. Уртабулак, Джарчи и Шода, причем, в этом районе заметны высокие гидравлические уклоны и относительно высокие фильтрационные скорости подземных вод, где вскрыты гидродинамические аномалии, связанные с тектоническими и литологическими экранами – гидроизопьезы незамкнутой формы (гидродинамическая тень).

В западном направлении исследуемой территории отчетливо прослеживается постепенное уменьшение приведенных напоров, гидравлических уклонов, скоростей фильтрации, при постепенном увеличении коэффициента затрудненности движения пластовых вод, связанное с перетоком подземных вод, где на графических схемах изолинии гидравлического напора образуется «замкнутое» понижение в пределах Кульбешкакского и Кандымского поднятий (см. рис. 3).

Таким образом, распределение энергии потенциометрической поверхности пластовых вод мелового водонапорного комплекса исследуемой территории показывает, что основное направление движения подземного

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

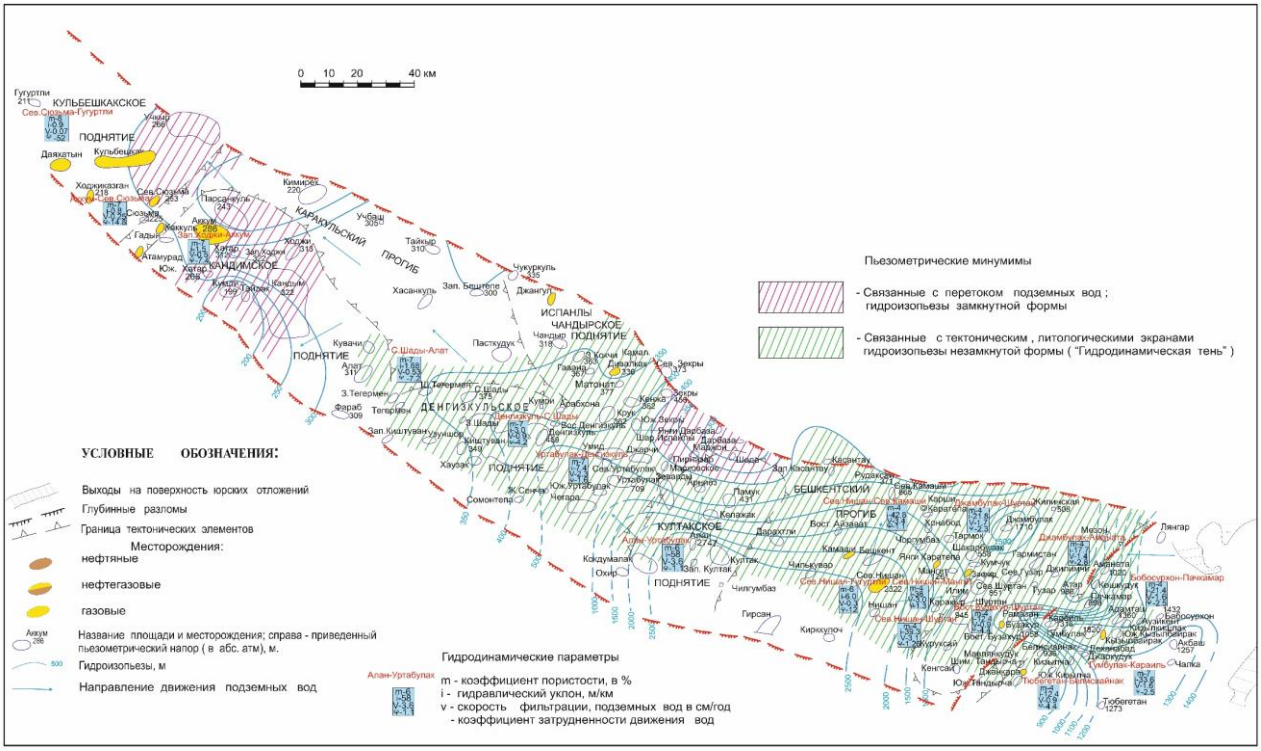


Рис. 3. Схематическая гидродинамическая (гидроизопьез) карта нижнемеловых отложений Чарджоуской ступени.

потока пластовых вод, следовательно- и остальной части флюидов, имеет направление с юга и юго-востока на север и северо-запад, где выявлены локальные участки, соответственно, с низкой и высокой энергиями потока и изменениями в направлении течения подземных вод, на фоне общегидродинамического режима.

Следовательно, установлены участки, которые в структурном плане расположены, в местах, где изолинии гидравлического напора образуют гидродинамические пьезоминимумы (аномалии) связанные с перетоком подземных вод – гидроизопьезы замкнутой формы (Кандымского, Кульбешкакского поднятии), а также с тектоническими и литологическими экранами – гидроизопьезы незамкнутой формы (Денгизкульского, Култакского поднятии и Бешкентского прогиба), являющимися благоприятными зонами для скопления и сохранения УВ-залежей.

Выводы. Таким образом, выяснено, что потенциальные возможности меловых отложений БХНГР далеко еще не исчерпаны. Показано, что имеется реальная возможность значительного расширения их перспективной площади за счет территории Чарджоуской ступени. На этой территории меловые отложения пока еще не изучались в достаточной степени целенаправленными поисковыми работами. Между тем прогнозные запасы в них оцениваются в объеме около 600 млн.тонн условного топлива, в том числе 560 млрд.м^3 газа и 40 млн.т нефти с конденсатом.

Изучением геологических особенностей меловых отложений Чарджоуской ступени и комплексного статистического анализа существующих положительных геологических факторов нефтегазоносности нижнемелового разреза, а также на основе гидродинамического исследования обоснованы перспективы продуктивности отдельных площадей и участков исследуемой территории.

Наличие всех этих факторов в меловых отложениях Чарджоуской ступени уже доказано открытием 3-х месторождений. Далее нужно развивать ГРР, чтобы доказать нефтегазоносный потенциал меловых отложений Чарджоуской ступени так же, как в Бухарской ступени и сопредельных территориях. А для этого, по мнению авторов, имеются все основания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Акрамходжаев, А. М., Бабаев, А. Г., & Эгамбердыев, М. Э. (1973). К уточнению потенциала продуктивности меловых отложений Амударьинского нефтегазоносного бассейна. Узбекский геологический журнал, (5), 3–10.

[2] Эгамбердыев, М. Э., Хикматуллаев, Б. С., Хакимов, У. Х., и др. (1976). Фации, палеогеография, геохимия нефтегазоносных отложений мезозоя Южного и Западного Узбекистана (с. 73–78). Фан.

[3] Старобинец, И. С., Ибрагимов, З. С., & Сиражитдинов, Д. (1971). К вопросу о размещении и формировании залежей нефти и газа на территории Бухаро-Хивинской области. Нефтегазовая геология и геофизика, (5), 17–21.

[4] Ситдиков, Б. Б. (2012). Программа поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений в меловых отложениях Западного Узбекистана. В Актуальные вопросы нефтегазовой геологии и геофизики и возможные пути их решения: материалы республиканской научно-практической конференции (с. 133). АО «ИГИРНИГМ».

[5] Нугманов, А. Х. (2015). Тектонически экранированные ловушки в юрских отложениях Западного Узбекистана – перспективное направление ГРР. Узбекский журнал нефти и газа, специальный выпуск, 111–116.

[6] Ибрагимов, А. Г., Фортунатова, Н. К., & Суннатов, М. С. (2013). Перспективы открытия залежей бессерного газа в меловых отложениях Бешкентского прогиба Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области. Геология нефти и газа, (3), 28–33.

[7] Шоймуротов, Т. Х. (2018). Автореферат диссертации доктора геолого-минералогических наук (с. 46–47). Ташкент.

[8] Шоймуротов, Т. Х., Хайитов, Н. Ш., & Халикулова, Ф. Т. (2022). Потенциал нефтегазоносности меловых отложений Бухаро-Хивинского региона. Вестник Университета геологических наук, (1), 16–24.

[9] Бабаев, А. Г. (1966). Геотектоническая история Западного Узбекистана и региональные закономерности размещения скоплений нефти и газа (с. 8–15). Недра.

[10] Абдуллаев, Г. С., Шоймуротов, Т. Х., & Юлдашев, Ж. Ю. (2009). Мобилистские тенденции в нефтегазовой геологии Узбекистана. Узбекский журнал нефти и газа, (1), 12–14.

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

Шоймуротов, Т. Х., Хонжиев, А. Ж., Жураев, Ф. О., & Ахмедов, Ш. Ш. (2026). Структурно-тектонические особенности и перспективы нефтегазоносности меловых отложений Бухаро-Хивинского региона. Цифровые технологии в промышленности, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.6

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 622.276

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.7

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

MURAKKAB QATLAMLARNI BURG‘ILASH JARAYONIDA SALLNIK HOSIL BO‘LISH JARAYONINI TADQIQ ETISH



Haydarov Islom Qosimovich
Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: islom.haydarov@list.ru
ORCID ID: 0009-0004-6059-4282
Science ID: FQD-0827-0185



Seropov Og‘abek G‘ayrat o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti magistri, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: Seropov1199@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-0411-4449
Science ID: FQD-0827-0356

Annotatsiya. *Ushbu maqolada murakkab geologik sharoitlarda quduqlarni burg‘ilash jarayonida sallnik hosil bo‘lishining gidrodinamik va mexanik mexanizmlari tadqiq etilgan. Quduq tubini samarali yuvish, burg‘ilash jarayonida hosil bo‘ladigan tog‘ jinsi shlamlarini halqa oralig‘i orqali yer yuzasiga olib chiqish hamda ularning burg‘ilash tizmasi yuzasida to‘planishiga ta’sir etuvchi omillar tahlil qilingan. Burg‘ilash qorishmasining oqim tezligi, bosimi va yo‘nalishi, yuvish kanallarining joylashuvi va geometriyasi, dolota konstruksiyasi, burg‘ilash quvurining aylanishi hamda shlam zarrachalarining nisbiy harakati sallnik hosil bo‘lish jarayonini belgilovchi asosiy omillar sifatida ko‘rib chiqilgan. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar asosida shlam zarrachalarining halqa oralig‘idagi spiral trayektoriya bo‘ylab harakati, burg‘ilash quvuri yuzasiga konsentratsiyalanishi va yopishishi uchun qulay sharoitlar aniqlangan. Shuningdek, gidromonitor oqimidan foydalanish, yuvish kanallari va nasadkalarining geometrik parametrlarini maqbullashtirish quduq tubini tozalash samaradorligini oshirishi hamda sallnik hosil bo‘lish xavfini kamaytirishi mumkinligi asoslangan.*

Kalit so‘zlar: *quduq burg‘ilash, murakkab qatlamlar, quduq tubi, gidrodinamika, burg‘ilash qorishmasi, tog‘ jinsi shlami, halqa oralig‘i, sallnik, shlamning ko‘chishi, dolota, yuvish kanallari, gidromonitor oqimi, spiral trayektoriya, nisbiy burchak tezligi, burg‘ilash quvuri.*

Received: 14.09.2026 | Accepted: 04.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ САЛЬНИКА ПРИ БУРЕНИИ СЛОЖНЫХ ПЛАСТОВ

Хайдаров Ислам Касимович
Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент Каршинского государственного технического университета, Карши, Узбекистан

Серопов Огабек Гайрат угли
Магистрант Каршинского государственного технического университета, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы гидродинамические и механические механизмы образования сальника при бурении скважин в сложных геологических условиях. Проанализированы процессы эффективной промывки забоя скважины, выноса шлама горных пород через кольцевое пространство на поверхность, а также факторы, влияющие на накопление шламовых частиц на поверхности бурильной колонны. В качестве основных факторов, определяющих образование сальника, рассмотрены скорость, давление и направление потока бурового раствора, располо-*

жение и геометрия промывочных каналов, конструкция долота, вращение бурильной трубы и относительное движение шламовых частиц. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлены условия, способствующие движению шламовых частиц по спиральным траекториям в кольцевом пространстве, их концентрации и налипанию на поверхность бурильной трубы. Обосновано, что применение гидромониторного потока и оптимизация геометрических параметров промывочных каналов и насадок позволяют повысить эффективность очистки забоя и снизить вероятность образования сальника.
Ключевые слова: *бурение скважин, сложные пласты, забой скважины, гидродинамика, буровой раствор, шлам горных пород, кольцевое пространство, сальник, транспортировка шлама, долото, промывочные каналы, гидромониторный поток, спиральная траектория, относительная угловая скорость, бурильная труба.*

INVESTIGATION OF PACK-OFF FORMATION DURING DRILLING OF COMPLEX FORMATIONS

Khaydarov Islom Kasimovich
Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor at Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Seropov Ogabek Gayrat ugli
Master's Student at Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This study investigates the hydrodynamic and mechanical mechanisms of pack-off formation during well drilling in complex geological conditions. The processes of effective bottom-hole cleaning, transportation of rock cuttings through the annular space to the surface, and the factors contributing to the accumulation of cuttings on the drill-string surface are analyzed. The flow velocity, pressure and direction of the drilling fluid, the location and geometry of the flushing channels, bit design, drill-pipe rotation, and the relative motion of cuttings are considered as the principal factors governing pack-off formation. Based on theoretical and experimental investigations, the conditions promoting the movement of cuttings along spiral trajectories within the annular space, their concentration, and adhesion to the drill-pipe surface are identified. The results indicate that the application of high-velocity hydraulic-jet flow and optimization of the geometric parameters of flushing channels and nozzles can improve bottom-hole cleaning efficiency and reduce the risk of pack-off formation. The proposed approach provides a theoretical basis for improving drilling-hydraulic systems and developing technological solutions aimed at preventing cuttings accumulation during drilling of complex formations.*
Keywords: *well drilling, complex formations, well bottom, hydrodynamics, drilling fluid, rock cuttings, annular space, pack-off, cuttings transport, drill bit, flushing channels, hydraulic-jet flow, spiral trajectory, relative angular velocity, drill pipe.*

Kirish. Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash jarayonida murakkab gilli hamda tuzli qatlamlarni ochib o‘tishda gilli burg‘ilash qorishmalaridan foydalanish quduq tubi va burg‘ilash tizmasining quyi qismi atrofida sallnik hosil bo‘lishi bilan bog‘liq asoratlarni yuzaga keltirishi mumkin [1]. Mazkur hodisa burg‘ilash jarayonining barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatib, burg‘ilash tizmasining harakatlanishi va quduq tubini samarali tozalash jarayonlarini qiyinlashtiradi.

O‘zbekiston hududidagi neft va gaz konlarida ekspluatatsion, izlov-qidiruv hamda boshqa turdagi quduqlarni burg‘ilash ishlari ko‘pincha murakkab geologik sharoitlarda amalga oshiriladi. Hududning geologik tuzilishi, tog‘ jinslari qatlamlarining yotish sharoitlari, qatlam bosimlarining o‘zgaruvchanligi hamda ayrim kesimlarda murakkab tarkibli qizil gilli tog‘ jinslarining mavjudligi burg‘ilash jarayonida turli texnologik asoratlarning yuzaga kelishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shunday asoratlar orasida burg‘ilash tizmasi yuzasida gil materialining to‘planishi va uning natijasida sallnik hosil bo‘lishi alohida ahamiyatga ega.

Sallnik hosil bo‘lish jarayoni suv bilan to‘yingan shlam va gil zarrachalarining dolota yoki burg‘ilash tizmasining yuzasiga yopishib, zich qatlam hosil qilishi bilan tavsiflanadi [2]. Ushbu jarayonda gil zarrachalarining fizik-mexanik

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

xususiyatlari, xususan, ularning namlikni yutishi, plastikligi va zarrachalararo bog‘lanish kuchlari muhim rol o‘ynaydi.

Gil materialining qattiq sirtga yopishishi asosan adgeziya va kogeziya kuchlarining o‘zaro nisbatiga bog‘liq. Kogeziya kuchlari materialning o‘z zarrachalari orasidagi bog‘lanishni, adgeziya kuchlari esa materialning boshqa qattiq sirt bilan o‘zaro yopishishini ifodalaydi. Agar gil materialidagi kogeziya kuchlari nisbatan kamayib, adgeziya kuchlari yetarlicha yuqori bo‘lsa, uning dolota yoki burg‘ilash tizmasi yuzasiga yopishish ehtimoli ortadi [3]. Natijada burg‘ilash tizmasi atrofida gil-shlam qatlamining to‘planishi va sallnik shakllanishi uchun qulay sharoit yuzaga keladi.

Adabiyotlar tahlili va tadqiqot metodlari. Adabiyotlar ma’lumotlarini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, gilli zarrachalarning burg‘ilash qorishmasidan namlikni yutishi ularning fizik-mexanik holatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Namlikni yutish natijasida gil zarrachalari orasidagi ichki kogeziya kuchlari kamayishi, shu bilan birga materialning plastikligi ortishi mumkin. Gil materialining plastikligi esa uning tarkibidagi suv va gil miqdorining nisbatiga bevosita bog‘liq bo‘lib, mazkur bog‘liqlik 1-rasmda keltirilgan [2, 3].

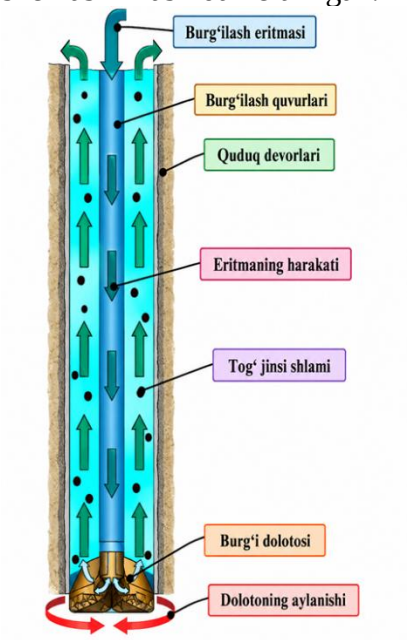
Shu nuqtayi nazardan, sallnik hosil bo‘lish mexanizmini o‘rganishda gilning namlikni yutish xususiyati, plastik holatga o‘tishi, adgeziya va kogeziya kuchlarining nisbati hamda burg‘ilash jarayonidagi gidrodinamik sharoitlarni birgalikda baholash muhim hisoblanadi. Ushbu omillarning o‘zaro ta’siri burg‘ilash tizmasi yuzasida gilli materialning to‘planish intensivligini belgilaydi.



1-rasm. Burg‘ilash tizmasida sallnik hosil bo‘lishi.

Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash jarayonida yuzaga keladigan asoratlarni bartaraf etish va ularning oldini olishga qaratilgan tadqiqotlar Qarshi davlat texnika universiteti tadqiqotchilari hamda “Koson neft-gaz qidiruv ekspeditsiyasi” MChJ burg‘ilash tashkiloti mutaxassislari hamkorligida Buxoro-Xiva neftgazli hududidagi Yarmoq maydonining 9-sonli burg‘ilash qudug‘ida olib borildi. Tadqiqotning asosiy yo‘nalishi burg‘ilash jarayonida hosil bo‘ladigan tog‘ jinsi shlamini halqa oralig‘i orqali yer yuzasiga samarali olib chiqish hamda murakkab qatlamlarni burg‘ilash sharoitida sallnik hosil bo‘lish mexanizmini o‘rganishdan iborat bo‘ldi.

Quduq tubini samarali tozalash va sallnik hosil bo‘lishining oldini olishda burg‘ilash qorishmasining gidravlik oqimi muhim ahamiyatga ega. Amaliy burg‘ilash jarayonida burg‘ilash qorishmasi burg‘ilash quvuri orqali bosim ostida haydalib, quvurning ichki kanali bo‘ylab dolotagacha yetkaziladi. Dolotaning markaziy yoki yon yuvish kanallari orqali chiqayotgan oqim quduq tubiga yo‘naltiriladi. Quduq tubiga yetib kelgan burg‘ilash qorishmasi tog‘ jinslarini mexanik parchalash natijasida hosil bo‘lgan shlamni tub zonasidan ajratib, uni halqa oralig‘i bo‘ylab yer yuzasiga olib chiqadi [4]. Ushbu jarayonning prinsipial sxemasi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Burg‘ilash qorishmasining dolota orqali quduq tubiga yo‘naltirilishi va shlamning halqa oralig‘i bo‘ylab yer yuzasiga chiqarilishi.

Quduq chuqurligining ortib borishi bilan shlamni quduq tubidan yer yuzasiga chiqarish jarayonining gidravlik sharoitlari murakkablashadi. Quduq tubidagi bosimning ortishi natijasida dolotaning yuvish kanallaridan chiqadigan oqimning zarur tezligini ta’minlash va yetarli gidravlik energiyani hosil qilish uchun qo‘shimcha bosim talabi yuzaga keladi. Shu bilan birga, quduq tubida to‘plangan shlam zarrachalarini yuqoriga ko‘tarish jarayoni burg‘ilash qorishmasining gidrostatik bosimi va oqimning gidrodinamik parametrlariga bog‘liq holda kechadi [5].

Quduq tubining shlam bilan yetarli darajada tozalanmasligi burg‘ilash jarayonining mexanik tezligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shlamning tub zonasida to‘planishi dolotaning yangi tog‘ jinsi bilan o‘zaro ta’sirini cheklab, uning burg‘ilash samaradorligini pasaytirishi va bir reys davomida burg‘ilanadigan intervalning qisqarishiga olib kelishi mumkin [6]. Bundan tashqari, shlam zarrachalarining burg‘ilash tizmasi va dolota atrofida to‘planishi sallnik hosil bo‘lishi uchun qulay sharoit yaratadi.

Shu sababli tadqiqot davomida dolotadagi yuvish kanallarining geometriyasi va diametri, yuvish kanallari chiqish kesimidan quduq tubi yuzasigacha bo‘lgan masofa hamda oqimning quduq tubi yuzasiga nisbatan yo‘nalish burchagi asosiy tadqiqot parametrlari sifatida ko‘rib chiqildi. Mazkur parametrlarni maqbullashtirish orqali quduq tubi yuzasida hosil bo‘ladigan oqimning yuvish qobiliyatini oshirish, shlamni samarali ajratib olish va halqa oralig‘i orqali uning yer yuzasiga chiqarilishini yaxshilash imkoniyatlari baholandi. Natijada sallnik hosil bo‘lish xavfini kamaytirish va burg‘ilash jarayonining barqarorligini oshirishga yo‘naltirilgan texnologik yechimlarning samaradorligini baholash uchun asos yaratildi.

Nazariy va eksperimental tadqiqotlar. Nazariy tadqiqotlar, asosan, burg‘ilash jarayonidagi gidravlik parametrlarni hisoblash va ularni matematik modellashtirishga qaratilgan. Bunday yondashuv gidrodinamik jarayonlarning qonuniyatlarini aniqlash imkonini bersa-da, olingan natijalarni bevosita ishlab chiqarish sharoitlariga tatbiq etish imkoniyatlari ayrim hollarda cheklangan. Eksperimental, ya’ni laboratoriya sharoitida olib boriladigan tadqiqotlarning asosiy maqsadi esa burg‘ilash jarayonining amaliy sharoitlari uchun maqbul bo‘lgan empirik bog‘lanishlarni aniqlashdan iborat.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, quduq tubida kechadigan gidrodinamik jarayonlarni fizik va matematik jihatdan to‘liq modellashtirish murakkab masala hisoblanadi. Quduq chuqurligining ortib borishi bilan gidrostatik bosim, oqimning gidravlik qarshiligi va quduq tubidagi oqim sharoitlarining o‘zgarishi mazkur jarayonlarni boshqarishni yanada murakkablashtiradi. Shu sababli quduq tubidagi gidrodinamik jarayonlarning qonuniyatlarini chuqur o‘rganish va ular asosida ilmiy jihatdan asoslangan texnologik yechimlarni ishlab chiqish zarurati ortadi [7]. Mazkur holat tadqiqotlarni ushbu yo‘nalishda yanada chuqurlashtirish uchun asos bo‘ldi.

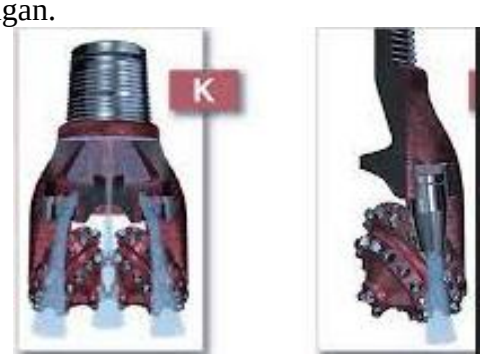
Laboratoriya tajribalari davomida dolotani yuvishning markaziy sxemasidan periferik sxemasiga o‘tish tendensiyasi kuzatildi. Ushbu o‘zgarish, avvalo, uch sharoshkali dolotalarning burg‘ilash amaliyotida keng qo‘llanilishi bilan bog‘liq. Markaziy yuvish kanalidan chiqayotgan yuqori tezlikdagi oqim dolota sharoshkalarining cho‘qqi qismlariga urilganda uning kinetik energiyasining ma’lum qismi yo‘qoladi. Natijada oqim energiyasining bir qismi quduq tubi yuzasiga yetib bormaydi va shlamni tub zonasidan samarali ajratib olish imkoniyati kamayadi.

Yuvish kanallarini dolotaning periferik qismida, ya’ni qo‘shni sharoshkalar orasidagi bo‘shliqlarga joylashtirish orqali yuqori tezlikdagi oqimni bevosita quduq tubi yuzasiga yaqinlashtirish imkoniyati ortadi. Bunda oqimning quduq tubi yuzasiga nisbatan yo‘nalish burchagini maqbul qiymatda tanlash muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur konstruktiv yechim oqimning kinetik energiyasidan samaraliroq foydalanish, quduq tubidagi shlamni tezroq ajratish va uni halqa oralig‘iga yo‘naltirish uchun qulay gidrodinamik sharoit yaratadi.

Shu asosda tadqiqotlarda yuqori bosimli yuvish oqimidan foydalanish va gidromonitor samarasini shakllantirishga alohida e’tibor qaratildi. Gidromonitor samarasi oqimning yuqori tezligi va yo‘naltirilgan kinetik energiyasi hisobiga quduq tubi yuzasiga dinamik ta’sirni kuchaytirish, tog‘ jinsi shlamlarini tub zonasidan samarali ajratish hamda ularning halqa oralig‘i bo‘ylab yuqoriga ko‘tarilishini yaxshilash imkonini beradi. Ushbu

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

yuvish sxemasining prinsipial ko‘rinishi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Dolotaning periferik yuvish sxemasi va yuqori tezlikdagi gidromonitor oqimining quduq tubiga ta’siri.

Ko‘plab eksperimental laboratoriya tajribalari natijasida gidromonitor oqimlaridan foydalanish samaradorligi bo‘yicha muayyan natijalarga erishildi. Tadqiqotlar nafaqat oqim sxemasini tanlash, balki gidromonitor nasadkalarining konstruksiyasi va ularning geometrik parametrlarini takomillashtirishga ham yo‘naltirildi [7]. Nasadkalarni tayyorlashda volfram-kobalt qotishmalari, metallokeramika hamda yuqori yeyilishga chidamli boshqa materiallardan foydalanish ularning ish qobiliyati va xizmat muddatini oshirish imkonini berdi.

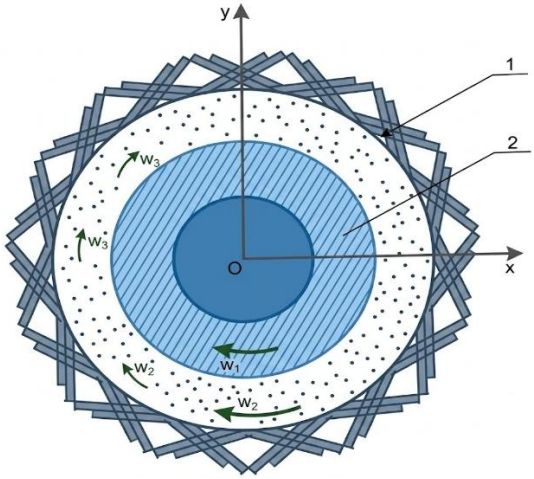
Nazariy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri gidromonitor nasadkalarining ichki kanal geometriyasini maqbullashtirishdan iborat bo‘ldi. Bunda asosiy maqsad yuqori tezlikka ega, barqaror va yo‘naltirilgan oqimni shakllantirishdan iborat edi. Nasadkaning ichki geometrik tuzilishi oqimning gidravlik qarshiligi, chiqish tezligi, oqimning yaxlitligi hamda quduq tubiga uzatiladigan gidravlik energiyaga bevosita ta’sir ko‘rsatadi [8].

Laboratoriya tajribalari natijalari nasadkadan chiqayotgan oqimning shakllanishi uning geometrik o‘lchamlari, oqimning yo‘nalishi, nasadka bilan quduq tubi orasidagi masofa va oqimning orientatsiyasi bilan chambarchas bog‘liqligini ko‘rsatdi. Shuningdek, oqimning quduq tubiga yetib borguncha dinamik barqarorligini saqlashi uning shlamni tub zonasidan ajratib olish va halqa oralig‘iga yo‘naltirish samaradorligini belgilovchi muhim omillardan biri hisoblanadi.

Muhokama. Eksperimental tadqiqotlarning asosiy qismi real burg‘ilash sharoitlariga yaqinlashtirilgan laboratoriya modellarida hamda bevosita Yarmoq-9-sonli burg‘ilash qudug‘ida olib borildi. Tadqiqotlarning samaradorligi, odatda, qo‘yilgan gidravlik va konstruktiv maqbullashtirish vazifalarining ijobiy yoki salbiy natijalari asosida baholandi. Bunday yondashuvning asosiy sababi quduq tubida kechadigan murakkab gidrodinamik jarayonlarni yer ustida barcha tabiiy sharoitlarni to‘liq saqlagan holda fizik jihatdan modellashtirishning nihoyatda murakkabligidir.

Shunga qaramay, quduq tubidagi gidrodinamik jarayonlarni laboratoriya sharoitida modellashtirish imkonini beruvchi maxsus tajriba qurilmalari ishlab chiqilgan. Mazkur qurilmalarda quduq tubiga yaqin zonada harakatlanadigan yuvish suyuqligi oqimlarining tuzilishi va yo‘nalishini vizual kuzatish maqsadida turli rangdagi suyuqlik oqimlaridan foydalanildi. Bunday tajribalar oqimlarning quduq tubi bo‘ylab tarqalishi, ularning o‘zaro ta’siri va tub zonasidagi gidrodinamik strukturaning murakkabligini aniqlash imkonini berdi.

Olingan natijalar sallnik shakllanishi faqatgina shlam miqdorining ortishi bilan emas, balki quduq tubidagi oqimlarning o‘zaro ta’siri, ularning yo‘nalishi, tezligi va shlam zarrachalarining harakatlanish sharoitlari bilan ham bog‘liqligini ko‘rsatadi. Shu sababli sallnik hosil bo‘lish mexanizmini kompleks o‘rganishda oqimning gidrodinamik holati bilan bir qatorda shlam zarrachalarining quduq tubidan ajralishi, ko‘chishi va burg‘ilash tizmasi yuzasida to‘planishi jarayonlarini ham hisobga olish zarur.



4-rasm. Quduqning ko‘ndalang kesimida sallnik hosil bo‘lishining dastlabki dinamik sxemasi.

Mazkur jarayonlarni tavsiflashda dinamik tizimlarda quvvat sarfi qonuniyatidan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Ushbu yondashuv oqim energiyasining quduq tubini tozalash, shlam zarrachalarini harakatga keltirish va ularni halqa oralig‘i orqali yuqoriga ko‘chirish jarayonlariga sarflanishini baholash imkonini beradi.

Quduqning ko‘ndalang kesimida sallnik hosil bo‘lish jarayonining dastlabki dinamik sxemasi 4-rasmda keltirilgan.

Quduqning ko‘ndalang kesimidagi dinamik tizimni tahlil qilishda quduq konturi quduq o‘qining markaziga nisbatan qo‘zg‘almas holatda deb qabul qilinadi. Ushbu markazga nisbatan og‘irlashtirilgan burg‘ilash quvuri (OBQ) ω_1 burchak tezlik bilan aylanadi. Halqa oralig‘ini to‘ldiruvchi va tarkibida shlam zarrachalarini saqlovchi yuvish suyuqligi ham shu markaz atrofida aylanish harakatida bo‘lib, uning burchak tezligi ω_2 bilan ifodalanadi. Shlam zarrachalari esa yuvish suyuqligi oqimi ta’sirida majburiy aylanma harakatga keladi va ularning burchak tezligi ω_3 bilan tavsiflanadi [9].

Mazkur dinamik tizimda burchak tezliklari orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$\omega_1>\omega_2>\omega_3 \quad (1)$$

Ushbu nisbat burg‘ilash quvuri, halqa oralig‘idagi yuvish suyuqligi va unda muallaq holda harakatlanayotgan shlam zarrachalari o‘rtasida nisbiy aylanma harakat mavjudligini ko‘rsatadi. Shunga ko‘ra, asosiy nisbiy burchak tezliklar quyidagicha ifodalanadi:

a) burg‘ilash qorishmasining burg‘ilash quvuriga nisbatan nisbiy burchak tezligi: $\omega_{12}=\omega_1-\omega_2$;

b) shlam zarrachalarining burg‘ilash qorishmasi oqimiga nisbatan nisbiy burchak tezligi: $\omega_{23}=\omega_2-\omega_3$;

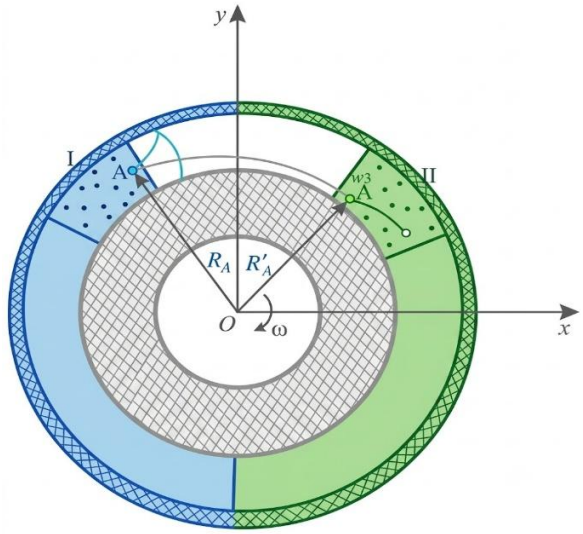
c) shlam zarrachalarining burg‘ilash quvuriga nisbatan nisbiy burchak tezligi: $\omega_{13}=\omega_1-\omega_3$.

Shuni alohida ta’kidlash kerakki, mazkur nisbiy burchak tezliklar dinamik tizimda mavjud bo‘lsa-da, ularni doimiy kattaliklar sifatida qabul qilish mumkin emas. Ularning qiymatlari quduqning geometrik parametrlari, burg‘ilash qorishmasining reologik xossalari, burg‘ilash quvurining aylanish chastotasi, yuvish suyuqligi oqimining tezligi va shlam konsentratsiyasining o‘zgarishiga bog‘liq ravishda vaqt va fazoda o‘zgarib boradi.

Quduqning ko‘ndalang kesimidagi dinamik holatni tahlil qilishda halqa oralig‘idagi oqim tezligining radius bo‘yicha taqsimlanishini alohida parametr sifatida ko‘rib chiqish shart emas. Mazkur tahlilning asosiy e’tibori shlam zarrachalari, yuvish suyuqligi va burg‘ilash quvuri o‘rtasida mavjud bo‘lgan nisbiy harakatlarning o‘zaro ta’siriga qaratiladi.

Aynan shu nisbiy harakatlar halqa oralig‘ida shlam zarrachalarining murakkab trayektoriya bo‘ylab siljishi, ularning quduq devori yoki burg‘ilash quvuri yuzasiga yaqinlashishi va muayyan sharoitlarda to‘planishi uchun zarur dinamik sharoitlarni shakllantiradi. Shu sababli mazkur jarayonni dinamik tizimlarda quvvat sarfi qonuniyati va Mopertyu prinsipi nuqtayi nazaridan tahlil qilish sallnik hosil bo‘lish mexanizmini chuqurroq tushuntirish imkonini beradi.

Mopertyu prinsipi asosida sallnik hosil bo‘lish jarayonini yanada batafsil tahlil qilish uchun keyingi bosqichda shlam zarrachasining halqa oralig‘idagi harakat trayektoriyasi ko‘rib chiqiladi. Bunda zarrachaning aylanma va ilgarilanma harakatlari, yuvish suyuqligi oqimi bilan o‘zaro ta’siri hamda burg‘ilash quvuri yuzasiga nisbatan nisbiy harakati asosiy tahlil obyektlari hisoblanadi.



5-rasm. Shlam zarrachasining halqa oralig‘idagi harakat trayektoriyasi va nisbiy harakat komponentlari.

Faraz qilaylik, halqa oralig‘idagi yuvish suyuqligi burg‘ilash quvurining aylanishi ta’sirida soat strelkasi yo‘nalishida aylanma harakat qilmoqda. Halqa oralig‘ining muayyan sektorida A

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

nuqta tanlanadi. Ushbu nuqta qo‘zg‘almas koordinatalar sistemasida kuzatilganda, tegishli sektor bilan birgalikda soat strelkasi yo‘nalishida aylanma harakat qiladi.

Agar A nuqtaning burg‘ilash qorishmasiga nisbatan holati o‘zgarmagan, ya’ni nisbiy muvozanat saqlangan deb faraz qilinsa, ma’lum vaqt o‘tgach, u II-sektordagi I-holatga o‘tishi kerak bo‘ladi. Biroq dinamik tizimlarda quvvat sarfi qonuniyati va Mopertyu prinsipi nuqtayi nazaridan zarrachaning O markazdan radial masofasi kamayish tendensiyasiga ega [10]. Natijada A nuqta II-sektordagi 3-holatga o‘tadi va bunda:

$$R < R_A \quad (2)$$

Demak, qo‘zg‘almas koordinatalar sistemasida A nuqta 1-holatdan 3-holatga soat strelkasi yo‘nalishida aylanib, bir vaqtning o‘zida markazga tomon siljiydi. Natijada uning trayektoriyasi oddiy aylana emas, balki spiralsimon trayektoriya ko‘rinishini oladi.

Harakatlanuvchi koordinatalar sistemasida esa ushbu harakatning aylanish yo‘nalishi qarama-qarshi — soat strelkasiga teskari yo‘nalishda kuzatiladi. Bunday nisbiy harakat burg‘ilash quvuri bilan yuvish suyuqligi o‘rtasidagi aylanish tezliklarining farqi bilan tavsiflanadi.

Shunday qilib, A nuqtaning qo‘zg‘almas koordinatalar sistemasida spiralga o‘xshash trayektoriya bo‘ylab harakatlanishi dinamik tizimlarda quvvat sarfi qonuniyati va Mopertyu prinsipi bilan izohlanadi. Mazkur kinematik model shlam zarrachalarining halqa oralig‘ida nafaqat aylanma, balki radial yo‘nalishda ham siljishi mumkinligini ko‘rsatadi. Bu holat shlam zarrachalarining burg‘ilash quvurining tashqi yuzasiga tomon konsentratsiyalanishi va keyinchalik sallnik hosil bo‘lish jarayonida ishtirok etishi uchun nazariy asos sifatida qaraladi.

Shlam zarrachasiga ta’sir qiluvchi kuchlar. Shlam zarrachasi spiral trayektoriya bo‘ylab harakatlanib, vaqt o‘tishi bilan burg‘ilash quvurining tashqi yuzasiga yaqinlashadi. Zarrachaning ushbu harakati davomida unga ta’sir qiluvchi kuchlarning yo‘nalishi va o‘zaro nisbati muhim ahamiyat kasb etadi.

Tekislikdagi holat uchun A nuqtaga ta’sir qiluvchi asosiy kuchlardan biri F_1 bo‘lib, u zarrachaning spiral trayektoriya bo‘ylab tezlanishli harakati bilan bog‘liq. F_2 kuchi esa shlam zarrachasining burg‘ilash quvuri tashqi yuzasi bilan o‘zaro mexanik ta’siri natijasida yuzaga keladi.

Ushbu kuchlarning vektor yig‘indisi natijaviy kuchni hosil qiladi:

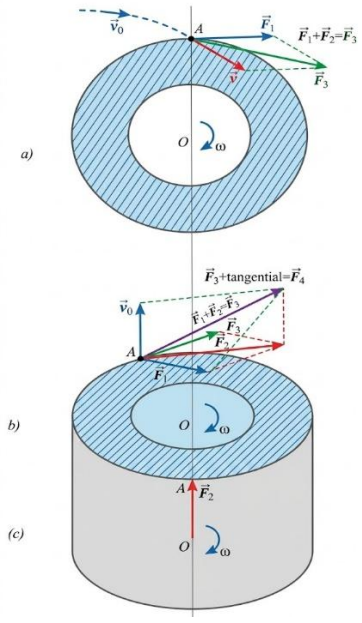
$$\vec{F} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} \quad (3)$$

Natijaviy kuchning yo‘nalishi burg‘ilash quvuri tanasi tomon yo‘nalgan tashkil etuvchiga ega bo‘lishi mumkin. Bunday sharoitda shlam zarrachasining aylanuvchi burg‘ilash quvuri yuzasiga yaqinlashishi va unga bosilishi uchun qulay sharoit yuzaga keladi. Zarrachalarning sirtga bosilishi esa ularning adgeziya xususiyatlari mavjud bo‘lgan taqdirda yopishish ehtimolini oshiradi.

Fazoviy holatda esa A nuqtaga ta’sir qiluvchi kuchlar tizimiga yuvish suyuqligining yuqoriga yo‘nalgan oqimi bilan bog‘liq F_3 kuchi ham qo‘shiladi. Bunday holda zarrachaga ta’sir qiluvchi umumiy kuchlar tizimi quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{F} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} + \overrightarrow{F_3} \quad (4)$$

Bu yerda F_1 — zarrachaning spiral trayektoriya bo‘ylab harakati bilan bog‘liq kuch, F_2 — zarrachaning burg‘ilash quvuri yuzasi bilan o‘zaro ta’sirini ifodalovchi kuch, F_3 esa — yuvish suyuqligining yuqoriga yo‘nalgan oqimi bilan bog‘liq kuchdir.



6-rasm. Shlam zarrachasining spiral trayektoriya bo‘ylab harakati va unga ta’sir qiluvchi kuchlarning sxematik ko‘rinishi.

Mazkur kuchlarning kattaligi va yo‘nalishlari o‘rtasidagi nisbat shlam zarrachalarining halqa oralig‘idagi yakuniy harakat trayektoriyasini

belgilaydi. Ayniqsa, F_3 kuchining ortishi zarrachani yuqoriga olib chiqishga xizmat qilsa, F_1 va F_2 kuchlarining tegishli tashkil etuvchilari zarrachaning burg‘ilash quvuri yuzasiga yaqinlashishi va unda konsentratsiyalanishiga sharoit yaratishi mumkin.

Shu sababli sallnik hosil bo‘lish jarayonini faqat shlam zarrachalarining quduq tubidan yuqoriga ko‘tarilishi bilan izohlash yetarli emas. Zarrachaning aylanma, radial va vertikal harakatlari hamda unga ta’sir qiluvchi kuchlarning o‘zaro nisbatini birgalikda baholash zarur. Ushbu yondashuv burg‘ilash quvuri yuzasida shlamning to‘planishi va sallnik shakllanishining dinamik mexanizmini yanada to‘liqroq tushuntirish imkonini beradi.

Natijalar. Yuqorida keltirilgan nazariy va eksperimental tahlillar sallnik hosil bo‘lishining fizik mohiyatini tushuntirish hamda uning dinamik mexanizmini aniqlash imkonini berdi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, sallnik hosil bo‘lishi tasodifiy hodisa emas, balki muayyan gidrodinamik va mexanik sharoitlarda yuzaga keladigan obyektiv fizik jarayon hisoblanadi.

Halqa oralig‘idagi oqimning tezlik maydoni, burg‘ilash quvurining aylanishi, shlam zarrachalarining nisbiy harakati hamda burg‘ilash qorishmasining reologik xossalari sallnik shakllanishini belgilovchi asosiy omillar sifatida aniqlandi. Shlam zarrachalarining burg‘ilash quvuri yuzasiga konsentratsiyalanishi oddiy mexanik yopishish jarayoni bilan izohlanmaydi. Bunda zarrachalarning egri chiziqli, xususan, spiralsimon trayektoriya bo‘ylab harakati, nisbiy burchak tezliklari va ularga ta’sir qiluvchi kuchlarning fazoviy taqsimoti muhim rol o‘ynaydi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, burg‘ilash qorishmasining yuqoriga ko‘tarilish tezligi yetarli bo‘lmagan sharoitlarda shlam zarrachalarining halqa oralig‘ida ushlanib qolishi va burg‘ilash quvurining tashqi yuzasiga tomon konsentratsiyalanishi uchun qulay gidrodinamik sharoit yuzaga keladi. Bunday sharoitlarning davom etishi natijasida shlamning lokal to‘planishi kuchayib, sallnik hosil bo‘lish ehtimoli ortadi.

Sallnik hosil bo‘lish mexanizmini chuqur o‘rganish burg‘ilash jarayonida mazkur asoratning oldini olishga qaratilgan texnik va texnologik yechimlarni ishlab chiqish uchun muhim ilmiy asos yaratadi. Tadqiqotda dinamik tizimlarda quvvat sarfi qonuniyatidan foydalanish shlam zarrachalarining harakat trayektoriyasi hamda ularning burg‘ilash quvuri yuzasiga yaqinlashish mexanizmini tushuntirishga imkon beruvchi nazariy yondashuv sifatida qaraldi.

Xulosa. Olingan natijalar quduq tubini yuvish tizimlarini loyihalashda faqat burg‘ilash qorishmasining sarfi va oqim tezligini oshirish bilan cheklanib qolmasdan, oqimning fazoviy tuzilishi, uning asimmetriyasi, burg‘ilash quvurining aylanishi va shlam zarrachalarining nisbiy kinematikasini kompleks ravishda hisobga olish zarurligini ko‘rsatdi.

Quduq tubini samarali tozalash va sallnik hosil bo‘lishining oldini olish uchun yuvish kanallarining joylashuvi, nasadka geometriyasi, oqimning chiqish burchagi, gidravlik bosim va burg‘ilash qorishmasi sarfi kabi parametrlarni o‘zaro bog‘liq holda maqbullashtirish zarurligi aniqlandi. Ayniqsa, gidromonitor oqimining quduq tubi yuzasiga yo‘naltirilishi shlamni tub zonasidan ajratish va uning halqa oralig‘i orqali yuqoriga olib chiqilish samaradorligini oshirishning muhim shartlaridan biri sifatida baholandi.

Mazkur yondashuv kelgusida burg‘ilash dolotalarining gidravlik samaradorligini oshirish, quduq tubida shlamning qayta to‘planishini kamaytirish, dolotaning ish unumdorligini oshirish hamda burg‘ilashning mexanik tezligini barqarorlashtirishga qaratilgan yangi konstruktiv va texnologik yechimlarni ishlab chiqish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Рязанов, Я. А. (2005). Энциклопедия по буровым растворам. Летопись.
[2] Булатов, А. И., Проселков, Ю. М., & Шаманов, С. А. (2003). Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учебник для вузов. Недра-Бизнесцентр.
[3] Басарыгин, Ю. М., Булатов, А. И., & Проселков, Ю. М. (2000). Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. Недра-Бизнесцентр.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[4] Негматов, Ж. Н., Негматова, К. С., Эгамбердиев, Б. Ш., & Рахимов, Х. Ю. (2017). Актуальность и востребованность технологического решения по предупреждению сужения ствола и обвала стенок скважин в глинистых отложениях в процессе бурения нефтегазовых скважин. Композиционные материалы, (2), 76–77.
[5] Аксенова, Н. А., Бахарев, М. С., Гаврилов, Е. И., Грачев, С. И., & Зозуля, Г. П. (2006). Справочник бурового мастера (Т. 1). Инфра-Инженерия.
[6] Ҳайдаров, И. Қ., & Самадов, Ш. Ш. (2019). Аварии при бурении нефтьяных и газовых скважин виды аварий, их причины и меры предупреждения. В Инновацион иқтисодиётдга ўтиш шароитида уй хўжаликларида тадбиркорлик фаолигини оширишнинг иқтисодий ва молявий механизмини такомиллаштириш: Республика амалий анжумани материаллари.
[7] Rahimov, A. A., Murtozayev, A. M., & Haydarov, I. Q. (2022). Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти.
[8] Калинин, А. Г., Власюк, В. И., Ошкордин, О. В., & Скрябин, Р. М. (2004). Технология бурения разведочных скважин (с. 146–170).
[9] Калинин, А. Г., Ганджумян, Р. А., & Мессер, А. Г. (2005). Справочник инженера-технолога по бурению глубоких скважин (с. 314–377). Недра-Бизнесцентр.
[10] Умедов, Ш. Х. (2010). Разработка составов промывочных жидкостей для бурения скважин на сильноминерализованной пластовой воде [Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук]. Ташкент.

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

Haydarov, I. Q., & Seropov, O. G. (2026). Murakkab qatlamlarni burg‘ilash jarayonida sallnik hosil bo‘lish jarayonini tadqiq etish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.7

UO‘K: 553.3.078:553

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.8

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

AYTIM MA’DANLI MAYDONI OLTIN MA’DANLARINING MINERALOGIK-PETROGRAFIK XUSUSIYATLARI VA MODDIY TARKIBI



Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich

Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: lochin2930@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-2805-5798
Science ID: MAN-0525-0068



Movlanov Jaxongir Jo‘rabekovich

Direktor, Geoinnovatsion texnologiyalar markazi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: jahongir79@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-8850-1157
Science ID: DJZ-0425-0002



Rahmatullayev Ilhom Farmonqul o‘g‘li

Muhandis geolog, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: rahmatullayevilhom587@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-1306-0442
Science ID: BSR-0525-0012

Annotatsiya. *Maqolada Aytim ma’danli maydonining ma’dan qamrovchi tog‘ jinslari petrografiyasi, gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlari, oltin va sulfid mineralizatsiyasining moddiy tarkibi hamda mineral assotsiatsiyalari kompleks o‘rganilgan. Tadqiqotlar 48 ta shaffof shlifni polyarizatsion mikroskopda, ma’dan namunalaridan tayyorlangan anshliflarni mineragrafik usulda o‘rganish va 133 ta elektron-mikrozond aniqlash natijalarini tahlil qilish asosida olib borilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, maydonda Koksoy svitasining tufogen-terrigen metamorflashgan jinslari, seritsit-xloritli va uglerodli slaneslar, karbonat jinslar, kvars-karbonatli brekchiyalar hamda intensiv o‘zgargan granit-porfirlar keng tarqalgan. Seritsitlanish, xloritlanish, kvarslanish va karbonatlanish asosiy gidrotermal-metasomatik jarayonlar sifatida aniqlangan. Oltin asosan 0,0048–0,024 mm o‘lchamdagi nozik dispers ajralmalar ko‘rinishida uchrashi va sfalerit donalari chekkasi, mayda kvars tomirchalari hamda uglerodli modda bilan fazoviy bog‘liqligi aniqlangan. Pirit-arsenopirit assotsiatsiyasi erta sulfid bosqichini, xalkopirit-sfalerit-galenit-shternbergit-stefanit majmuasi esa kechki oltin-polisulfid bosqichini ifodalaydi. Olingan natijalar Aytim ma’danli maydonida oltin ma’danlashuvini prognozlash va keyingi qidiruv-baholash ishlarini yo‘naltirish uchun kompleks litologik, strukturaviy va mineralogik mezonlarni asoslash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *Aytim ma’danli maydoni, oltin ma’danlashuvi, petrografiya, mineralogiya, uglerodli slaneslar, seritsitlanish, xloritlanish, kvarslanish, karbonatlanish, kvars-karbonat tomirlanishi, pirit-arsenopirit, sfalerit, elektron-mikrozond tahlili, Bukantov.*

Received: 19.09.2026 | Accepted: 04.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТЫХ РУД РУДНОГО ПОЛЯ АЙТЫМ

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Абдуллаев Лочинбек Анваржонович
Младший научный сотрудник, Институт геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Мовланов Джахонгир Жорабекович
Директор, Центр геоинновационных технологий, Ташкент, Узбекистан

Рахматуллаев Илхом Фармункул угли
Инженер-геолог, Институт геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье комплексно изучены петрографические особенности рудовмещающих пород рудного поля Айтым, гидротермально-метасоматические изменения, вещественный состав золотого и сульфидного оруденения, а также минеральные ассоциации. Исследования выполнены на основе петрографического изучения 48 прозрачных шлифов в поляризационном микроскопе, минераграфического анализа полированных аншлифов рудных проб и интерпретации 133 электронно-микрозондовых определений. Установлено широкое распространение метаморфизованных туфогенно-терригенных пород коксайской свиты, серицит-хлоритовых и углеродистых сланцев, карбонатных пород, кварц-карбонатных брекчий и интенсивно изменённых гранит-порфиров. Основными гидротермально-метасоматическими процессами являются серицитизация, хлоритизация, окварцевание и карбонатизация. Золото преимущественно представлено тонкодисперсными выделениями размером 0,0048–0,024 мм, пространственно связанными с краевыми частями зёрен сфалерита, тонкими кварцевыми прожилками и углеродистым веществом. Пирит-арсенопиритовая ассоциация характеризует раннюю сульфидную стадию, а халькопирит-сфалерит-галенит-штернбергит-стефанитовая ассоциация — позднюю золото-полисульфидную стадию. Полученные результаты позволяют обосновать комплекс литологических, структурных и минералогических критериев для прогнозирования золотого оруденения и проведения дальнейших поисково-оценочных работ.*

Ключевые слова: *рудное поле Айтым, золотое оруденение, петрография, минералогия, углеродистые сланцы, серицитизация, хлоритизация, окварцевание, карбонатизация, кварц-карбонатные прожилки, пирит-арсенопирит, сфалерит, электронно-микрозондовый анализ, Букантау.*

MINERALOGICAL AND PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS AND MATERIAL COMPOSITION OF GOLD ORES OF THE AYTIM ORE FIELD

Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich
Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Movlanov Jaxongir Jorabekovich
Director, Center for Geoinnovative Technologies, Tashkent, Uzbekistan

Rahmatullayev Ilhom Farmonqul ugli
Geological Engineer, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article presents a comprehensive study of the petrography of ore-hosting rocks, hydrothermal-metasomatic alterations, the material composition of gold and sulfide mineralization, and mineral associations of the Aytim ore field. The study is based on petrographic examination of 48 transparent thin sections using polarized-light microscopy, mineragraphic analysis of polished ore sections, and interpretation of 133 electron-microprobe determinations. The results indicate that the ore field is dominated by metamorphosed tuffogenic-terrigenous rocks of the Koksoy Formation, accompanied by sericite-chlorite and carbonaceous schists, carbonate rocks, quartz-carbonate breccias, and intensely altered granite-porphyry. Sericitization, chloritization, silicification, and carbonatization are identified as the principal hydrothermal-metasomatic processes. Gold occurs predominantly as fine-dispersed grains ranging from 0.0048 to 0.024 mm in size and is spatially associated with the margins of sphalerite grains, fine quartz veinlets, and carbonaceous matter. The pyrite-arsenopyrite assemblage represents an early sulfide stage, whereas the chalcopyrite-sphalerite-galena-sternbergite-stephanite assemblage characterizes a later gold-polysulfide stage. The obtained results provide a basis for establishing integrated lithological, structural, and mineralogical criteria for predicting gold*

mineralization and guiding further exploration and evaluation activities.
Keywords: *Aytim ore field, gold mineralization, petrography, mineralogy, carbonaceous schists, sericitization, chloritization, silicification, carbonatization, quartz-carbonate veining, pyrite-arsenopyrite, sphalerite, electron-microprobe analysis, Bukantau.*

Kirish. Aytim ma'danli maydoni Markaziy Qizilqumda, Bukantov balandliklarining janubi-g'arbiy qismida, Ayakashi braxiantiklinali doirasida joylashgan va ma'muriy jihatdan Navoiy viloyati Uchquduq tumaniga mansub [1, 2]. Maydon geologik tuzilishida Koksoy svitasining cho'kindi-vulkanogen va metamorflashgan hosilalari ustuvor bo'lib, ular asosan shimoli-sharqiy yo'nalishda cho'zilgan, yuqori darajada dislokatsiyalangan va darzlangan zonalar bilan murakkablashgan. Bu holat gidrotermal flyuidlarning harakatlanishi va ma'dan komponentlarining lokal kontsentrat-siyalanishi uchun qulay struktur-litologik muhit shakllantirgan.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Aytimda oltin ma'danlashuvining geologik-qidiruv belgilari, uglerod saqlovchi jinslarning mineralogik-geokimyoviy xususiyatlari hamda ayrim hamroh elementlarning tarqalishi avvalgi tadqiqotlarda yoritilgan [1-5]. Biroq ma'dan qamrovchi jinslar petrografiyasi, gidrotermal-metasomatik o'zga-rishlar, ma'dan minerallarining paragenetik munosabatlari va oltinning mineral tashuvchilari o'rtasidagi bog'liqlikni kengaytirilgan mikroskopik va elektron-mikrozond ma'lumotlar asosida kompleks talqin qilish qidiruv mezonlarini aniqlash uchun muhim ahamiyatga ega.

Ushbu ishning maqsadi Aytim ma'danli maydonida ma'dan qamrovchi tog' jinslarining petrografik xususiyatlarini, asosiy gidrotermal-metasomatik jarayonlarni, oltin va sulfid minerallashuvining moddiy tarkibi hamda bosqichma-bosqich shakllanish xususiyatlarini aniqlash, shuningdek ularning qidiruv-baholash ishlaridagi ahamiyatini asoslashdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasi. Petrografik tadqiqotlar Aytim ma'danli maydonidan olingan 48 ta namuna bo'yicha tayyorlangan 48 ta shaffof shlifni polyarizatsion mikroskopda parallel va kesishgan nikollarda o'rganish asosida bajarildi. Shliflarda mineral tarkib, struktura va tekstura, relikt klastik komponentlar, metamorfik qayta kristallanish belgilari, gidrotermal-metasomatik o'zgarishlar, tomirlanish, brekchiyalanish hamda gipergen oksidlanishning mikroskopik ifodalari baholandi. Ma'dan namunalaridan tayyorlangan anshliflar mineragrafik usulda o'rganilib, ma'dan minerallarining morfologiyasi, o'lchami, o'zaro o'sishmalari va tomir-jins munosabatlari tahlil qilindi. Mineral fazalarning kimyoviy tarkibini aniqlash uchun elektron-mikrozond ma'lumotlari jalb etildi. Sof tug'ma, sulfid, oksid-gidroksid, karbonat, volframat, tog' jinsi hosil qiluvchi va aksessor minerallarga tegishli 133 ta analitik aniqlash natijasi tizimlashtirildi. Natijalar petrografik va mineragrafik kuzatuvlar bilan o'zaro solishtirilib, mineral assotsiatsiyalar hamda ma'dan hosil bo'lish bosqichlari talqin qilindi.

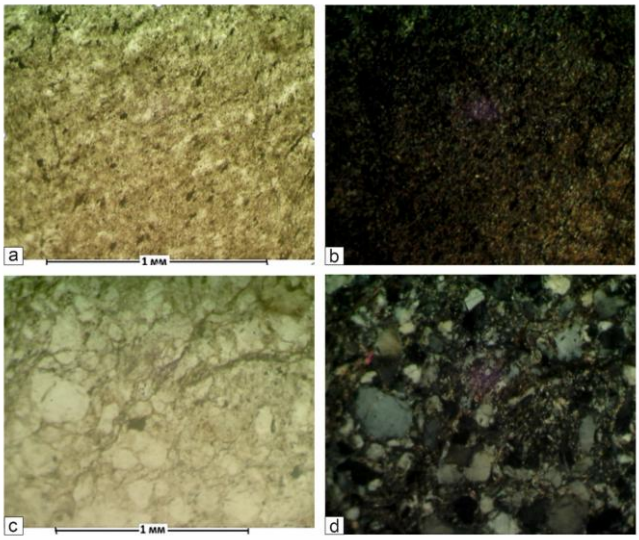
Tahlil va natijalar. Petrografik ma'lumotlarga ko'ra, Aytim maydonida Koksoy svitasining tufogen-terrigen metamorflashgan jinslari asosiy petrofondni tashkil etadi. Ular metaalevrolitlar, metatufoalevrolitlar, metaqum-toshlar va tufopelitoalevrolitlardan iborat. Litoklastik material asosan andezit, andezidatsit va datsit tarkibli vulkan shishasi hamda porfirli gipabissal jinslar bo'laklaridan, kristalloklastik komponentlar esa kvars va plagioklazdan tashkil topgan. Ayrim namunalarda leykoksenlashgan ilmenit, pirit va temirli karbonatlarning mayda ajralmalari qayd etildi.

Metaalevrolitlar uchun blastoalevritli, meta-qumtoshlar uchun blastopsammitli va blastoalevrit-psammitli strukturalar xos. Qatlamli, ingichka tasmasimon, gradatsion-linzasimon va slanetssimon teksturalar birlamchi vulkanogen-cho'kindi tuzi-lishlarning deformatsiya va past darajali metamorfizm sharoitida qisman saqlangan reliktlarini ifodalaydi. Seritsit va xlorit ko'p hollarda vulkan shishasi, plagioklaz va litoklastlar bo'yicha psevdomorf tarzda rivojlangan.

Seritsit-xloritli slaneslar mikrolepidoblastli struktura hamda slanessimon, tasmasimon va linzasimon teksturalar bilan tavsiflanadi. Kvars linza, uya va tarmoqlangan tomirchalar ko'rinishida uchraydi, ayrim uchastkalarda ustunsimon va tolasimon agregatlar hosil qiladi. Uglerodli slaneslarda uglerodli modda jins hajmining 60-65%

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

gacha qismini tashkil etib, vitrenit yoki antraksolitga o‘xshash linzasimon ajralmalar ko‘rinishida namoyon bo‘ladi. Uglerod miqdorining yuqoriligi tufayli bunday jinslar kesishgan nikollarda deyarli izotrop ko‘rinadi.



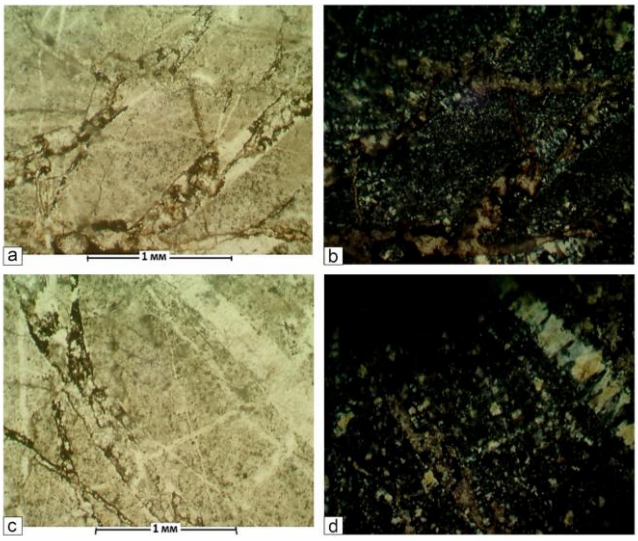
1-rasm. Tufogen metaalevrolit va metaqumtoshlarning mikrostrukturaviy xususiyatlari:
a-b - blastoalevritli strukturali metaalevrolitlar; c-d - blastopsammitli strukturali metaqumtoshlar.

Karbonat jinslar granoblastli yirik donador dolomit, mikrodonador ohaktosh va kalsit sementli ohaktosh brekchiyalari bilan ifodalanadi. Ayrim dolomitli jinslarda dolomit miqdori 95-97% ga yetadi; 0,3-0,8 mm o‘lchamli poligonal donalarda polisintetik va to‘rsimon egizaklanishlar kuzatiladi. Brekchiyalangan ohaktosh bo‘laklari o‘rta-yirik donador kaltsit bilan sementlangan bo‘lib, bo‘lak-sement chegaralari bo‘ylab uglerodli moddaning suturasimon tomirchalari rivojlangan.

Magmatik jinslar ichida Markaziy Bukantov granodiorit-diorit-porfiritli daykali majmuasiga mansub intensiv pelitlangan granit-porfir ajratiladi. U kam porfirli strukturali bo‘lib, kvars va plagioklaz fenokristallari jins hajmining 10-15% ni tashkil etadi. Plagioklaz pelitlangan, qisman sossyuritlangan va albitlangan, asosiy massa esa felzitsimon kaliyli dala shpati, xlorit va gilli-pelitli ikkilamchi mahsulotlardan tarkib topgan.

Gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar va strukturaviy nazorat. Aytim maydonida seritsitlanish va xloritlanish eng keng tarqalgan metasomatik jarayonlar hisoblanadi. Seritsit asosan plagioklaz, vulkan shishasi va porfir jinslarning asosiy massasi bo‘yicha, xlorit esa temir-magniyli vulkanogen komponentlar bo‘yicha rivojlangan. Seritsit tangachalarining slaneslanish klivaji bo‘ylab yo‘nalishi deformatsion jarayonlar bilan metasomatik almashinish o‘rtasida genetik-fazoviy bog‘liqlik mavjudligini ko‘rsatadi.

Kvarslanish va karbonatlanish linzasimon, uya-tomirsimon, tarmoqlangan, tolasimon va ustunsimon agregatlar, shuningdek yaxlit tomir kvarsi hamda kalsit, dolomit va temirli karbonatlarning tomirsimon ajralmalari bilan namoyon bo‘ladi. Kvars-karbonat tomirlarining turli yo‘nalishlarda joylashishi va ularning brekchiyalangan-kataklazlangan jinslarni kesib o‘tishi gidrotermal flyuidlar bir necha impulsda harakatlanganini ko‘rsatadi. Shu nuqtai nazardan darzlik va brekchiya zonalari ma’dan tashuvchi flyuidlarning asosiy o‘tkazuvchi kanallari vazifasini bajargan.



2-rasm. Brekchiyalangan metaalevrolitlardagi tomirli hosilalar:
a-b - karbonat-kvartsli tomirchalar; c-d - kvarts tomirchalari.

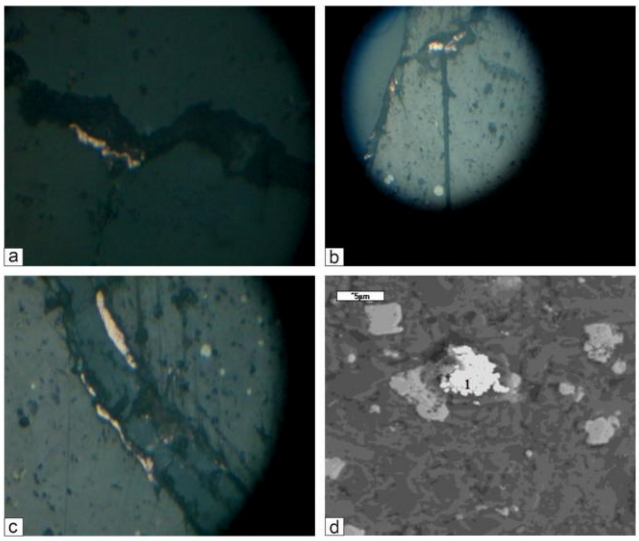
Tomir kvarsining kataklazlangan uchastkalarida temir oksidlarining kriptodonali to‘plamlari va keyingi tomirlanish izlari kuzatiladi. Bu munosabatlar kvarslanish, karbonatlanish va brekchiyalanish bir martalik emas, balki takroriy deformatsiya-gidrotermal impulslar natijasida shakllanganini ko‘rsatadi.

Ma’danlarning mineral tarkibi va oltinning mineral shakllari. Ma’dan namunalari gidrotermal

jarayonlar ta’sirida o‘zgargan va keyinchalik oksidlangan uglerodli slaneslarning turli o‘lchamdagi bo‘laklari bilan bog‘liq. Gidrotermal kvars mayda donador agregatlar hamda tomirlar ko‘rinishida rivojlangan, u seritsit, karbonat minerallari va sulfidlar bilan paragenetik assotsiatsiya hosil qiladi. Tomir kvarsida sulfidlarning oksidlanishi natijasida hosil bo‘lgan bo‘shliqlar va ularni qisman to‘ldiruvchi temir gidroksidlari qayd etilgan.

Mineragrafik tadqiqotlarda sof tug‘ma oltin, kumush, mis va temir, shuningdek pirit, arsenopirit, xalkopirit, xalkozin, kovellin, sfalerit, galenit, xira ma’dan minerallari, shternbergit va stefanit aniqlandi. Noma’dan minerallar kvars, dala shpatlari, seritsit, xlorit, kalsit, ankerit, siderit va uglerodli moddadan, aksessor minerallar esa apatit, barit, bedantit, rutil, monatsit, neodimli monatsit va ksenotimdan tashkil topgan.

Oltin asosan nozik dispers holatda uchraydi. Uning mineral shakllari sof tug‘ma oltin va elektrum bilan ifodalangan. Sof tug‘ma oltin ajralmalari 0,0048-0,024 mm o‘lchamli bo‘lib, ovalsimon, tomirchasimon va murakkab shakllarga ega. Oltinning sfalerit donalarining chekka qismida, mayda kvars tomirchalarida va uglerodli modda bilan fazoviy bog‘liq holda kuzatilishi sfalerit hamda uglerodli muhitning oltinni to‘plash va lokallashtirishda muhim rol o‘ynaganini ko‘rsatadi.



3-rasm. Sof tug‘ma oltin va kumushning ajralish shakllari:

a - oltin kvarts tomirchasida; b-c - oltin sfalerit donasining chekka qismi va tomirchada; d - sof tug‘ma kumush (katt. 400×).

1-jadval

Aytim maydonida ajratilgan asosiy mineral assotsiatsiyalar

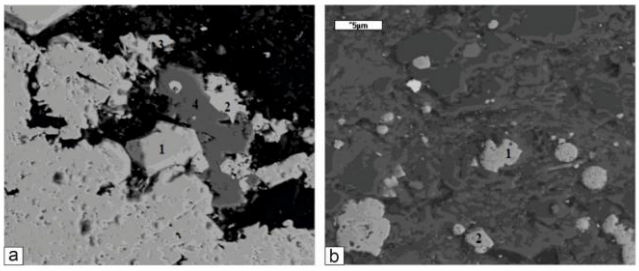
Bosqich	Asosiy minerallar	Mikrostrukturaviy belgi	Talqin
Erta sulfidli	Pirit, arsenopirit	Idiomorf-gipidiomorf donalar, tomirchalar va o‘zaro o‘sishmalar	Gidrotermal sulfidlanishning erta bosqichi
Kechki oltin-polisulfidli	Sof tug‘ma oltin, elektrum, xalkopirit, sfalerit, galenit, xira ma’dan minerallari, shternbergit, stefanit	Sfalerit chekkasida oltin, piritda mayda qo‘shilmalar, polimineral o‘sishmalar	Au-Ag-Cu-Pb-Zn komponentlarining bog‘liq migratsiyasi va qayta taqsimlanishi
Gipergen	Gyotit, gidrogyotit, limonit, yarozit, lepidokrokit	Pirit va temirli karbonatlar bo‘yicha psevdomorfozalar; darzliklar bo‘ylab to‘planish	Birlamchi sulfid va karbonatlarning oksidlanish zonasida qayta o‘zgarishi

Sulfid minerallarining paragenetik munosabatlari. Pirit ma’danli namunalarda mayda va yirik xol-xol ajralmalar, uyalar, kesib o‘tuvchi va qatlamlararo tomirchalar ko‘rinishida uchraydi. Donalarining o‘lchami 0,0025-0,175 mm bo‘lib, kubsimon, pentagondodekaedrik va ayrim hollarda notog‘ri shakllar hosil qiladi. Pirit ko‘pincha arsenopirit bilan birga uchraydi va sof tug‘ma temir, xalkopirit, shternbergit, kovellin, stefanit, sfalerit hamda xira ma’dan minerallari bilan o‘sishmalar hosil qiladi.

Arsenopiritning 0,02-0,1 mm o‘lchamli prizmasimon va rombsimon donalari pirit bilan zich o‘sishgan agregatlar hosil qiladi. Pirit va arsenopirit nisbatan erta sulfid assotsiatsiyasi sifatida talqin qilinadi. Xalkopirit, sfalerit, galenit, xira ma’dan minerallari, shternbergit va stefanit esa kechki oltin-polisulfid paragenetik assotsiatsiyasiga mansub.

Sfalerit ajralmalarining o‘lchami 0,02-0,24 mm gacha o‘zgaradi. U pirit va xira ma’dan minerallari bilan o‘sishmalar hosil qilib, ayrim hollarda sof tug‘ma oltinning bevosita mineral tashuvchisi sifatida namoyon bo‘ladi. Shternbergitning pirit bilan o‘sishmalari va stefanitning mavjudligi kumushning sulfid-sulfotuz shakllarida kechki minerallashuv bosqichiga jalb etilganini ko‘rsatadi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026



4-rasm. Sulfidli va aksessor minerallarning o‘zaro o‘sishmalari:
a - 1-pirit, 2-xalkopirit, 3-kovellin, 4-siderit; b - 1-pirit, 2-stefanit.

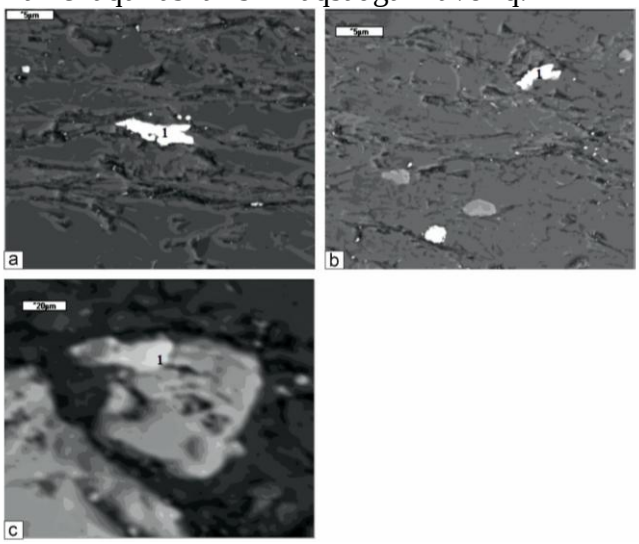
2-jadval

Ayrim minerallarning elektron-mikrozond tahlili bo‘yicha tarkibi

Mineral	Formula	Asosiy komponentlar, mas.%
Sof tug‘ma kumush	Ag	Ag 91,12-99,17; S, Fe, Ni, Cu, Zn - aralashmalar
Sof tug‘ma mis	Cu	Cu 98,84-99,26; Fe 0,67-0,74; Ag 0,49
Pirit	FeS_2	S 50,79-53,73; Fe 46,64-48,75; Ni 0,22-0,27; Zn 0,30-0,47
Arsenopirit	FeAsS	S 20,46; Fe 36,51; As 43,03
Xalkopirit	$CuFeS_2$	S 40,98; Fe 29,53; Cu 29,49
Galenit	PbS	Pb 84,31; S 9,37; Se 3,71; Fe 2,31
Sfalerit	ZnS	Zn 55,25-62,27; S 31,97-32,81; Fe 4,72-8,88; Cd 0,54-2,02; Cu 0,51-4,54
Shternbergit	$AgFe_2S_3$	Ag 33,80-61,69; S 19,32-34,78; Fe 16,66-31,42; Cu 1,17; Zn 1,16
Stefanit	Ag_5SbS_4	Ag 73,89; Sb 12,30; S 14,31
Ankerit	$(Mg,Fe)Ca(CO_3)_2$	CaO 23,22-28,55; MgO 12,78-15,00; Fe_2O_3/FeO 7,69-13,21
Neodimli monatsit	REE-fosfat	Ce_2O_3 11,45-40,64; La_2O_3 9,24-15,60; Nd_2O_3 8,23-25,08; ThO_2 0,47-4,88
Ksenotim	YPO_4	Y_2O_3 42,43; P_2O_5 34,15; Dy_2O_3 7,05; Er_2O_3 4,52; Gd_2O_3 2,86; Ho_2O_3 1,94

Elektron-mikrozond ma’lumotlari va aksessor minerallar. Elektron-mikrozond tahlillari asosiy ma’dan minerallarining stexiometrik tarkibini tasdiqlaydi va ularda Cu, Zn, Fe, Cd, Ni, Sb, Se kabi komponentlarning izomorf yoki mexanik aralashmalar sifatida ishtirok etishini ko‘rsatadi. Xususan, sfaleritda Fe 4,72-8,88%, Cd 0,54-2,02% va Cu 0,51-4,54% oralig‘ida; shternbergitda Ag 33,80-61,69%, Fe 16,66-31,42% bo‘lib, Cu va Zn aralashmalari ham qayd etilgan. Stefanit tarkibi Ag 73,89%, Sb 12,30% va S 14,31% bilan ifodalangan.

Aksessor minerallar orasida neodimli monatsit va ksenotimning aniqlanishi maydon jinslarida kamyob yer elementlarining mineral tashuvchilari mavjudligini ko‘rsatadi. Neodimli monatsit tarkibi Ce, La, Nd, Pr, Sm, Gd va Th komponentlariga boy va o‘zgaruvchan. Ksenotim esa Y, Dy, Er, Gd, Ho va Sm bilan xarakterlanadi. Bu minerallarning fazoviy va paragenetik munosabatlarini maxsus geokimyoviy tadqiqotlar bilan chuqurlashtirish maqsadga muvofiq.



5-rasm. Neodimli monatsit va ksenotim ajralmalarining tarkibiy-morfologik xususiyatlari:
a-b - neodimli monatsit; c - ksenotim.

Gipergen o‘zgarishlar va ma’dan hosil bo‘lish bosqichlari. Pirit va temirli karbonatlar bo‘yicha gyotit, gidrogyotit va limonit psevdo-morfozalarining rivojlanishi, shuningdek ayrim jinslarda yarozit va lepidokrokitning uchrashi birlamchi sulfid va temir-karbonat minerallarining gipergen oksidlanish zonasida qayta o‘zgarganini ko‘rsatadi. Oksidlanish mahsulotlarining darzliklar, klivaj tekisliklari, tomir-jins kontaktlari va sulfid ajralmalari bo‘ylab joylashishi gipergen flyuidlar harakati ham struktur nazoratga ega bo‘lganini ko‘rsatadi.

Petrografik, mineragrafik va elektron-mikrozond ma’lumotlarining o‘zaro muvofiqligi Aytimda ma’dan hosil bo‘lish jarayonining ko‘p bosqichli ekanini ko‘rsatadi. Dastlab vulkanogen-cho‘kindi jinslar deformatsiya va past darajali metamorfik qayta o‘zgarishga uchragan. Keyin seritsitlanish va xloritlanish bilan birga kvarslanish-karbonatlanishning takroriy impulslari rivojlangan. Bu jarayondan so‘ng pirit-arsenopiritli erta sulfid

assotsiatsiyasi, keyin esa oltin-polisulfid minerallashuvi shakllangan. Eng so‘nggi bosqich sulfidlar va temirli karbonatlarning gipergen oksidlanishi bilan ifodalanadi.

Qidiruv mezonlari va ilmiy-amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalari Aytim ma’danli maydonida oltin ma’danlashuvini prognozlash va lokallashtirishda bir necha o‘zaro bog‘liq belgilarni kompleks qo‘llash zarurligini ko‘rsatadi. Litologik mezon sifatida seritsit-xloritli metatufogen jinslar va uglerodli slanetslar; struktur mezon sifatida brekchiyalangan, kataklazlangan va turli yo‘nalishdagi darzliklar kesishgan uchastkalar; gidrotermal mezon sifatida kvars-karbonat tomirlanishi, seritsitlanish, xloritlanish va karbonatlanish muhim hisoblanadi.

Mineralogik jihatdan pirit-arsenopirit assotsiatsiyasi, sfalerit bilan bog‘liq nozik dispers oltin, kechki xalkopirit-sfalerit-galenit-shternbergit-stefanit assotsiatsiyasi hamda sulfidlar bo‘yicha rivojlangan oksidlanish mahsulotlari istiqbolli uchastkalarni ajratishda indikator belgilar vazifasini bajarishi mumkin. Ushbu belgilarning alohida emas, balki fazoviy va paragenetik majmua sifatida baholanishi qidiruv-baholash ishlarining samaradorligini oshiradi.

Xulosa va takliflar. Aytim ma’danli maydonida Koksoy svitasining tufogen-terrigen metamorflashgan jinslari ustuvor bo‘lib, ularga seritsit-xloritli va uglerodli slaneslar, karbonat jinslar, kvars-karbonatli brekchiyalar va intensiv o‘zgargan granit-porfirlar hamrohlik qiladi. Seritsitlanish, xloritlanish, kvarslanish va karbonatlanish asosiy gidrotermal-metasomatik jarayonlardir. Kvars-karbonat tomirlarining brekchiyalangan va kataklazlangan zonalarni kesib o‘tishi flyuid harakatining ko‘p impulsli va struktur nazoratlangan xususiyatini ko‘rsatadi. Oltin asosan 0,0048-0,024 mm o‘lchamli nozik dispers ajralmalarda uchraydi va sfalerit donalari chekkasi, mayda tomirchalar hamda uglerodli modda bilan fazoviy bog‘langan. Bu sfalerit va uglerodli muhitni oltin lokallashuvining muhim mineralogik omillari sifatida baholash imkonini beradi. Pirit-arsenopirit assotsiatsiyasi erta sulfid bosqichini, xalkopirit-sfalerit-galenit-xira ma’dan-shternbergit-stefanit majmuasi esa kechki oltin-polisulfid bosqichini ifodalaydi. Keyingi gipergen o‘zgarishlar gyotit, gidrogyotit, limonit, yarozit va lepidokrokit bilan namoyon bo‘ladi. Seritsit-xloritli metatufogen jinslar, uglerodli slaneslar, brekchiya-kataklaz zonalari, kvars-karbonat tomirlanishi, pirit-arsenopirit assotsiatsiyasi va sfalerit bilan bog‘liq nozik dispers oltin Aytim maydonida keyingi qidiruv-baholash ishlari uchun asosiy kompleks mezonlar sifatida tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Хайдаров, З. Х., Рахимов, Б. З., Авазов, Р. Р., & Мирусманов, М. А. (2017). Поисковые предпосылки и признаки золотого оруденения месторождения Айтым (горы Букантау). Молодой ученый, (16), 209–213.

[2] Мовланов, Ж. Ж., Каршиев, А. Б., & Абдуллаев, Л. А. (2021). Минералогические особенности углеродсодержащих толщ перспективной площади Айтым (Узбекистан). В Шунгитовые породы Карелии: геология, строение, инновационные материалы и технологии «Шунгит-2020-2021»: материалы конференции с международным участием (с. 37–40). КарНЦ РАН.

[3] Сайитов, С. С., Цой, В. Д., & Алимов, Ш. П. (2017). Рениеносность углеродсодержащих пород месторождения Айтым (Центральные Кызылкумы). Геология и минеральные ресурсы, (3), 13–18.

[4] Цой, В. Д., Королева, И. В., Алимов, Ш. П., Расулова, А. В., Сайитов, С. С., & Силаев, В. И. (2016). Минералого-геохимические особенности углеродсодержащих толщ Западного Узбекистана. В Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан: материалы Международной научно-технической конференции (с. 179–184). ГП «НИИМР».

[5] Абдуазимова, З. М., Миркамалов, Р. Х., Цой, В. Д., и др. (2012). Изучение рудоносности древних толщ Западного Узбекистана за 2008–2012 гг.: в 5 книгах. Фонды ГП «ИМР».

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[6] Пирназаров, М. М. (2017). Золото Узбекистана: рудно-формационные типы, прогнозно-поисковые модели и комплексы. ГП «ИМР».

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

Abdullayev, L. A., Movlanov, J. J., & Rahmatullayev, I. F. (2026). Aytim ma'danli maydoni oltin ma'danlarining mineralogik-petrografik xususiyatlari va moddiy tarkibi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.8

UO‘K: 552.3:550.8.05

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.9

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

YERTOSHSOY MAYDONI MAGMATIK TOG‘ JINSLARINING PETROGRAFIK XUSUSIYATLARI (CHOTQOL TOG‘LARI)





Xusainov Xurshid Axmadovich
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti dotsenti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: x-xusainov1985@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-8627-6160
Science ID: FTN-0926-0027

Bektemirov Lazizbek Sirojiddin o‘g‘li
Magistrant, Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: lazizbekbektemirov88@gmail.com
ORCID ID: 0009-0002-3231-7881
Science ID: MSN-0726-0289

Annotatsiya. *Maqolada Yertoshsoy maydonida tarqalgan magmatik tog‘ jinslarining petrografik va petroximik xususiyatlari hamda ularning shakllanish qonuniyatlari o‘rganilgan. Tadqiqotlar dala-geologik kuzatuvlar, shaffof va sayqallangan shliflarning mineralogik-petrografik tahlili hamda tog‘ jinslarining kimyoviy tarkibini qiyosiy baholash asosida olib borilgan. Tadqiqot natijasida hududda dolerit, adamellit, leykogranit va traxiriolit kabi turli tarkibli magmatik jinslarning tarqalganligi aniqlangan. Ularning mineral tarkibi, strukturaviy-teksturaviy xususiyatlari va ikkilamchi o‘zgarishlari tavsiflangan. Petroximik ma’lumotlar magmatik evolyutsiya davomida SiO_2, K_2O va Na_2O miqdorining ortishi, MgO, CaO hamda temir komponentlarining kamayishi bilan ifodalanadigan differensiallanish jarayonini ko‘rsatadi. Granitoid jinslarni kesib o‘tuvchi asos tarkibli dolerit daykalarining mavjudligi Yertoshsoy hududida magmatik jarayonlarning ko‘p bosqichli kechganligini ko‘rsatadi. Olingan natijalar hududning geologik rivojlanish tarixini, magmatik evolyutsiyasini va istiqbolli ma’danlashuv bilan bog‘liq geologik omillarni baholash uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *Yertoshsoy maydoni, Chotqol tog‘lari, magmatik tog‘ jinslari, petrografiya, petroximik xususiyatlar, dolerit, adamellit, leykogranit, traxiriolit, magmatik differensiallanish, subvulkanik jinslar, granitoidlar, gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar.*

Received: 19.09.2026 | Accepted: 04.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД ЕРТОШСАЙСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЧАТКАЛЬСКИЕ ГОРЫ)

Хусаинов Хуршид Ахмадович
Доцент Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан

Бектемиров Лазизбек Сироджиддин угли
Магистрант Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы петрографические и петрохимические особенности магматических горных пород, распространённых на Ертошсайской площади, а также закономерности их формирования. Исследования выполнены на основе полевых геологических наблюдений, минералого-петрографического анализа прозрачных и полированных шлифов и сравнительной оценки химического состава горных пород. Установлено распространение на исследуемой территории магматических пород различного состава, включая долериты, адамеллиты, лейкограниты и трахириолиты. Охарактеризованы их минеральный состав, струк-*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

турно-текстурные особенности и вторичные изменения. Петрохимические данные свидетельствуют о процессе магматической дифференциации, выражающемся в увеличении содержания SiO_2, K_2O и Na_2O и одновременном снижении содержания MgO, CaO и железистых компонентов в ходе магматической эволюции. Наличие даек долеритов основного состава, пересекающих гранитоидные породы, свидетельствует о многоэтапном характере магматических процессов в пределах Ертошсайской площади. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения геологической истории развития территории, закономерностей магматической эволюции и оценки геологических факторов, связанных с перспективами оруденения.
Ключевые слова: *Ертошсайская площадь, Чаткальские горы, магматические горные породы, петрография, петрохимические особенности, долерит, адамеллит, лейкогранит, трахириолит, магматическая дифференциация, субвулканические породы, гранитоиды, гидротермально-метасоматические изменения.*

PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF MAGMATIC ROCKS OF THE YERTOSHSOY AREA (CHATKAL MOUNTAINS)

Xusainov Xurshid Axmadovich
Associate Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan

Bektemirov Lazizbek Sirojiddin ugli
Master's Student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article investigates the petrographic and petrochemical characteristics of igneous rocks distributed in the Yertoshsoy area and the patterns of their formation. The study was conducted based on field geological observations, mineralogical and petrographic analysis of thin and polished sections, and a comparative assessment of the chemical composition of the rocks. The results revealed the occurrence of igneous rocks of different compositions, including dolerite, adamellite, leucogranite, and trachyrhyolite. Their mineral composition, structural and textural characteristics, and secondary alteration features were described. Petrochemical data indicate a magmatic differentiation process characterized by an increase in SiO_2, K_2O, and Na_2O contents and a simultaneous decrease in MgO, CaO, and iron components during magmatic evolution. The occurrence of basic dolerite dikes cutting granitoid rocks indicates that magmatic processes in the Yertoshsoy area developed through several stages. The results provide a scientific basis for clarifying the geological evolution of the area, understanding magmatic differentiation, and assessing geological factors associated with the prospectivity of mineralization.*
Keywords: *Yertoshsoy area, Chatkal Mountains, igneous rocks, petrography, petrochemical characteristics, dolerite, adamellite, leucogranite, trachyrhyolite, magmatic differentiation, subvolcanic rocks, granitoids, hydrothermal-metasomatic alterations.*

Kirish. O‘zbekiston Respublikasida mineral-xomashyo bazasini mustahkamlash, qimmatbaho metallar resurslarini kengaytirish hamda geologiya-qidiruv ishlarining samaradorligini oshirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 27-iyuldagi PF-116-son Farmonida geologiya tarmog‘ini modernizatsiya qilish, istiqbolli maydonlarni zamonaviy geologik, geokimyoviy va geofizik usullar asosida kompleks o‘rganish, foydali qazilmalar zaxirasini ko‘paytirish hamda mineral-xomashyo bazasini rivojlantirish bo‘yicha muhim vazifalar belgilangan.

Ayniqsa, oxirgi yillarda oltin, kumush, hamda nodir yer elementlariga e’tibor kuchaya boshlandi. Xususan, ilmiy tadqiqot bilan shug‘ullanadigan ilmiy muassasalar olimlari oldiga ham aniq muammolar qo‘yildi, ya’ni foydali qazilma konlarini qidirish va bashorat qilish omillarini ilmiy asoslab berishdir. Qazilma boyliklar qaysi tog‘ jinslari bilan birga uchrashishligi va ular bilan genetik bog‘liqligi, qanday struktura yoki kompleks bilan uchrashishini asoslab berish bugungi kun talabi bo‘lib qoldi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Chotqol-Qurama mintaqasini ilk bor ilmiy nuqtaiy-nazar asosida geologik o‘rganilishning boshlanganidan (D.I. Mushketov, S.F.Mashkovsev, B.N. Nasledov va boshq) hozirgi kunga qadar qariyib bir asr o‘tibdiki, u o‘zining qulay geografik o‘rni, iqlim sharoiti, ayniqsa geologik tuzilishi, hududning 90% ga yaqin qismi intruziv va vulqon jinslardan iboratligi, ular bilan o‘z navbatida turli metall va nometall foydali qazilma konlari makon va zamonda bevosita uzviy bog‘liklikka ega ekanligi ushbu mintaqani geologik, petrologik va metallogenik tadqiqotlar olib borish uchun muhim poligon bo‘lib xizmat qilishini ta’minlab kelmoqda. Chotqol-Qurama regionining daykalarining geologiyasi, petrografik turlari va ularni ma’dandorligini tadqik etish bilan H.M. Abdullayev, I.X. Xamrabayev, F.A. Usmonov, S.M. Boboxo‘jayev, R. Axundjonov, V.I. Ayzenshtat, V.A. Klipenshteyn, D. Matjonov, G.T. Tojiboyev, I.V. Levchenko, R.T. Dolimov, I.N. Ganiyev, U.D. Mamoroziqov, F.B. Karimova, D.I. Jumaniyozov kabi tadqiqotchilar ish olib borganlar.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot dala-geologik, mineralogik-petrografik usullar majmui asosida olib borildi. Dala bosqichida hududning geologik tuzilishi, intruziv kontakti morfologiyasi, yoriqlar tizimi va ma’danlashuv belgilari o‘rganilib, litologik va metasomatik farqlarga ko‘ra tabaqalashtirilgan namunalar olindi.

Petrografik tadqiqotlar polyarizatsion mikroskopda tayyorlangan shliflar asosida, ma’dan minerallari esa ruda (aks ettiruvchi) mikroskopiyasi usulida sayqallangan anshliflar yordamida o‘rganildi. Bunda gipogen va gipergen minerallar, ularning shakli, o‘lchami, generatsiyalari va o‘zaro munosabatlari tavsiflanib, mineral hosil bo‘lishning paragenetik ketma-ketligi tuzildi. Olingan natijalar oldingi geologik-qidiruv hisobotlari hamda mavzuga oid ilmiy manbalar bilan qiyoslandi.

Tahlil va natijalar. Yertoshsoy maydoni Boboytoudor kalderasining sharqiy qismida joy-lashgan bo‘lib, ushbu vulqon-tektonik quril-masining xududi 365 km^2 [1]. Kaldera riolitlardan, granit-porfirlardan iborat, chuqurlikda ular granitlar bilan almashinadi. Bu jinslar siyenit - va granosiyenit-porfirlar, adamellitlar, leykogranitlar, ongonit va ongoriolitlar, diabazlar, traxidoleritlar va lamprofir tomonidan kesilgan. Massiv lokkolitsimon shaklga ega bo‘lib, cho‘ziq-ovalsimon ko‘rinishda aks etadi. Geologik tuzilishiga ko‘ra, Yertoshsoy maydoni quyidagi jinslardan tarkib topgan: 1. Kaynozoy davriga oid allyuvial-prolyuvial yotqiziqlar; 2. Neogen davriga oid mayda va qiyin maydalanuvchi terrigen sochilma jinslar; 3. Organogen ohaktoshlar va paleogen davri mergel jinslari;qizilnuradan keyingi davrga tegishli subvulqon kvarsli-porfir va granit-porfir; 4. Quyi perm davriga oid qizilnura kompleksi jinslari (granit-porfir, granodiorit-porfir, traxiriolit, ignimbrit,riolit); 5. Quyi perm davriga oid riolit va ularning ignimbrit lava jinslari, tuf, oyasoy svitasi tuflari; 6. Yuqori perm davriga oid granosiyenit-porfir, adamellit Yertoshsoy intruzivi; 7. Quyi karbon davriga oid mingbuloq svitasi andezibazalt, andezit jinslari; ikkilamchi kvarsitlardan tashkil topgan [1].

Chotqol-Qurama mintaqasining yuqori paleozoydagi geologik, magmatik rivojlanishi orogen bosqichini xarakterlovchi ohakli-ishqorli granitoid batolitlaridan (C_2) so‘ng postkollizion - plitaichi magmatizmi mahsulotlari - monsogabbro-siyenodiorit-adamellit-leykogranit formasiyalar qatorlari va ularning subvulqon muqobillari bo‘lmish traxidolerit-siyenit(traxit)-ongonit-ongo-riolit formasiyalari qatorlari jinslaridan tashkil etilgan porfirli kichik intruzivlar va mintaqaviy daykalar shakllangan. [2,6].

Kichik porfirli intruzivlar asosan subishqorli gabbrodan, anortoklazli gabbrodan, monsogabbro va ba’zi hollarda korsitlardan tashkil etilgan bo‘lib, oxirgilarning sharsimon va tuxumsimon hosilalari olivinitlardan, peridotit va piroksenitlardan, olivin, rombik va monoklin piroksenlarning uyumlaridan iborat. Ular tektonik yoriqlar va darzliklar bilan nazorat qilinuvchi, kamchuqurlikda qotgan, uncha katta bo‘lmagan shtoksimon tanalar hosil qilishadi (Qoraarcha, Qorabosh, Taqali, Oqtepa, Olchali, Chorux-Dayron, Ayg‘irbaytal, Buloqboshi shtoklari v.b.). Chotqol-Qurama mintaqasi yuqori paleozoy plitaichi asos magmatizmining mahsuli bo‘lgan subishqorli gabbroidlarning porfirli kichik intruzivlarining metallogenik ixtisoslashuvi ularda Ti, Cu, Pb, Ba, Ag, Au, platinoidlar, shuningdek Bi, Sn, Mo, U larning miqdorlarini klarkdan yuqoriligi bilan xarakterlanadi. Monsogabbrolarda titanning miqdori kalrkdan 2-3 marta yuqori [2,6]. U asosan

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

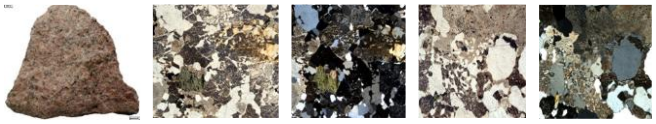
ilmenitda, titanitda, titanomagnetitda, shuningdek femik jins hosil qiluvchi minerallarda konsentrasiyalashgan. Misning subishqorli gabbroidlardagi miqdori ham klarkdan 3-6 marta ko‘p. U asosan xalkopiritda va piritda konsentrasiyalashgan. Subishqorli gabbroid intruzivlarida quyidagi aksessor minerallar aniqlangan: magnetit, sirkon, apatit, monasit, ilmenit, ilmenorutil, titanit, gematit, rutil, granat, pirit va xalkopirit. Magnetit qoramtir tusli jins hosil qiluvchi minerallar bilan bir assosiasiya tashkil etib, ularning ichida noto‘g‘ri shaklli donalar tarzida uchraydi. Ba’zan, ksenomorf shaklidagi mayda donalari boshqa jins hosil qiluvchi minerallar orasida uchraydi. Apatit qisqa pirizmasimon, geksogonal, ayrim hollarda ignasimon kristallar tarzida piroksen, amfibol, biotit va dalashpatlarning ichida uchraydi.



1-rasm. Di-68 dalerit tarkibli daykaning petrografik ko‘rinishlari:

a — daykaning umumiy ko‘rinishi; b — analizatorsiz, ko‘rish maydoni 6,0 mm; d — analizator bilan, ko‘rish maydoni 6,0 mm; e — analizatorsiz, ko‘rish maydoni 3,0 mm; f — analizator bilan, ko‘rish maydoni 6,0 mm [4].

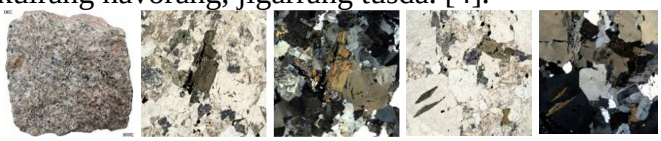
Di-68. Dalerit tarkibli dayka. Olingan joyi: Yertoshsoy yuqori oqimi. Dayka qalinligi 2 metrdan 5-8 metrgacha yetadi. Dayka yo‘nalishi azimut 190° (1-rasm). Tog‘ jinsining mineral tarkibi plagioklaz, xlorit, piroksendan tashkil topgan. Ularda bir qancha begona jinslar (ksenolit) uchraydi. Ularning shakllari yumaloq, o‘lchami 5-6 mm ni tashkil qiladi. Umumiy miqdorda tog‘ jinsida 1-2% sulfid minerallari tarqalgan. Tog‘ jinsining shaffof shlifda ko‘rinishi: Strukturasi mayda donador, teksturasi massiv. Rangi kulrang yashil. Tog‘ jinsining shaffof shlifda ko‘rinishi.Tog‘ jinsining strukturasi poykiloofitli. Teksturasi esa massiv. Mineral tarkibida (%): plagioklaz - 55-60, xlorit - 20-22, piroksen - 15-18, magnetit - 3-5 qatnashadi. Plagioklaz uzinchoq prizmatik shakldagi kristallarni vujudga keltirib ularning orasini avgit va xlorit to‘ldiradi. Poykiloofitli struktura ayrim joylarda avgitning ichida plagioklazning rivojlanganligi uchun vujudga kelgan [4].



2-rasm. Di-69 leykogranitning petrografik ko‘rinishlari:

a — leykogranit namunasi; b — analizatorsiz, ko‘rish maydoni 6,0 mm; d — analizator bilan, ko‘rish maydoni 6,0 mm; e — analizatorsiz, ko‘rish maydoni 3,0 mm; f — analizator bilan, ko‘rish maydoni 6,0 mm [4].

Di-69. Leykogranit. Olingan joyi: Yertoshsoy yuqori oqimda joylashgan (2-rasm). Tog‘ jinsining mineral tarkibi kaliyli dala shpati, plagioklaz, kvars va rangli minerallardan tashkil topgan. Tog‘ jinsida rangli minerallar juda kuchli o‘zgarishga uchragan. Markoskopik miqdoriy tarkibi bo‘yicha kaliyli dala shpati 55-60%, kvars 20-25%, plagioklaz 10%, rangli minerallar 5-10 % ni tashkil yetadi. Tog‘ jinsida kvars ko‘proq va yaqqol kuzga tashlanib turadi. Strukturasi mayda-o‘rta donador. Tog‘ jinsining rangi pushti.Tog‘ jinsining anshlifda ko‘rinishi:Anshlif tarkibi pirit, magnetit, gyotit, gidrogyotit va ma’dansiz minerallardan tashkil topgan.Pirit juda kam, mayda agregatlari gidrogyotit agregatlari bilan birga uchraydi. Strukturasi gipidiomorf. Shakli prizmatik. Rangi och sariq. O‘lchami 0,01 mm gacha yetadi.Magnetit ham kam tarqalgan bo‘lib, gipidiomorf strukturalar hosil qilgan. Shakli prizmatik, rombik. Magnetit agregatlari parchalanib, ularda mayda darzliklar va yoriqlar kuzatiladi. Rangi kulrangdan jigarrangacha boradi. O‘lchami 0,01-0,08 mm gacha yetadi.Gyotit va gidrogyotit minerallari keng tarqalgan bo‘lib, mayda va o‘rta donali. Strukturasi qisman gipidiomorf va ksenomorf. Shakli nayzasimon, tabletkasimon, ovalsimon, ignasimon, tomirsimon, figurali va noaniq tuzilishlarda uchraydi. Rangi och kulrang havorang, jigarrang tusda. [4].



3-rasm. Di-70 adamelitning petrografik ko‘rinishlari:

a — adamelit namunasi; b — analizatorsiz, ko‘rish maydoni 6,0 mm; d — analizator bilan, ko‘rish maydoni 6,0 mm; e — analizatorsiz, ko‘rish maydoni 3,0 mm; f — analizator bilan, ko‘rish maydoni 6,0 mm [4].

Di-70. Adamellit. Olingan joyi: Yertoshsoy

o‘rta oqimda, Tog‘ jinsi mineral tarkibi plagioklaz, kaliyli dala shpati, kvars va rangli minerallardan tashkil topgan

(3-rasm). Tog‘ jinsining 5-10% ni yirik fenokristallar, ovoidli ko‘rinishidagi KDSH minerallari kuzatiladi. Ularning shakllari ellipsoid bo‘lib, o‘lchamlari 7 mm dan 4 sm gacha boradi. Namunada sulfid minerallaridan mayda pirit donalari kuzatiladi. Strukturasi yirik donador, porfirsimon, teksturasi massiv. Tog‘ jinsi kulrang-pushti rangda. Tog‘ jinsining shaffof shlifda ko‘rinishi: Tog‘ jinsining strukturasi gipidiomorf donador. Teksturasi esa massiv. Mineral tarkibida (%): kvars 25-30, kaliyli shpati 30-35, plagioklaz 30-35, biotit 3-5, rogovaya obmanka 1-3 qatnashadi. Kvars asosan ksenomorf qiyofada uchraydi. Plagioklazning aksariyat qismi zonal tuzilishli, ba’zida zonallik polisintetik qo‘shaloqlar bilan kombinatsiyalashgan. Kaliyli dala shpati ozgina pertitlashgan, shu bilan birga ularda pelitlashish xam kuzatiladi. Biotitning ajralish darzliklari bo‘yicha pennin agregatlari rivojlangan. Amfibol uzinchoq prizmatik shaklda, gohida oddiy qo‘shaloqlarni vujudga keltirgan. [4].

1-jadval

Shaffof shliflar bo‘yicha asosiy mineral tarkib va mikrotuzilishlar

Namuna	Mineral tarkibi, %	Mikrostrukturasi	Petrografik belgi
Di-68	Plagioklaz 55-60; xlorit 20-22; piroksen 15-18; magnetit 3-5	Poykiloofitli, massiv	Plagioklaz prizmalari oralig‘ini avgit va xlorit to‘ldiradi
Di-69	Kaliyli dala shpati 45-50; kvars 30-35; plagioklaz 10-15; biotit 3-5	Granofirli (pegmatitli), allotriomorf-donador, massiv	Kaliyli dala shpati+kvars granofirli o‘sishi; plagioklaz seritsitlashgan va albitlashgan
Di-70	Kvars 25-30; K-dala shpati 30-35; plagioklaz 30-35; biotit 3-5; amfibol 1-3	Gipidiomorf-donador, massiv	Zonal plagioklaz; K-dala shpati; biotit bo‘yicha oksidlanish
Di-71	Porfir ajralmalar <10%; plagioklaz va opatsitlashgan biotit qoldiqlari; matritsada dala shpati, kvars, xlorit, Fe-gidrooksid, epidot	Siyrak porfirli, mikrofelsitli asosiy massa, toshbodomli tekstura	Toshbodomli ajralmalar bo‘yicha xloritlashish
Di-72	Miqdoriy foiz berilmagan; plagioklaz, piroksen, xlorit, kam rudali minerallar	Poykiloofitli, massiv	Plagioklaz to‘liq sossyuritlashgan; piroksen bo‘yicha xlorit

Yertoshsoy maydonida tarqalgan magmatik tog‘ jinslarining petrografik va petroximik xususiyatlari hududda bir necha bosqichli magmatik jarayonlar sodir bo‘lganligini ko‘rsatadi. Maydondagi doleritlar asos tarkibli magmatizm mahsuloti hisoblanib, ular SiO_2 miqdorining nisbatan pastligi hamda MgO, CaO va Fe komponentlarining yuqoriligi bilan tavsiflanadi. Jumladan, Di-68 namunasida SiO_2 45,32 %, MgO 7,13 %, CaO 9,42 % bo‘lib, mineral tarkibida plagioklaz, piroksen, xlorit va magnetit ustunlik qiladi *(2-jadval)* Jinsning poikiloofitli strukturasi plagioklaz kristallari oralig‘ining piroksen va ikkilamchi xlorit bilan to‘lishi natijasida shakllangan [4].

2-jadval

Petrografik tasnifni tavsiflovchi asosiy kimyoviy komponentlar, %

Namuna	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
Di-68	45,32	15,81	4,15	7,76	7,13	9,42	2,59	1,37
Di-69	76,16	11,86	0,74	1,01	0,50	0,50	3,24	4,98
Di-70	70,73	14,04	1,16	1,79	0,69	1,94	3,40	4,59
Di-71	73,41	12,95	0,76	1,33	0,50	0,50	5,27	4,52
Di-72	50,26	15,44	2,21	4,81	9,97	13,43	2,06	0,17

Magmatik tizimning keyingi rivojlanishi tarkibning asta-sekin nordonlashuvi bilan ifodalanadi. Adamellitlarda SiO_2 miqdori 70,73% gacha ortib, K_2O va Na_2O miqdori ham ko‘payadi, MgO, CaO va Fe komponentlari esa asos tarkibli jinslarga nisbatan sezilarli kamayadi. Mineral tarkibida kvars, kaliyli dala shpati va plagioklazning ustunligi, jinsning yirik donador va porfirsimon tuzilishi magmaning nisbatan sekin sovigan va differensiallashgan bosqichini ko‘rsatadi. Magmatik differensiallanishning yanada rivoj-langan bosqichi leykogranitlarda namoyon bo‘lib, ularda SiO_2 76,16%, K_2O 4,98% ga yetadi, CaO va MgO esa keskin kamayadi. Kaliyli dala shpati va kvarsning ko‘pligi hamda granofirli strukturaning rivojlanganligi ushbu jinslarning kremnezem va ishqorlarga boyigan qoldiq magmatik eritmadan shakllanganini ko‘rsatadi [4].

Yertoshsoy maydonidagi traxiriolitlarning tarkibi ham granitoid jinslarga yaqin bo‘lib, ularda SiO_2 73,41%, Na_2O 5,27% va K_2O 4,52% ni tashkil etadi *(2-jadval).* Biroq ularning siyrak porfirli va mikrofelsitli strukturasi magmatik eritmaning yer yuzasiga yaqin yoki subvulkanik sharoitda tezroq soviganidan dalolat beradi. Jinslarda karbo-natlashish va xloritlashish jarayonlarining rivojlanishi magmatik bosqichdan keyingi gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar ham sodir bo‘lganini ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, Yertoshsoy magmatizmi faqat asos tarkiblidan nordon tarkibga tomon bir yo‘nalishda rivojlangan oddiy jarayon sifatida

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

qaralmasligi lozim. Dolerit daykasining adamellitlarni yorib chiqqanligi asos tarkibli magmaning granitoidlar shakllanganidan keyin ham qayta kirib kelganini ko‘rsatadi. Ushbu daykada SiO_2 50,26%, MgO 9,97% va CaO 13,43% bo‘lib, uning tarkibi asos tarkibli magmaga xosdir. Demak, Yertoshsoy maydonida dastlab asos tarkibli magmatizm rivojlangan, keyinchalik magmatik eritmaning differensiallanishi natijasida adamellit, leykogranit va nordon subvulkanik jinslar shakllangan, undan so‘ng esa tektonik yoriqlar bo‘ylab asos tarkibli magmaning kechki dayka fazasi kirib kelgan. Bunda magmatik evolyutsiya davomida SiO_2, K_2O va Na_2O miqdorining ortishi, MgO, CaO va Fe komponentlarining kamayishi asosiy petroximik qonuniyat sifatida namoyon bo‘ladi [4].

Xulosa va takliflar. Yertoshsoy maydonida olib borilgan geologik-petrografik tadqiqotlar hudud magmatizmining murakkab va ko‘p bosqichli rivojlanish tarixiga ega ekanligini ko‘rsatdi. Maydonda asos tarkibli doleritlardan boshlab, oraliq-nordon tarkibli adamellitlar, leykogranitlar hamda traxiriolit kabi subvulkanik jinslargacha bo‘lgan magmatik hosilalar tarqalgan. Ularning mineral tarkibi, strukturaviy-teksturaviy xususiyatlari va petroximik ko‘rsatkichlari magmatik eritmaning bosqichma-bosqich differensiallanib borganligini ko‘rsatadi. Doleritlar plagioklaz, piroksen, xlorit va magnetitning ustunligi, poikiloofitli strukturasi hamda MgO, CaO va temir komponentlarining nisbatan yuqori miqdori bilan asos tarkibli magmatizm mahsuli sifatida tavsiflanadi. Adamellitlarda kvars, kaliyli dala shpati va plagioklaz miqdorining ortishi, yirik donador va porfirsimon strukturaning rivojlanishi magmatik eritmaning differensiallanishi va nisbatan sekin kristallanish sharoitini aks ettiradi. Leykogranitlarda SiO_2 va K_2O miqdorining yuqoriligi, kvars hamda kaliyli dala shpatining ustunligi magmatik evolyutsiyaning yanada rivojlangan, kremnezem va ishqorlarga boyigan bosqichini ifodalaydi. Traxiriolitlarning siyrak porfirli va mikrofelsitli strukturasi esa ularning yer yuzasiga yaqin subvulkanik sharoitda nisbatan tez sovigan magmatik eritmadan hosil bo‘lganligini ko‘rsatadi. Jinslarda kuzatilgan xloritlashish, karbonatlashish, pelitlashish, hamda gyotit-gidrogyotit minerallarining rivojlanishi magmatik jarayonlardan keyin gidrotermal-metasomatik va gipergen o‘zgarishlar ham sodir bo‘lganligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, dolerit daykalarining granitoid jinslarni yorib chiqishi hududda nordon magmatizm shakllanganidan keyin ham asos tarkibli magmaning takroriy kirib kelganligini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Ахунджанов, Р., Мамарозиков, У. Д., Сайдыганиев, С. С., & Суюндикова, Г. М. (2006). Щелочные онгориолиты Ерташсая (Алмалык-Ангренский горнорудный район, Срединный Тянь-Шан). Геология ва минерал ресурслар, (6).
[2] Ахунджанов, Р., Усманов, А. И., Мамарозиков, У. Д., & Сайдыганиев, С. С. (2007). Сравнителная характеристика габброидных интрузивов юго-западных отрогов Чаткалского хребта (Срединный Тянь-Шан). Геология ва минерал ресурслар, (2).
[3] Mamarozikov, U. D., va boshq. (2009). Chotqol-Qurama mintaqasi yuqoripaleozoy postkollizion magmatizmi va uning ma’dandorligi mavzusida O‘zRFA Fundamental tadqiqotlarni qo‘llab-quvvatlash fondi granti bo‘yicha bajarilgan tadqiqot ishlari to‘g‘risidagi yakuniy hisobot. O‘zR FA Geologiya va geofizika instituti fondi.
[4] Jumaniyozov, D. I., Karimova, F. B., Xo‘jjiyev, M. O., Ileshov, K. M., & Samandarova, Sh. Y. (2025). O‘zbekiston tog‘ jinslarining etalon namunalari katalogi (B. F. Islomov, Tahr.). Ilm va fan.
[5] Mamarozikov, U. D., va boshq. (2008). Kamyob metalli nordon magmatizm va Olmaliq-Angren tog‘-kon rayonida u bilan bog‘langan ma’danlashuvni bashoratlash mavzusida 2006–2008 yillarda bajarilgan ilmiy-amaliy tadqiqot ishlari to‘g‘risida yakuniy hisobot. Toshkent.
[6] Suyundikova, G. M., & Mamarozikov, U. D. (2006). Olmaliq-Ohangaron tog‘-konchilik rayoni kamyob metalli litiy-ftorli granitlarining subvulqon muqobillari – ongonitlarning petrologiyasi va ma’dandorligi: Yakuniy hisobot. Toshkent.

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

Xusainov, X. A., & Bektemirov, L. S. (2026). Yertoshsoy maydoni magmatik tog‘ jinslarining petrografik xususiyatlari (Chotqol tog‘lari). Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.9

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 552.2.23+26

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.10

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

KO‘HITANG GABBRO-GRANITOID MASSIVI TOG‘ JINSLARINING GEOKIMYOVIY XUSUSIYATLARI (HISOR TOG‘ TIZMASINING JANUBIY-G‘ARBIY TARMOQLARI)



Ileshov Kuanishbek Muratovich
Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: quanishbekileshov@mail.com
ORCID ID: 0009-0008-7608-2766
Science ID: MTV-0525-0106



Kurbonov Abduxakim Abdivakil o‘g‘li
Geologiya fanlari universiteti “Umumiy geologiya” kafedrasi dotsenti, geologiya-mineralogiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: abduhakim24@mail.ru
ORCID ID: 0009-0006-3898-1360
Science ID: FQD-1125-0052



Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich
Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: lochin2930@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-2805-5798
Science ID: MAN-0525-0068



Jumaniyozov Denis Ikramovich
Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: denisbey@list.ru
ORCID ID: 0000-0002-6158-4762
Science ID: MBX-0525-0075

Annotatsiya. *Maqolada Hisor tog‘ tizmasining janubi-g‘arbiy tarmoqlarida joylashgan Ko‘hitang gabbro-granitoid massivining intruziv va gipabissal tog‘ jinslari geokimyoviy hamda petrogenetik jihatdan tadqiq etilgan. Turli yosh va tarkibga ega magmatik hosilalar geologik munosabatlari va petrogeokimyoviy xususiyatlariga ko‘ra Zarabog‘, Shalqon, Ko‘hitang va Janubiy Tyon-Shon majmualariga ajratilgan. Tadqiqotlarda petrografik va mineralogik kuzatuvlar bilan bir qatorda ICP-MS usulidagi geokimyoviy tahlil natijalaridan foydalanilgan. Zarabog‘ majmuasi granitoidlarining I-turdagi granitlarga mansubligi hamda ularning subduksiya zonalari yoki faol kontinental chekka sharoitlarida shakllanganligi asoslangan. Shalqon majmuasi jinslarida siderofil va litofil elementlarning differensial taqsimlanishi qayd etilgan. Ko‘hitang diabaz-granofirli daykali majmuasi fosfor, oltin, kumush, polimetallar va nodir yer elementlariga geokimyoviy ixtisoslashganligi aniqlangan. Janubiy Tyon-Shon majmuasining ishqoriy-asosli daykalari esa mantiya kelib chiqishli ishqoriy-bazaltoid magmalarning yer qobig‘i materiali bilan aralashuvi natijasida shakllanganligi bilan tavsiflanadi. Tomchali uchastkasidagi litogeokimyoviy oreollar Au–Ag–As–Pb–Zn–Cd–Cu–Bi–Sb va Mo–W–Nb–Y–Sc–NYE assotsiatsiyalarini ajratish imkonini bergan bo‘lib, hududning oltin-kumush-polimetall hamda volfram-molibden-nodir metall ma’danlashuviga istiqbolliligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *Ko‘hitang massivi, gabbro-granitoidlar, intruziv jinslar, daykalar, geokimyo, petrogenez, I-tur granitlar, subduksiya, mantiya magmasi, nodir yer elementlari, litogeokimyoviy oreollar, Tomchali uchastkasi, oltin-kumush-polimetall ma’danlashuv, volfram-molibden ma’danlashuvi.*

Received: 12.09.2026 | Accepted: 05.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ГАББРО-ГРАНИТОИДНОГО МАССИВА КУГИТАНГ (ЮГО-ЗАПАДНЫЕ ОТРОГИ ГИССАРСКОГО ХРЕБТА)

Илешов Куанышбек Муратович

Младший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Курбонов Абдухаким Абдивакил угли

Доцент кафедры «Общая геология» Университета геологических наук, доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, Ташкент, Узбекистан

Абдуллаев Лочинбек Анваржонович

Младший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Джуманиязов Денис Икрамович

Младший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье рассмотрены геохимические и петрогенетические особенности интрузивных и гипабиссальных пород Кугитангского габбро-гранитоидного массива, расположенного в юго-западных отрогах Гиссарского хребта. Магматические образования различного возраста и состава систематизированы на основе геологических взаимоотношений и петрохимических характеристик и объединены в Зарабагский, Шалканский, Кугитангский и Южно-Тянь-Шаньский комплексы. При исследовании использованы петрографические, минералогические и геохимические методы, включая ICP-MS-анализ. Установлено, что гранитоиды Зарабагского комплекса относятся к гранитам I-типа и сформировались в геодинамических условиях зон субдукции или активных континентальных окраин. Для пород Шалканского комплекса выявлена дифференцированная концентрация сидерофильных и литофильных элементов. Кугитангский диабаз-гранофировый дайковый комплекс характеризуется геохимической специализацией на фосфор, золото, серебро, полиметаллы и редкоземельные элементы. Щелочно-основные дайки Южно-Тянь-Шаньского комплекса связываются со смешением мантийных щелочно-базальтоидных расплавов с веществом земной коры. Анализ литогеохимических ореолов участка Томчали позволил выделить ассоциации Au–Ag–As–Pb–Zn–Cd–Cu–Bi–Sb и Mo–W–Nb–Y–Sc–REE, свидетельствующие о перспективности территории на золото-серебро-полиметаллическое и вольфрам-молибден-редкометалльное оруденение.*

Ключевые слова: *Кугитангский массив, габбро-гранитоиды, интрузивные породы, дайки, геохимия, петрогенезис, граниты I-типа, субдукция, мантийная магма, редкоземельные элементы, литогеохимические ореолы, участок Томчали, золото-серебро-полиметаллическое оруденение, вольфрам-молибденовое оруденение.*

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ROCKS OF THE KUHITANG GABBRO-GRANITOID MASSIF (SOUTHWESTERN BRANCHES OF THE HISSAR RANGE)

Ileshov Kuanishbek Muratovich

Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Kurbonov Abduxakim Abdivakil ugli

Associate Professor, Department of General Geology, University of Geological Sciences, PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich

Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Jumaniyozov Denis Ikramovich

Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article investigates the geochemical and petrogenetic characteristics of intrusive and hypabyssal rocks of the Kuhitang gabbro-granitoid massif located in the southwestern branches of the Hissar Range. Magmatic formations of different ages and compositions were systematized according to their geological relationships and petrogeochemical characteristics and grouped into the Zarabag, Shalkan, Kuhitang, and Southern Tien Shan complexes. Petrographic, mineralogical, and geochemical methods, including ICP-MS analysis, were applied. The granitoids of the Zarabag Complex are identified as I-type granites formed under geodynamic conditions characteristic of subduction zones or active continental margins. The Shalkan Complex is characterized by differentiated distributions of siderophile and lithophile elements. The Kuhitang diabase-granophyre dyke complex shows geochemical*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

specialization in phosphorus, gold, silver, polymetals, and rare earth elements. The alkaline-basic dykes of the Southern Tien Shan Complex are interpreted as products of interaction between mantle-derived alkaline-basaltic magmas and crustal material. Analysis of primary lithogeochemical halos in the Tomchali area revealed Au–Ag–As–Pb–Zn–Cd–Cu–Bi–Sb and Mo–W–Nb–Y–Sc–REE associations, indicating the prospectivity of the area for gold–silver–polymetallic and tungsten–molybdenum–rare-metal mineralization.
Keywords: *Kuhitang massif, gabbro-granitoids, intrusive rocks, dykes, geochemistry, petrogenesis, I-type granites, subduction, mantle-derived magma, rare earth elements, lithogeochemical halos, Tomchali area, gold–silver–polymetallic mineralization, tungsten–molybdenum mineralization.*

Kirish. Jahon amaliyotida so‘nggi yillarda asl va nodir metalli konlarni bashoratlash, ma’dan hosil bo‘lishining zamonaviy ilmiy asoslarini ishlab chiqish maqsadida alohida maydonlardagi magmatik, metasomatik hosilalarni o‘rganish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Rivojlangan mamlakatlarda ushbu hosilalarning petrologik-geokimyoviy xususiyatlarini aniqlash borasida olib borilgan tadqiqotlar natijalari ularning hosil bo‘lish sharoitlari, foydali qazilma konlarini shakllanishidagi roli kabi bir qator muammolarni hal qilishda muhim axborot manbasi bo‘lib xizmat qiladi.

Turli xil tarkibli va yoshdagi magmatik hosilalarni ma’danlashuvga bo‘lgan aloqasi, jumladan “magmatik jarayonlar va ma’danlashuv”, “dayka va ma’danlashuv”, “granitoid intruzivlari bilan ma’danlashuv” muammolarini Respublikamizda birinchilardan bo‘lib H.M.Abdullayev ko‘targan [1, 2, 4]. Bunda granitoidlar bilan ma’danlarning genetik aloqasi xususidagi “Granitoid intruzivlari bilan ma’danlashuv” monografiyasiga akademik D.S.Belyankin “asrning eng muhim geologik muammolaridan biriga bag‘ishlangan...” deb ta’rif bergan. H.M.Abdullayevgacha magmatizm va ma’danlashuv - o‘zaro tutashib ketgan jarayonlarning asosiy ildizlaridan bo‘lishiga qaramasdan aksariyat hollarda alohida-alohida o‘rganilgan. Magmatizm muammolari haqidagi mavzu bo‘yicha o‘tgan asrning o‘rtalaridan boshlab ko‘pchilik tadqiqotchilar – I.H.Hamrabayev, N.P.Petrov, H.N.Boymuxamedov, A.F.Sosedko, V.M.Jeleznov, V.F.Popov, X.R.Raxmatullayev, I.V.Shvey, V.V.Baranov, A.V.Tolokonikov, Yu.F.Baskakov, E.P.Izox, Z.A.Yudalevich, I.V.Mushkin, T.Sh.Shoyaqubov, T.N.Dolimov va boshqalar [1, 2, 3, 4, 5, 16, 17] ilmiy izlanishlar olib borishgan va ularning natijalari ko‘plab monografiyalar, yirik ilmiy to‘plamlar, maqolalar va tezislarda o‘z aksini topgan. Bu ilmiy ishlarning barchasida muammoga u yoki bu darajada yechim topilgan bo‘lsada, hozirda ham ayrim masalalar batafsilroq tadqiqotlarni talab qilishi e’tirof etilgan.

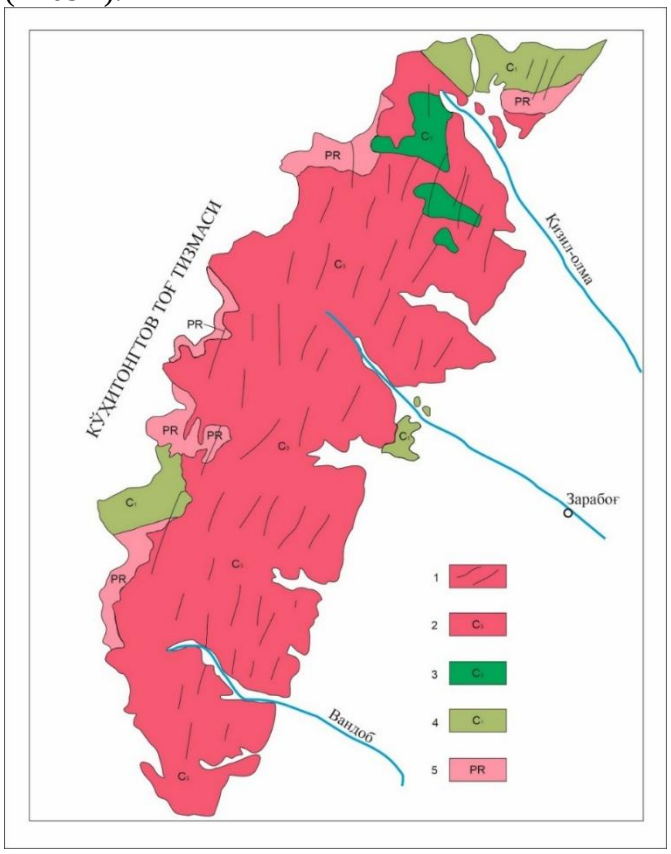
Tadqiqotlar o‘tkazilgan mintaqaning hududni geologik jihatdan o‘rganish uzoq tarixga ega bo‘lib, unda to‘rt bosqichni kuzatishimiz mumkin, bu hududning geologiyasi, petrologiyasi va mineral resurslariga oid ma'lumotlarning izchil to‘planishi va takomillashtirilishini aks ettiradi.

Tadqiqot maydonining asosiy qismi intruziv jinslaridan tashkil topgan bo‘lib, ular turli tarkibli hamda yoshdagi ko‘rinishidagi granitoidli tanalar va turli tarkibdagi daykalardan iborat. Ko‘hitang tog‘laridagi ushbu magmatik hosilalar turli yillar davomida I.H.Hamraboyev, I.M.Isamuhamedov, P.L.Kupchenko, N.M.Vasilevskiy, M.S.Sultonov, E.L.Izox, Z.A.Yudalevich, V.A.Arapov, I.V.Mushkin, T.N.Dalimov, V.A.Sharipov, V.V.Mixaylov, V.A.Xoxlov, A.V.Pokrovskiy, F.K.Divayev, R.Axunjanov, A.A.Qurbonov, K.M.Ileshov va boshqalar tomonidan o‘rganilgan [9, 10, 11, 12, 13, 15, 22, 23].

Tadqiqot usullari. Mazkur maqolani yozishda, yuqori aniqlikka ega bo‘lgan mass-spektrometr (ICP-MS), “Nikon ECLIPSE LV100N POL” mikroskoplari qo‘llanilgan bo‘lib, laboratoriya sharoitida petrografik, mineralogik, petrokimyoviy va geokimyoviy tadqiqot natijalari kompyuter dasturlari (Excel, CoralDRAW) yordamila qayta tahlil qilindi.

Geologik tuzilishi. Ko‘hitang tog‘ tizmasi alp davri tektonik bosqichiga mansub bo‘lgan antiklinal strukturaga ega. Uning markaziy qismi o‘rta proterozoy – yuqori paleozoyga taalluqli intruziv, vulkanik va metamorfik hosilalardan iborat. Hududning 90% gacha bo‘lgan qismi intruziv (Ko‘hitang intruzivi) tog‘ jinslaridan iborat bo‘lib,

antiklanalning qanotlari trias hamda yura davri terrigen va karbonatli yotqiziqlaridan tashkil topgan (1-rasm).



1-rasm. Ko‘hitang tog‘ tizmasining sxematik-geologik xaritasi M 1:100000 (Z.A.Yudalevich, V.K.Divaev va boshqalar ma’lumotlari bo‘yicha, 1980 y.) [23].

1 – tabaqalanmagan daykali majmualar (zarabog‘, shalqon majmualarining daykali bosqichi, hamda diabaz-granofirli ko‘hitang va ishqorli bazaltoidli janubiytiyonshon daykali majmualari), 2 – zarabog‘ kompleksi granitoidlari, 3 – zarabog‘ kompleksi gabbroidlari, 4 – vaxshivor svitasining subvulkanik jinslari, 5 – proterozoy davriga mansub migmatit va granito-gneysli surxontov-boysuntov majmuasi.

Ko‘hitang tog‘laridagi intruziv va gipabissal hosilalarning geologik-petrografik, petrokimyoviy va geokimyoviy xususiyatlari batafsil tadqiq etilgan, ular zarabog‘, shalqon, ko‘hitang va janubiy tyon-shon majmualariga.

Ushbu inruzivni tashkil etuvchi tog‘ jinslarining asosiy qismi zarabog‘ kompleksiga tegishli bo‘lib, ular – Boysun-Ko‘hitang mintaqasida tarqalgan. Mazkur majmua 1984-yilda F.K.Divayev va boshqalar tomonidan nomlangan. Ilgari majmuaga mansub jinslarni shakllanishi N.P.Poddubniy (1959), I.M.Isamuhamedov (1962), Yu.I.Krasko (1970), V.P.Mushkin (1976), V.N.Em (1978) va boshqalar tomonidan o‘rganilgan [9, 10, 11].

Majmua kiruvchi tog‘ jinslari deyarli butunlay Ko‘hitang tog‘larining janubi-sharqiy yon bag‘rida joylashgan bo‘lib, ular Ko‘hitang intruzivininig asosiy qismini tashkil qiladi. Morfologik jihatdan intruziv katta oval qiyofadagi shtok shaklida, uning ochilma bergan yuzasi 145 km^2 maydonni egallab, shimoli-sharqiy yo‘nalishda cho‘zilgan. Ularni kembriygacha bo‘lgan gneyslar, kristalli slaneslar, kvarsitlar va boshqalar, shuningdek, quyi karbonga mansub vaxshivar svitasiningning cho‘kindi-vulkanogen hosilalari qamrab olgan. Majmuaning tarkibi (qaridan yoshga qarab): 1) o‘rta donador piroksen-amfibolli leykokratli, melanokratli va mezokratli gabbrolar; 2) o‘rta va yirik donador, ayrim joylari kuchsiz porfirsimon amfiboldor biotitli granitlar (asosiy faza) va alyaskitlar; 3) mayda va o‘rta donador porfirsimon biotitli granitlar; 4) mayda, o‘rta va notekis donador porfirsimon biotitli granitlar; 5) fenokristallarga boy biotitli granit-porfirlar; 6) siyrak fenokristalli biotitli granit-porfirlar. tomir jinslar – aplitlar, pegmatitlar, aplitsimon granitlar va leykogranitlardan iborat. Zarabog‘ majmuasining mutloq yoshi (kaliy-argon usuli bo‘yicha) amfibollar bo‘yicha 311–288 mln yil, biotitlar bo‘yicha esa 273–252 mln. yilni tashkil etadi [4, 6, 10, 11, 12, 13, 14].

Shalqon majmuasi Ko‘hitang intruzivining shimoliy qismida bir qator shtoksimon tanalari va tomirli fatsiya shaklida intruzivning butun maydoni bo‘ylab tarqalgan. Ushbu tog‘ jinslari asosan kechki karbon gabbro-granitli zarabog‘ majmuasini yorib chiqqan. Shu bilan birga ularning ayrimlarigina Ko‘hitang massividan tashqarida tokembriy va vaxshivar formatsiyalarining metamorfik hamda vulkanogen-cho‘kindi hosilalari orasida tarqalgan. Majmua quyidagi jinslar ketma-ketligi bilan ifodalanadi (ertadan kechgacha): 1) o‘ta mayda va mayda donador piroksen-amfibol-biotitli monsodioritlar va kvarsli monsonitlar, 2) o‘rta donador amfibol-biotitli adamellitlar, 3) mayda donador porfirsimon amfibol-biotit adamellitlar. Shalqon majmuasining mutlaq yoshi (amfibol, piroksen, biotit, kaliy-argon usuli) erta perm davriga to‘g‘ri keladi (264-277 mln. yil) [4, 6, 10, 11, 12, 13, 14].

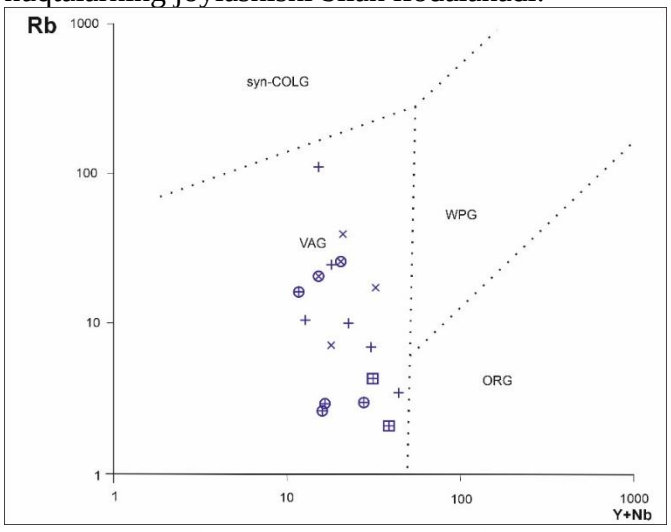
Ko‘hitang daykali kamari ko‘hitang dolerit-

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

granitoidli daykali majmuasiga mansub daykalardan iborat bo‘lib (uzunligi 20-30 km eni 0,5-1,5 km), shu nomdagi intruziv shimoliy-g‘arbiy kontakt yo‘nalish o‘qi bo‘ylab ikki turdagi kontrast keng tarqalgan: 1) gabbro-diabazlar, diabazlar, diabazli porfiritlar va lamprofirlar, 2) granit, riolit- va sferolit-porfirlar, riolitlar, traxiriolitlar, granofirlar. Nordon daykalar asosli daykalarga nisbatan usutunlik qiladi.

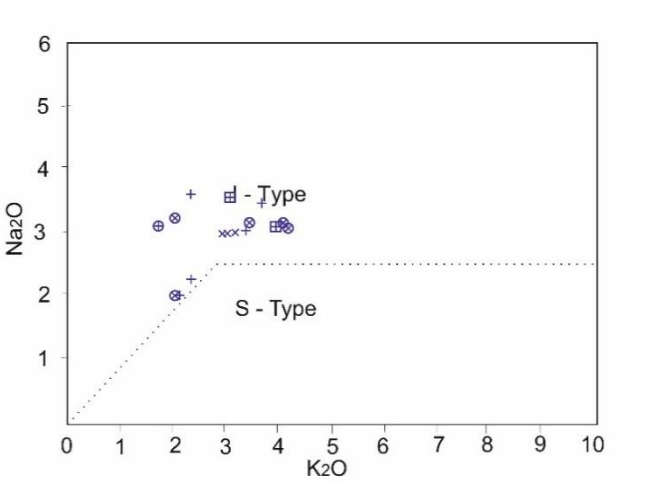
Janubiy tyon-shon ishqorli bazaltoidli majmuasining daykalari Ko‘hitang intruzivida asosan olivinli traxibazalt, traxibazalt, esseksit-porfir, vogezit va monchikitlardan iborat. Bu plutonik daykalarning xarakterli xususiyatlari ularda porfirli va lamprofirli strukturalarning mavjudligi, tarkibida olivin, piroksen, biotit, analsim va boshqalar minerallardan iborat.

Geokimyoviy xususiyatlari. Ko‘hitang intruzivini tashkil qiluvchi asosiy qismi bo‘lgan zarabog‘ majmuasining tog‘ jinslarigranitlarga to‘g‘ri kelib ularni vujudga kelishining geodinamik sharoiti bo‘yicha subduksion xususiyatga ega ekanligini kuzatishimiz mumkin. Ushbu nuqtai nazar Rb – Y+Nb o‘zaro munosabatiga nisbatan ko‘rilgan geodinamik diagrammalarda (2-rasm) mazkur intruzivning granitlariga mansub figurativ nuqtalarning joylashishi bilan ifodalanadi.



2-rasm. Zarabog‘ majmuasi granitlarining Rb – Y+Nb bo‘yicha ozaro munosabati (Pearce et al., 1984) [14].

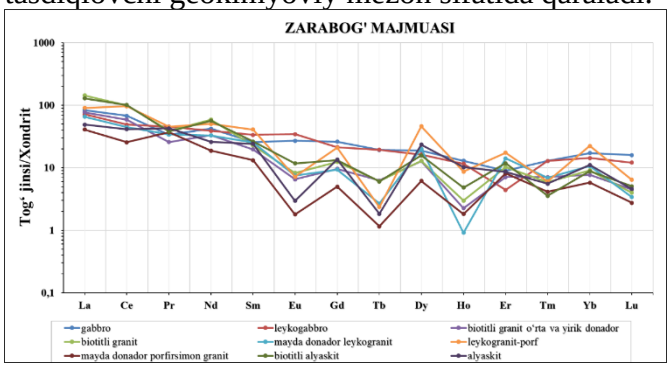
Izoh: syn-COLG – kollizion granitlar, VAG – vulqon yoylari granitlari, WPG – plita ichki granitlari, ORG – okean o‘rtasi tizmalari granitlari.



3-rasm. Zarabog‘ majmuasi granitlarining granitoidlari uchun $Na_2O – K_2O$ diskriminant diagrammasi (Chappel and White, 2001).

O‘z navbatida Ko‘hitang intruzivining granitoidlari I-turdagi granitlarga mansub bo‘lib, bu qo‘shimcha tarzda ularni subduksion magmatizm hosilasi ekanligidan dalolat beradi (3-rasm).

Zarabog‘ majmuasi jinslarida nodir elementlar taqsimotining xondritga nisbati intruzivning geterogen tarkibga ega ekanligini ifodalaydi. Barcha petrografik turlarda yengil lantanoidlarning og‘ir lantanoidlarga nisbatining qiymatlari yuqoriligi subduksion yoki qit’alarning faol chekkalari sharoitlariga xos bo‘lgan geokimyoviy muhitni o‘zida ifodalaydi (4-rasm). Eu-minimumining mavjudligi esa majmuadagi nordon tarkibli jinslar asosliga qaraganda yuqori darajada differensiallashgan hosilasi ekanligini tasdiqlovchi geokimyoviy mezon sifatida qaraladi.

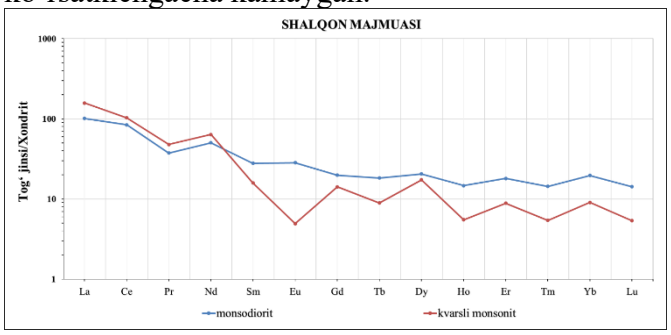


4-rasm. Zarabog‘majmuasi tog‘ jinslarining normallashgan xondritga nisbati.

Zarabog‘ majmuasi granitoidlarining geokimyoviy xususiyatlariga ko‘ra gabbroidlarda bir qator litofil va xalkofil elementlarning anomal

yuqori konsentratsiyalari qayd etilgan bo‘lib, hususan margimush miqdori 4,1 g/t dan 12,1 g/t gacha, bor elementi gabbroda 801 g/t dan 1210 g/t gacha yuqori qiymatlari aniqlandi. Leykogranit-porfirlarda vismut miqdori 0,38 g/t ga, alyaskitlarda kumush ulushi 0,47 g/t gacha yetib, gabbrolarga qaraganda ularning qiymatlari birmuncha yuqori. Litiy gabbrolarda 10,8–15,9 g/t, alyaskitlarda esa 43,80 g/t gacha, niobiy leykogranitlarda 37,20 g/t gacha bo‘lgan qiymatlari aniqlandi. Shuningdek, qalay va volfram nodir metallar alyaskitlarda Sn 6,78 g/t, W 2,93 g/t gacha zarabog‘ majmuasi uchun maksimal konsentratsiyaga yetadi (1-jadval). Siderofil va temir guruhi elementlari (Co, Ni, Cr) gabrrolardan granitlarga qarab bir necha marta qiymatlari kamayib boradi. Magmatik o‘choqlarning hosil bo‘lishi va mantiya faollashuvi natijasida F, B, CO_2, S, Au, Ag, Mo, W, Sn hamda nodir yer elementlari (NYE) bilan boyigan flyuidlarning chuqurlikdan chiqib kelishi intruziv tizimning yuqori qismlarini metasomatik qayta ishlagan [14].

Shalqon majmuasi tog‘ jinslarining nodir elementlar taqsimotining xondritga nisbati geokimyoviy tomonlama ularning genetik jihatdan bitta magmatik manbaga mansubligini, ammo differensiallanish darajasi turlicha ekanligini ko‘rsatadi (5-rasm). Shalqon majmuasiga mansub monsodioritda nikel miqdori 80,20 g/t, kobalt esa 32,10 g/t ni tashkil etgani holda, kvarsli monsonitda ularning ulushi mos ravishda nikel 0,64 g/t va kobalt esa 1,56 g/t gacha o‘nlab barobarga kamayib ketganligini kuzatish mumkin. Xuddi shunday, skandiy miqdori 22,50 g/t dan 4,40 g/t gacha, mis esa 11,50 g/t dan mutloq minimal 0,05 g/t ko‘rsatkichgacha kamaygan.

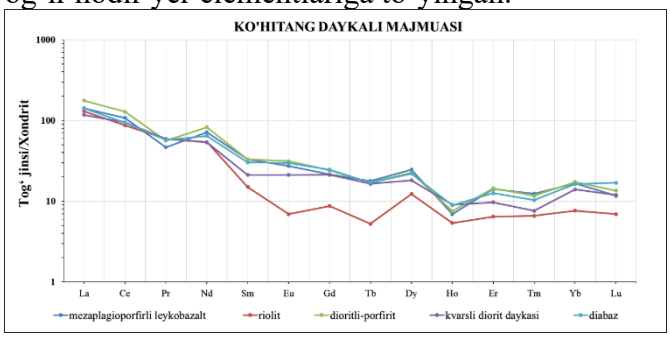


5-rasm. Shalqon majmuasi tog‘ jinslarining normallashgan xondritga nisbati.

Litiy miqdori monsodioritda 42,20 g/t ni tashkil etib, kvarsli monsonitda 8,59 g/t gacha kamayadi. Seziyda ham monsodioritda 15,50 g/t kvarsli monsonitlarga qarab 3,29 g/t gacha kamayish kuzatiladi (2-jadval).

Ko‘hitang majmusiga mansub daykalarda geokimyoviy elementlarning tarqalish qonuniyatiga e’tibor qaratadigan bo‘lsak, mazkur daykalardagi kam, tarqoq elementlarning turli xil tarkibli daykalardagi tarqalish qonuniyati deyarli bir-biriga yaqin hamohang tarzda yoyilgan. Ushbu daykalarda fosforning qiymati (diabazlarda klarkdan 23 barobar) yuqoriligini kuzatiladi. Shunga o‘xshash yuqori qiymatlar kumush, oltin va vismutning tarqalishida ham o‘z aksini topgan. Qolgan deyarli barcha mikroelementlarning qiymati klark kiymatiga yaqin va ba’zida manfiy qiymatlar ham ko‘zga tashlanadi.

Nodir yer elementlari yig‘indisi dioritli porfiritlarda 203,88 g/t (2-jadval). Barcha asos tarkibli daykalar riolit daykasiga nisbatan yengil va og‘ir nodir yer elementlariga to‘yingan.



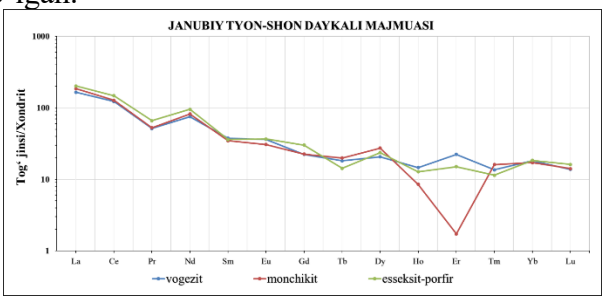
6-rasm. Ko‘hitang daykali majmuasi tog‘ jinslarining normallashgan xondritga nisbati.

Asos tarkibli daykalarda yevropiy nome’yorligi bilinar-bilinmas, ammo riolitda manfiy nome’yorlik aniq, bu yer qobig‘ida hosil bo‘lganini bildiradi. Asos tarkibli daykalar gabbro magmasining saralanishidan (differentsiatsiya) emas, balki joylarda tog‘ jinslarini qisman eritilishidan hosil bo‘lganini bildiradi.

Yuqorida keltirilgan ma’lumotlardan asosida ko‘rinib turibdiki, mazkur majmua normal va o‘rta ishqorli qatordagi yuqori kaliyli va kaliyli seriyaga mansub diabaz, mezoplagiofirli leykobazalt, dioritli porfirit, kvarsli dioritli porfirit va nordon tarkibli riolit kabi kontrast daykalardan tashkil topgan. Ko‘hitang diabaz-granofirli daykali majmuasi alohida kichik mustaqil intruziyalar sifatida fosfor, oltin, kumush, polimetal va NYEga ixtisoslashgan.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Asos tarkibli daykalar gabbro magmasining saralanishidan (differentsiatsiya) emas, balki joylarda tog‘ jinslarini qisman eritilishidan hosil bo‘lgan.



7-rasm. Ko‘hitang daykali majmuasi tog‘ jinslarining normallashgan xondritga nisbati.

Janubiy tyon-shon daykali majmuasiga mansub ishqoriy-asosli jinslar (vogezit, monchikit va esseksit-porfir) nodir yer elementlarining xondritga nisbati bo‘yicha keltirilgan barcha tog‘ jinslari bitta genezisga (7-rasm) ega ekanligi kuzatiladi.

Tadqiq etilayotgan daykalarda siderofil guruh elementlarining yuqori konsentratsiyasi bilan ajralib turadi. Laboratoriya natijalariga ko‘ra, Monchikitda nikel miqdori eng yuqori ko‘rsatkichga (157 g/t) yetib (2-jadval), undagi Ni/Co koeffitsiyenti 5.03 ni tashkil etadi. Esseksit-porfirlarda esa bu ko‘rsatkich 2,57 ga teng bo‘lsa, vogezit daykalarida mazkur

1-jadval

Ko‘hitang massividagi magmatik jinslardagi ba’zi elementlarning tarqalish miqdori (g/t)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Li	15.9	10.8	20.6	9.35	17.1	17.2	7.51	7.37	6.10	43.8	7.08	8.00	9.31	6.56	7.28	6.27	12.0	9.01
Be	1.36	0.73	<0,1	0.95	1.65	3.30	<0,1	1.77	1.53	3.50	3.17	3.82	3.32	4.25	4.64	0.77	3.28	3.68
P	115	801	1210	410	163	42.9	87.1	349	64.3	28.8	121	109	92.8	93.1	63.9	151	39.7	28.5
Sc	29.0	27.3	32.9	3.77	2.53	1.91	0.82	4.32	0.82	0.84	1.77	0.52	0.42	0.75	0.27	0.82	2.03	0.95
V	157	174	228	9.86	5.78	<0,1	0.36	11.5	2.71	0.20	0.77	0.44	0.01	41.8	<0,1	6.29	<0,1	<0,1
Cr	98.5	63.5	101	6.18	2.69	5.63	6.77	5.51	6.84	10.5	1.59	<0,1	8.55	27.9	9.99	5.88	8.74	5.38
Mn	954	769	1070	412	279	409	119	174	85.8	323	247	167	238	237	148	166	393	290
Co	22.2	16.1	29.1	6.50	<0,1	1.34	<0,1	2.68	0.35	1.86	2.31	0.06	3.63	1.06	<0,1	2.41	0.91	3.10
Ni	14.7	5.05	1.96	0.34	5.33	13.5	<0,1	7.26	<0,1	15.7	15.5	3.87	16.8	0.63	5.84	4.03	18.5	15.9
Cu	52.4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zn	69.7	57.2	390	24.3	29.2	39.6	0.43	22.8	72.4	174	34.6	5.84	53.7	93.5	0.07	18.7	43.0	35.4
Ga	25.0	23.2	16.8	12.7	12.7	17.7	8.74	17.8	17.1	24.8	24.0	8.78	17.4	10.4	12.1	16.0	22.5	29.4
As	12.1	8.07	4.11	9.44	8.72	4.40	6.87	9.45	7.51	7.85	7.51	8.03	9.64	8.00	4.92	8.36	9.42	10.1
Rb	246	222	250	102	38.5	9.40	10.1	51.6	7.64	4.46	19.3	8.47	5.11	4.03	3.10	17.4	5.80	3.93
Sr	542	499	488	236	103	61.0	24.8	124	5.53	17.8	70.2	21.1	26.4	140	5.56	48.1	35.0	<0,1
Y	20.7	21.5	25.6	15.6	19.6	25.6	9.40	17.4	47.2	44.7	27.9	10.0	12.4	9.07	9.12	4.22	27.0	73.4
Zr	38.4	25.1	50.9	11.8	16.8	15.9	41.7	9.56	30.4	14.3	29.5	18.3	27.9	35.3	14.5	21.2	16.0	64.7
Nb	15.1	15.0	15.1	6.92	11.2	18.8	7.33	12.9	16.4	33.9	21.9	11.5	22.3	14.5	13.4	6.42	23.8	37.2
Mo	2.74	12.0	<0,1	<0,1	19.5	3.27	<0,1	8.10	<0,1	11.0	6.25	<0,1	25.1	<0,1	<0,1	13.8	<0,1	1.12
Sn	0.91	4.16	1.52	3.25	3.35	<0,3	5.36	1.85	3.16	4.23	6.78	2.56	1.85	5.06	5.36	3.44	1.47	2.99
Sb	1.09	1.03	1.22	0.51	0.25	0.06	0.21	0.31	0.26	0.14	0.23	0.08	0.10	0.12	0.15	0.30	0.17	0.22
Cs	10.9	7.79	12.5	5.42	3.00	0.76	0.93	2.74	0.40	<0,1	1.54	1.14	0.90	0.68	0.64	2.32	<0,1	0.03
Ba	512	502	398	938	564	31.8	120	439	29.3	9.36	127	78.7	27.0	13.6	18.7	413	25.0	24.7
La	16.9	17.0	22.8	24.5	19.9	18.3	10.4	30.2	13.1	11.5	31.2	10.3	12.6	7.93	8.58	3.44	15.6	21.5
Ce	37.0	30.1	46.1	49.8	39.5	38.2	16.9	61.6	34.2	30.0	62.3	11.9	19.8	14.7	12.6	<0,5	27.4	59.1
Pr	1.66	4.24	4.62	2.70	3.01	2.20	1.70	4.04	3.68	3.61	2.99	4.64	2.27	3.22	4.80	3.63	3.16	4.19
Nd	18.1	17.8	20.5	17.7	15.5	17.7	9.91	26.5	14.9	15.1	25.3	5.72	10.5	7.80	7.53	2.89	15.1	23.0
Sm	5.26	4.96	2.35	4.97	3.75	1.92	0.99	3.73	4.71	4.69	4.09	1.31	4.15	0.55	1.18	1.95	3.75	6.06
Eu	1.36	1.94	1.68	0.50	0.40	0.37	0.18	0.69	0.22	0.07	0.63	0.20	0.17	0.02	0.10	0.04	0.42	0.40
Gd	4.36	4.25	6.03	1.49	2.86	2.31	0.97	3.31	4.06	2.79	1.95	1.27	0.96	1.10	0.91	0.20	1.86	4.18
Tb	0.70	0.70	0.68	0.34	0.28	0.23	0.03	0.30	0.03	0.10	0.13	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.09	0.08
Dy	3.81	4.01	5.47	2.90	3.21	5.84	0.61	3.26	9.27	6.87	4.50	1.14	1.65	1.40	1.49	0.94	4.93	11.4
Ho	0.48	0.63	0.93	0.06	0.13	<0,1	0.24	0.47	1.02	0.39	<0,1	0.25	<0,1	0.06	0.18	0.12	<0,1	0.47
Er	1.98	0.70	0.88	0.11	1.83	2.13	0.46	1.79	1.24	2.35	2.00	0.55	1.78	0.85	1.27	0.08	2.26	2.79
Tm	0.29	0.31	0.33	0.27	0.12	0.13	0.16	0.08	0.14	0.13	0.09	0.13	0.06	0.11	0.11	0.16	0.17	0.15
Yb	2.55	2.31	2.99	1.17	1.50	1.45	0.84	1.11	2.01	2.51	1.72	0.85	1.23	0.80	0.76	0.52	1.71	3.61
Lu	0.35	0.29	0.43	0.12	0.14	0.09	0.07	0.12	0.12	0.12	0.12	0.09	0.09	0.05	0.05	0.10	0.08	0.15
Hf	2.27	2.06	2.81	0.79	0.46	0.39	0.31	0.56	0.38	0.42	0.49	0.29	0.38	0.35	0.31	0.44	0.40	0.56
Ta	0.85	1.40	1.01	1.00	0.42	<0,1	0.71	0.40	1.06	<0,1	<0,1	0.54	<0,1	0.54	0.54	0.75	<0,1	<0,1
W	1.69	<0,5	6.99	0.11	2.83	1.49	2.81	1.54	2.93	1.48	2.04	<0,5	2.57	0.77	3.13	1.65	<0,5	<0,5
Pb	11.3	8.62	14.9	14.0	18.5	10.3	12.4	11.5	8.44	5.66	8.08	9.05	16.1	9.56	12.7	4.53	13.1	5.70
Th	13.2	14.1	20.0	9.23	0.35	<0,3	8.31	1.80	9.78	<0,3	<0,3	3.57	<0,3	3.85	3.89	5.42	<0,3	<0,3
U	5.39	4.42	4.87	1.63	0.94	2.01	0.53	1.18	0.47	2.35	1.88	1.04	1.01	1.36	0.84	0.39	2.16	1.42

Izoh: 1-3 – gabbro, 4-7 - o‘rta va yirik donador biotitli granitlar, 8-12 – alyaskit, 13-15 – porfirsimon mayda donador granit, 16 – biotitli granit-porfir, 17-18 – leykogranit-porfir.

2-jadval

Ko‘hitang massividagi magmatik jinslardagi ba’zi elementlarning tarqalish miqdori (g/t)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Li	42.2	8.59	21.3	29.0	41.4	35.5	44.7	12.3	51.8	69.4	50.1	55.3	46.9	23.4	37.8	76.0
Be	2.64	2.52	0.42	1.39	2.66	0.87	1.48	3.37	2.39	<0,1	<0,1	0.18	0.95	0.54	10.3	<0,1
P	1710	336	1460	1530	2080	2010	1140	80.6	2510	1690	1770	2480	2700	1740	2190	1780
Sc	22.5	4.40	20.3	17.4	16.6	19.3	17.8	1.97	24.2	24.7	15.0	25.4	17.6	20.0	15.7	24.8
V	173	10.9	150	140	141	144	116	<0,1	216	159	128	219	142	159	129	176
Cr	250	22.1	138	162	85.5	82.3	155	<0,1	290	251	75.4	298	60.4	41.3	46.5	291
Mn	1290	344	964	967	957	1600	870	142	1330	709	761	1300	1230	1050	913	1050
Co	32.1	1.56	25.2	24.2	23.3	21.0	20.0	<0,1	47.7	24.9	20.2	32.5	24.8	24.1	22.0	31.2
Ni	80.2	0.63	41.9	46.4	40.7	22.7	39.1	0.67	119	96.2	11.5	83.6	27.3	20.2	34.6	157
Cu	11.5	<0,1	<0,1	0.84	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	57.3	<0,1	<0,1	22.2	<0,1	<0,1	-3.65	<0,1
Zn	100	28.7	81.3	258	205	131	66.0	79.9	100	186	96.1	84.1	152	779	118	134
Ga	19.5	10.7	10.8	20.7	22.5	14.8	12.1	6.05	26.2	10.0	11.4	13.7	13.9	17.6	29.2	14.3
As	5.86	7.35	6.07	7.04	7.42	8.85	9.29	8.49	9.44	6.03	7.24	7.01	7.17	7.18	7.91	5.39
Rb	176	58.5	233	269	163	259	158	12.7	378	83.0	201	537	145	247	185	259
Sr	424	103	498	595	412	590	335	23.9	899	175	406	1180	331	569	430	505
Y	22.2	20.1	24.1	21.8	23.4	25.5	21.5	18.7	34.0	35.1	24.0	24.8	29.6	28.5	22.0	28.6
Zr	70.7	13.9	53.4	91.3	51.6	13.1	77.2	56.4	104	146	129	98.1	82.1	33.7	93.5	155
Nb	23.0	2.51	10.5	16.4	21.5	15.2	5.45	3.61	29.7	16.8	11.1	13.4	14.5	15.9	18.5	18.6
Mo	13.0	<0,1	<0,1	7.44	11.5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4.91	<0,1	<0,1	<0,1	17.7	<0,1	<0,1
Sn	2.58	7.01	1.75	3.57	0.69	4.96	6.23	2.86	2.35	2.62	<0,3	5.52	0.11	1.53	8.40	3.05
Sb	1.05	0.25	0.97	1.01	0.93	0.99	0.76	0.25	1.42	1.04	0.99	1.11	0.9	1.18	0.84	1.20
Cs	15.5	3.29	13.2	14.0	15.1	15.1	10.1	1.28	17.6	15.1	15.0	15.7	16.3	14.2	16.6	13.5
Ba	589	406	722	914	735	861	592	285	531	1070	940	756	585	606	809	575
La	24.0	37.3	33.5	33.7	37.7	46.0	27.8	30.9	30.3	37.0	45.9	46.9	49.2	30.9	47.6	44.1
Ce	51.7	63.2	57.6	66.2	70.8	86.7	58.1	53.6	70.7	77.3	89.2	86.0	95.1	59.2	91.5	78.3
Pr	3.48	4.45	5.33	4.33	3.49	6.96	5.47	5.49	4.22	5.58	6.03	6.95	5.35	3.69	5.88	4.90
Nd	23.0	29.2	29.5	32.7	36.0	39.6	24.5	24.7	30.2	31.4	36.1	42.9	44.5	27.9	40.9	37.5
Sm	4.13	2.35	4.48	4.87	4.94	4.82	3.14	2.22	6.66	4.11	3.41	4.72	5.96	5.64	5.52	5.12
Eu	1.60	0.27	1.68	1.54	1.83	1.71	1.19	0.39	2.48	1.53	1.67	2.26	1.88	1.78	2.30	1.73
Gd	3.95	2.82	4.91	4.27	4.00	5.57	4.24	1.74	5.53	5.96	5.40	6.45	5.56	3.82	5.08	4.49
Tb	0.66	0.32	0.61	0.64	0.62	0.60	0.59	0.19	0.63	0.63	0.61	0.50	0.52	0.66	0.64	0.72
Dy	5.05	4.27	5.41	6.07	5.01	6.13	4.47	3.03	6.50	6.02	3.75	5.75	5.90	6.20	3.99	6.73
Ho	0.80	0.30	0.48	0.37	0.30	0.51	0.49	0.29	0.60	0.58	0.70	0.69	0.69	1.08	0.51	0.46
Er	2.89	1.42	2.02	2.26	2.79	1.85	1.55	1.03	3.34	1.96	1.25	2.29	2.53	1.38	5.77	0.27
Tm	0.35	0.13	0.25	0.30	0.32	0.25	0.18	0.16	0.33	0.24	0.26	0.26	0.29	0.47	0.19	0.39
Yb	3.16	1.46	2.62	2.69	2.83	2.76	2.25	1.23	3.92	3.14	2.50	2.91	3.02	2.94	2.92	2.76
Lu	0.350	0.13	0.41	0.28	0.25	0.41	0.29	0.17	0.49	0.32	0.38	0.42	0.37	0.35	0.32	0.34
Hf	2.60	0.64	2.11	2.19	2.31	2.31	1.70	0.45	3.24	2.12	2.13	2.62	2.32	2.41	2.54	2.09
Ta	<0,1	0.57	0.676	0.83	<0,1	0.67	0.65	0.55	0.28	0.96	0.94	0.69	0.67	1.30	0.36	0.998
W	<0,5	6.75	0.417	1.65	0.78	<0,5	2.34	5.10	2.35	3.32	0.77	7.49	<0,5	0.21	4.98	5.63
Pb	11.5	9.28	8.98	10.6	6.81	11.1	8.04	12.1	10.6	10.3	11.7	11.7	11.7	7.80	12.9	12.9
Th	9.11	5.46	14.4	15.3	5.03	13.1	12.6	4.30	16.0	22.2	19.4	14.6	11.8	17.3	4.54	21.2
U	7.37	2.06	4.60	4.54	5.80	4.88	3.62	0.93	8.51	3.81	3.81	5.74	5.92	5.61	7.44	3.65

Izoh: 1 – monsodiorit, 2 – kvarsli monsonit, 3 – diabaz, 4 – mezoplagiofirli leykobazalt, 5-6 – dioritli porfirit, 7 – kvarsli diorit porfiritlar, 8 – riolit, 9 – olivinli traxibazalt, 10-11 –traxibazalt, 12-13 – esseksit-porfir, 14-15 – vogezit, 16 – monchikit

nisbat nisbatan pastroq qiymatlarni 1,57 chuqurlik magmatik manbalarida kristallanish differensiyatsiyasi jarayonlari sodir bo‘lganligini hamda litosferaning quyi qatlamlaridagi ishqoriy-bazaltoidli eritmalarning yer qobig‘i bilan aralashish (kontaminatsiya) darajasini ifodalaydi. Hududdagi eng so‘nggi magmatik jarayonlar mahsuli hisoblangan monchikit va esseksit-porfir singari daykalar mantiyaning chuqur qatlamlaridagi ishqorli-bazaltoidli magmalarning faolligini qayta tiklanishi bilan uzviy bog‘liq. Ko‘hitang intruzividagi janubiy tyon shon dayali majmuasiga kiruvchi asosiy daykalar, ishqorli-bazaltoidli eritmalarining litosfera mantiyasining ancha chuqur gorizontlarida generatsiya bo‘lganligidan dalolat beradi [18, 19, 20].

Umumiy holatda magmatik tog‘ jinslari va ular bilan bog‘liq ma’danlashuvning belgilarini aniqlash uchun tadqiqot ishlari mufassallashtirilgan holatda butun yiring intruziv massivning to’liqligicha o‘zidan emas, balki kichikroq nisbatan istiqbolliroq maydonlaridan o‘rganish maqsadga muofiq. Shuning uchun yuqorida ta’kitlangan aloqlarni sinchikovlik bilan tahlil qilishda Tomchali uchastkasi tanlab olindi. Ko‘hitang intruzivida ixtisoslashgan profillar bo‘yicha geokimyoviy tadqiqotlar olib borilib, tub tog‘ jinslaridan geokimyoviy namunalar olindi. Ulardagi tog‘

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

jinslarida qimmatbaho, nodir metallar hamda kamyob yer elementlarining tarqalish xususiyatlari o‘rganilib, tog‘ jinslarining geokimyoviy ixtisoslashuvi aniqlandi. Ushbu tadqiqotlar natijasida:

Kumush (Ag). Ko‘hitang intruzivida kumushning kvars+ma’danli tomirlarda (0,68-5,93 g/t), monsodioritlarda (0,68 g/t), leykogranit-porfirlarda (0,71 g/t), biotitli alyaskitlarda (0,75-0,84 g/t) va riolitlarda (0,65-0,74 g/t) nisbatan yuqori miqdorlarini kuzatish mumkin.

Margumush (As). hamma namunalarda klark qiymatidan yuqori va klarkdan juda yuqori (granit-porfirlarda -17,30 g/t, alyaskitlarda - 220 g/t) gacha miqdorlarda uchraydi. Ko‘hitang intruzivida margumushning yuqori miqdorlarini kvars tomirlari, traxibazalt, kvarsli siyenit-porfir, granit-aplit, biotitli leykogranit, monsodiorit-porfirit, alyaskit, riolit va subkenglik yo‘nalish bo‘ylab tarqalgan esseksit-porfir, diorit-porfirit, spessartit va kamptospessartit daykalarida kuzatish mumkin.

Mis (Cu). Cu ko‘p namunalarda klark qiymatiga yaqin va undan yuqori qiymatlari leykogranit-porfirlarda - 126 g/t, epidotlashgan esseksit-porfirlarda - 130 g/t, biotitli granitlar bo‘yicha rivojlangan ikkilamchi kvarsitlarda - 222 g/t, monsodiorit-porfiritlarda - 406, g/t gacha kvars-ma’danli tomirlarda - 542 g/t intervaldagi miqdorlarda uchraydi.

Qo‘rg‘oshin (Pb). Aksariyat namunalarda klark qiymatiga yaqin va undan yuqori bo‘lgan qo‘rg‘oshinning kontsentratsiyasi dioritli-porfiritlarda - 112 g/t, esseksit-porfirlarda - 120 g/t, monsodiorit-porfiritlarda - 168 g/t, alyaskitlarda - 172 g/t, kvars-ma’danli tomirlarda - 2691 g/t gacha miqdorlarda uchraydi.

Surma (Sb). Sb hamma namunalarda klark qiymatidan yuqori bo‘lib kuzatiladi Ko‘hitang intruzivida surmaning yuqori miqdorlari biotitli granit, aplitsimon alyaskit, riolit daykasi, leykogranit-porfir va subkenglik yo‘nalish bo‘ylab tarqalgan traxidolerit, esseksit-porfir hamda kvarsli monsodiorit-porfirit daykalarida kuzatish mumkin.

Volfram (W). Ko‘pchilik namunalarda volfram klark qiymatiga yaqin va undan yuqori esseksit-porfirlarda - 7,63 g/t, leykogranit-porfirlarda - 43,40 g/t, riolitlarda - 67,40 g/t gacha kontsentratsiyalashgan miqdorlarda uchraydi.

Ko‘hitang intruzivining Tomchali uchastkasi bo‘yicha tuzilgan birlamchi litogeokimyoviy oreollar kompleks tahlili shuni ko‘rsatadiki, maydonda oddiy bir elementli anomaliya emas, balki murakkab magmatik-gidrotermal ma’danli tizim shakllangan. Au, Ag, As, Pb, Zn, Cd, Cu, Bi, Sb elementlarining bir-biri bilan fazoviy bog‘liqligi ushbu hududda oltin-kumush-polimetall minerallashuv mavjudligini ko‘rsatadi. Mo, W, Nb va Y+Sc+TR elementlarining alohida va qisman ustma-ust tushgan anomaliyalari esa bu minerallashuvning magmatik manba bilan bog‘liqligini, ya’ni ma’danli eritmalar differentsiyalangan intruziv jinslardan ajralib chiqqan bo‘lishi mumkinligini anglatadi. Elementlar assotsiatsiyasiga ko‘ra maydonda ikki asosiy geokimyoviy tizim ajratiladi. Birinchisi – Au–Ag–As–Pb–Zn–Cd–Cu–Bi–Sb assotsiatsiyasi bo‘lib, u past-o‘rta haroratli gidrotermal sharoitda shakllangan oltin-kumush-polimetall ma’danla-nishga xosdir. Au va Ag ushbu sulfidli minerallar bilan paragenetik bog‘liq holda yoki kvars-sulfidli tomirlarida mayda dispers holda to‘plangan bo‘lishi mumkin. Ikkinchi tizim – Mo–W–Nb–Y–Sc–NYE assotsiatsiyasi bo‘lib, u yuqori haroratli magmatik-gidrotermal va ehtimol greyzenlashuv jarayonlarini aks ettiradi. Bu holat Tomchali maydonida ma’danlanish faqat sulfidli gidrotermal jarayon bilan emas, balki differentsiyalangan intruziv majmua va uning kechki magmatik-gidrotermal bosqichlari bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi. Harorat sharoiti nuqtai nazaridan maydonda minerallashuv bir necha bosqichda shakllangan deb talqin qilinadi. Dastlab yuqori haroratli magmatik-gidrotermal bosqichda tahminan 350–500°C atrofida Mo–W–Nb–Y–Sc– NYE assotsiatsiyasi shakllangan bo‘li-shi mumkin. Keyingi o‘rta haroratli gidrotermal bosqichda tahminan 250–350°C sharoitda Cu–Bi–As–Au assotsiatsiyasi, ya’ni xalkopirit-pirit-arsenopiritli oltinli minerallashuv shakllangan. So‘nggi past-o‘rta haroratli bosqichda taxminan 150–280°C da Pb–Zn–Ag–Cd–Sb assotsiatsiyasi, ya’ni galenit-sfalerit-kumush-surmali polimetall minerallashuv rivojlangan bo‘lishi mumkin. Geokimyoviy oreollarning joylashuviga ko‘ra, Tomchali uchastkasida asosiy istiqbolli zona shimoli-sharqiy ma’danli tugun hisoblanadi. Bu yerda Au, Ag, As, Pb, Zn, Cd, Cu va Bi oreollari ustma-ust tushadi. Bunday kompleks anomaliya tasodifiy emas, balki yagona gidrotermal ma’danli

markaz mavjudligini ko‘rsatadi. Shuningdek, shimoliy-markaziy va shimoli-g‘arbiy qismlarda Mo–W–Nb–Y+Sc+NYE anomaliyalari ajralib, ular magmatik-gidrotermal manba yoki intruziv bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin [7, 8].

Tomchali uchastkasi oltin-kumush-polimetall hamda volfram-molibden-nodir metall mineral-lashuviga istiqbolli maydon hisoblanadi. Geokimyoviy oreollarning yuqori kontrastligi, bir nechta elementlarning fazoviy ustma-ust tushishi va anomaliyalarning strukturaviy yo‘nalishlar bo‘ylab joylashishi ushbu hududda yashirin ma’danli tanalar mavjud bo‘lishi ehtimolini oshiradi.

Xulosa. Ko‘hitang intruzivining asosiy qismini tashkil qiluvchi zarabog‘ majmuasining granitoidlari I-turdagi granitlarga mansubligi, ulardagi yengil lantanoidlarning og‘ir lanta-noidlarga nisbatining qiymatlari yuqoriligi subduksion yoki qit’laarning faol chekkalari sharoitlariga xos bo‘lgan geokimyoviy muhitni o‘zida ifodalaydi. Shalqon majmuasiga mansub monsodioritda nikel miqdori 80,20 g/t, kobalt esa 32,10 g/t ni tashkil etgani holda, kvarsli monsonitda ularning ulushi mos ravishda nikel 0,64 g/t va kobalt esa 1,56 g/t gacha o‘nlab barobarga kamayib ketganligini kuzatish mumkin. Ko‘hitang diabaz-granofirli daykali majmuasi alohida kichik mustaqil intruziyalar sifatida fosfor, oltin, kumush, polimetal va NYEga ixtisoslashgan. Janubiy tyon-shon daykali majmuasiga mansub ishqoriy-asosli jinslar (vogezit, monchikit va esseksit-porfir) nodir yer elementlarining xondritga nisbati bo‘yicha keltirilgan barcha tog‘ jinslari bitta genezisga ega ekanligi kuzatiladi. Monchikitda Ni/Co koeffit-siyenti 5.03, esseksit-porfirlarda esa bu ko‘rsatkich 2,57 ga teng bo‘lib, bu mazkur hosilalarni ishqoriy-bazaltoidli mantiya mahsulotlari yer qobig‘i bilan aralashishidan vujudga kelganligini ifodalaydi. Ko‘hitang intruzivining Tomchali uchastkasi bo‘yicha tuzilgan birlamchi litogeokimyoviy oreollar natijasida bir-biri bilan fazoviy bog‘liq bo‘lgan Au, Ag, As, Pb, Zn, Cd, Cu, Bi, Sb elementlarining murakkab magmatik-gidrotermal ma’danli tizim shakllangan. Mazkur maydonda Mo, W, Nb va Y+Sc+NYE elementlarining alohida va qisman ustma-ust tushgan anomaliyalari ushbu minerallashuvning magmatik manba bilan bog‘liqligini, ya’ni ma’danli eritmalar different-siyalangan intruziv jinslardan ajralib chiqqan bo‘lishi mumkinligini anglatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Абдуллаев, Х. М. (1950). Генетическая связь оруденения с гранитоидными интрузиями. АН УзССР.
[2] Абдуллаев, Х. М. (1960). Магматизм и оруденение Средней Азии. Издательство АН УзССР.
[3] Ахунджанов, Р., Каримова, Ф. Б., & Зенкова, С. О. (2020). Плутонические дайки Юго-Западных отрогов Гиссарского хребта. Геология и минеральные ресурсы, (5), 28–35.
[4] Шаякубов, Т. Ш., & Далимов, Т. Н. (Eds.). (1998). Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан. Университет.
[5] Далимов, Т. Н., & Ганиев, И. Н. (2010). Эволюция и типы магматизма Западного Тянь-Шаня. Университет.
[6] Диваев, Ф. К., Миркамалов, Р. Х., Далимов, Р. Т., Селтманн, Р., & Конопелько, Д. Л. (2017). Эволюция гранитоидного магматизма Западного Тянь-Шаня (Узбекистан). В Материалы III международной геологической конференции (с. 83–85). ИГГ УрО РАН.
[7] Ежков, Ю. Б., Рахимов, Р. Р., Панасюченко, В. К., & Новикова, И. В. (2013). Редкие элементы Узбекистана. ГП «НИИМР».
[8] Ежков, Ю. Б., Рахимов, Р. Р., & Новикова, И. В. (2013). Редкоземельные элементы. Геохимия, минералогия, месторождения. ГП «ИМР».
[9] Исамухамедов, И. М., Купченко, П. Д., & Василевский, Б. Ф. (1962). Магматизм и некоторые вопросы металлогении Юго-Западных отрогов Гиссарского хребта. ТашГУ.
[10] Туляганов, Х. Т., Юдалевич, З. А., Коржаев, В. П., и др. (1984). Карта магматических комплексов Узбекской ССР. Фан.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[11] Каталог интрузивных массивов Узбекистана. Часть II. (1975). Фан.
[12] Миркамалов, Р. Х., Чирикин, В. В., & Диваев, Ф. К. (2019). Геодинамические реконструкции орогенного пояса Западного Тянь-Шаня и прогнозирование эндогенных месторождений в породах фундамента: Методические рекомендации. ГП «ИМР».
[13] Петрография Узбекистана. Том 1, книга 1. (1965). Фан.
[14] Шарпенок, Л. Н. (Ed.). (2017). Практическая петрология: Методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. ВСЕГЕИ.
[15] Ахмедов, Н. А. (Ed.). (2000). Стратифицированные и интрузивные образования Узбекистана. ГП «ИМР».
[16] Хамрабаев, И. Х. (1958). Магматизм и постмагматические процессы в Западном Узбекистане. АН УзССР.
[17] Хамрабаев, И. Х. (1969). Петрологические и геохимические критерии рудоносности магматических комплексов (на примере Узбекистана). Фан.
[18] Choulet, F., Seltmann, R., Divaev, F., Shatov, V., & Konopelko, D. (2022). Mantle-triggered intrusions in the western Central Asian Orogenic Belt: Implications for the fertilisation of the crust in Tian Shan, Uzbekistan. International Journal of Earth Sciences, 111, 2691–2714.
[19] Ileshov, K. M., Qurbonov, A. A., Abdullayev, L. A., & Rahmatullayev, I. F. (2026). Gabbro-granitoidli Zarabog‘ majmuasining petrografiyasi (Hisor tog‘ tizmasining janubiy-g‘arbiy tarmoqlari). Geologiya fanlari universitetining xabarnomasi, (3), 84–91.
[20] Ishbaev, Kh. D., Dalimov, N. R., Qurbonov, A. A., Ileshov, K. M., Shukurov, A. Kh., Starostin, V. I., & Samsonov, A. A. (2025). Alkaline lamprophyres of the Chatkal-Kuramin Region (Middle Tien Shan). Moscow University Geology Bulletin, 80(4), 533–553.
[21] Jumaniyozov, D. I., Karimova, F. B., Xo‘jjiev, M. O., Ileshov, K. M., Qurbonov, A. A., & Samandarova, Sh. Y. (2025). O‘zbekiston tog‘ jinslarining etalon namunalar katalogi. Ilm va fan.
[22] Qurbonov, A. A., Dolimov, R. T., Ileshov, K. M., & Ishbayev, X. D. (2024). O‘zbekiston magmatik tog‘ jinslarining atlasi. Fan.
[23] Qurbonov, A. A., Ishbayev, X. D., & Ileshov, K. M. (2023). Ko‘hitang daykali majmuasining geologik-petrografik xususiyatlari (Hisor tizmasining janubiy-g‘arbiy tarmoqlari). Geologiya va mineral resurslar, (5), 13–18.

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

Ileshov, K. M., Qurbonov, A. A., Abdullayev, L. A., & Jumaniyozov, D. I. (2026). Ko‘hitang gabbro-granitoid massivi tog‘ jinslarining geokimyoviy xususiyatlari (Hisor tog‘ tizmasining janubiy-g‘arbiy tarmoqlari). Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.10

УДК: 553.411:548.4

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.11

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КВАРЦЕВЫХ ЖИЛАХ КЫЗЫЛАЛМАСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УЧАСТОК САМАРЧУК)



Есенбаев Алишер Гаибидуллаевич

Начальник геологического отдела ГУ «Узбекгидрогеология», Ташкент, Узбекистан



Курбонов Абдухаким Абдувакилович

Доцент кафедры общей геологии Университета геологических наук, доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, Ташкент, Узбекистан



Илешов Куанишбек Муратович

Младший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан



Джуманиязов Денис Икрамович

Младший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы состав, фазовое состояние и термобарогеохимические особенности флюидных включений в минерализованных кварцевых жилах участка Самарчук Кызылалмасайского месторождения Чаткало-Кураминского региона. В исследованиях использованы электронно-зондовый микроанализатор JEOL JXA-8200, микротермокамера THMSG–600 и программное обеспечение FLINCOR. Установлено, что флюидные включения в кварце преимущественно представлены двухфазовыми газово-жидкими включениями водно-солевых растворов. Температуры их гомогенизации изменяются от 368 до 120 °C, концентрация солей — от 15,0 до 0,2 мас. %-экв. NaCl, а плотность флюида составляет 0,55–1,04 г/см³. Рудообразующие растворы содержат хлориды Na, Mg и K, а также HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, CO_2 и CH_4. Гидротермальные флюиды участка Самарчук характеризуются средне- и низкотемпературными условиями формирования и относительно низкой солёностью, что соответствует характеристикам флюидов эпитермальных месторождений. Минералогические исследования выявили пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, самородный висмут, кобальтин, штютцит, барит и апатит. Полученные результаты имеют важное значение для определения условий формирования золото-серебряного оруденения и оценки перспектив участка Самарчук.*

Ключевые слова: *Кызылалмасайское месторождение, участок Самарчук, кварцевые жилы, флюидные включения, гидротермальные флюиды, микротермометрия, эпитермальное месторождение, золото-серебряное оруденение, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, штютцит, барит, апатит.*

Received: 12.09.2026 | Accepted: 06.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

QIZILOLMASOY KONI KVARS TOMIRLARIDAGI FLYUID INKLYUZIYALAR TARKIBINI O‘RGANISH (SAMARCHUQ UCHASTKASI)

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Esenbayev Alisher Gaibidullayevich
"O'zbekgidrogeologiya" DM geologiya bo'limi boshlig'i, Toshkent, O'zbekiston

Kurbonov Abduxakim Abduvakilovich
Geologiya fanlari universiteti "Umumiy geologiya" kafedrasi dotsenti, geologiya-mineralogiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Toshkent, O'zbekiston

Ileshov Kuanishbek Muratovich
Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O'zbekiston

Jumaniyozov Denis Ikramovich
Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. *Maqolada Chotqol–Qurama mintaqasidagi Qizilolmasoy konining Samarchuq uchastkasida tarqalgan minerallashgan kvars tomirlaridagi flyuid inklyuziyalarning tarkibi, fazaviy holati va termobarogeokimyoviy xususiyatlari o'rganilgan. Tadqiqotlarda JEOL JXA-8200 elektron-zond mikroanalizatori, THMSG–600 mikotermokamerasi va FLINCOR dasturidan foydalanilgan. Kvarsdagi flyuid inklyuziyalar asosan suv-tuz eritmalaridan iborat ikki fazali gaz–suyuqlik qo'shilmalaridan tashkil topganligi aniqlangan. Mikotermometrik tadqiqotlar natijasida ularning gomogenlanish harorati 368–120 °C, tuzlar konsentratsiyasi 15,0–0,2 massa % NaCl ekvivalenti, flyuid zichligi esa 0,55–1,04 g/sm³ oralig'ida ekanligi aniqlangan. Ruda hosil qiluvchi eritmalar tarkibida Na, Mg va K xloridlari, shuningdek HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, CO_2 va CH_4 komponentlari mavjudligi qayd etilgan. Samarchuq uchastkasidagi gidrotermal flyuidlarning o'rta va past haroratli, nisbatan past sho'rlangan xususiyatga egaligi ularning epitermal konlarga xos flyuidlarga mos kelishini ko'rsatadi. Mineralogik tadqiqotlarda pirit, xalkopirit, galenit, sfalerit, tug'ma vismut, kobaltinning sulfoarsenidi, shtyutsit, barit va apatit singari minerallar aniqlangan. Olingan natijalar Samarchuq uchastkasidagi oltin-kumush minerallashuvining shakllanish sharoitlarini aniqlash va uning istiqbolliligini baholashda muhim ilmiy ahamiyatga ega.*

Kalit so'zlar: *Qizilolmasoy koni, Samarchuq uchastkasi, kvars tomirlari, flyuid inklyuziyalar, gidrotermal flyuidlar, mikotermometriya, epitermal kon, oltin-kumush minerallashuvi, pirit, xalkopirit, galenit, sfalerit, shtyutsit, barit, apatit.*

STUDY OF THE COMPOSITION OF FLUID INCLUSIONS IN QUARTZ VEINS OF THE KYZYLALMASAY DEPOSIT (SAMARCHUK AREA)

Esenbaev Alisher Gaibidullaevich
Head of the Geological Department, State Institution "Uzbekhydrogeology", Tashkent, Uzbekistan

Kurbonov Abduxakim Abdivakil ugli
Associate Professor, Department of General Geology, University of Geological Sciences, PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Ileshov Kuanishbek Muratovich
Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Jumaniyozov Denis Ikramovich
Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article investigates the composition, phase state, and thermobarogeochemical characteristics of fluid inclusions hosted by mineralized quartz veins in the Samarchuk area of the Kyzylalmasay deposit, Chatkal–Kurama region. The study employed a JEOL JXA-8200 electron probe microanalyzer, a THMSG–600 microthermometric stage, and FLINCOR software. Fluid inclusions in quartz are predominantly represented by two-phase gas–liquid inclusions containing aqueous–saline solutions. Microthermometric measurements indicate homogenization temperatures of 368–120 °C, salinities ranging from 15.0 to 0.2 wt.% NaCl equivalent, and fluid densities of 0.55–1.04 g/cm³. The ore-forming fluids contain Na, Mg, and K chlorides as well as HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, CO_2, and CH_4. Hydrothermal fluids of the Samarchuk area are characterized by medium- to low-temperature formation conditions and relatively low salinity, consistent with fluids typical of epithermal deposits. Mineralogical studies identified pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, native bismuth, cobaltite, stützite, barite, and apatite. The obtained results are important for understanding the formation conditions of gold–silver mineralization and assessing the mineral potential of the Samarchuk area.*

Keywords: *Kizilolmasoy deposit, Samarchuq area, quartz veins, fluid inclusions, hydrothermal fluids, microthermometry, epithermal deposit, gold-silver mineralization, pyrite.*

Введение. В мировой практике в последние годы особое внимание придается созданию научных основ изучения разнообразных наноминеральных и флюидных включений в золоторудных кварцевых жилах с целью выявления генетической связи с ними золотого, редкометалльного и другого оруденения. Научные исследования, проведенные на крупных месторождениях в развитых странах, показали, что изыскания по определению вещественного состава пород и руд служат важными источниками информации при выявлении условий формирования оруденения и разработке критериев их прогноза. Флюидные включения – это герметически изолированные в минерале в процессе его роста частицы минералообразующей среды (раствора, расплава или газа), имеющие с минералом фазовую границу. Иначе говоря, включения в минерале – это пространство внутреннего дефекта кристаллической решетки, заполненное в процессе кристаллизации минералообразующим флюидом или другим веществом. Для классификации флюидных включений обычно используются два основных признака (Ермаков, 1950, и др.): 1) генетический тип или способ образования флюидного включения относительно содержащего его кристалла и 2) фазовый состав содержимого включения, отражающий фазовый тип минералообразующей среды. Генетический тип включения определяет, о каком времени относительно кристалла несет информацию изучаемое включение. Фазовый состав содержимого включений определяет методы его исследования и последовательность экспериментов с этим включением. Важным признаком включений является время их образования в процессе кристаллизации минерала. По их пространственному размещению в кристалле и времени образования флюидные включения подразделяются на первичные (сингенетические), первично-вторичные, или мнимовторичные (субсингенетические) и вторичные (эпигенетические). Не только начинающие, но иногда даже опытные исследователи нередко испытывают затруднения при диагностике генетического типа включений [16].

Геохимические и минералогические исследования эпитермальных месторождений Чаткало-Кураминского региона проводятся более 40 лет. Среди исследователей известны М.А.Абатурова, Р.П.Бадалова, С.Т.Бадалов, А.С.Бадалов, Булатова Л.Ш., Ю.Л.Гертман, Л.И.Гельман, А.В.Гиль, А.Д.Джураев, Э.А.Дунин-Барковская, К.М.Заири, Д.У. Ермекбаева, Е.Н.Игнатиков, Д.Г.Камагуров, В.В.Козлов, В.А.Коваленкер, С.М.Колоскова, Р.И.Конеев, Н.Н.Королева, Э.А.Маркова, М.М.Мансуров, Г.С.Мещанинова, М.И. Моисеева, Д.С.Мукимова, Л.Н.Николаева, Е.И.Николаева, М.И.Новгородова, Н.И. Овчинникова, Н.В.Петровская, М.М. Пирназаров, Г.П.Пергат, О.Ю.Плотинская, Г.Ш.Рашидова, В.Л.Русинов, В.Ф.Скрябин, С.К.Смирнова, Т.С.Тимофеева, А.Х. Туресебеков, В.М.Турлычкин, М.Д.Увадьев, А.З.Умаров, З.И.Хамрабаева, В.Д.Цой, В.А.Шевкаленко, Р.Г.Юсупов и многие другие [4, 5, 11, 12, 13, 17].

Методы исследований. При изучении минералого-термобарогеохимических особенностей кварцевых жил в рудах Кызылалмасайского месторождения (участок Самарчук) использован современный высокочуствительный электронно-зондовый микроанализатор JEOL JXA-8200. Микротермометрические исследования флюидных включений проводились в секторе минераграфии ИГЕМ РАН с использованием измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG–600 фирмы «Linkam» (Англия), микроскопа «Olimpus B51», снабженного набором длиннофокусных объективов. Оценка концентраций солей, плотностей и давлений флюида проводились с использованием программы FLINCOR.

Геологическое строение и тектоническая позиция Кызылалмасайского месторождения. Месторождение Кызылалмасай находится на территории Ахангаранского района Ташкентской области, в 70 км от г. Ташкент и в 10 км от г. Ангрен. Ангренская золотоизвлекательная фабрика расположена в 5 км от месторождения и связана с ним асфальтированной автодорогой. В площадь рудного поля входят Северо-Западный,

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Центральный, Междуречье, Самарчукский и Чумаукский I и II участки месторождения, а также ряд золото-серебряных рудопроявлений.

Южная часть рудного поля расположена в предгорной холмисто-увалистой зоне с абсолютными отметками 1000-1300 м. На остальной части рельеф горный, расчлененный, с крутыми склонами. Абсолютные отметки достигают 2000 м, а относительные превышения – 150-300 м. Южный склон Чаткальского хребта, ограниченный р.Ангрен, в пределах рудного поля рассечен правыми притоками р.Ангрен: Гошсай, Кызылалмасай, Карабау. С запада рудное поле ограничено р.Акча-Восточная, а с востока – р.Дукент [15].

Рудное поле с составляющими его месторождениями (участками) Северо-Западное, Кызылалма, Междуречье, Самарчук, Чумаук и рядом рудопроявлений изучается в течение более 50 лет [2, 3, 10, 15].

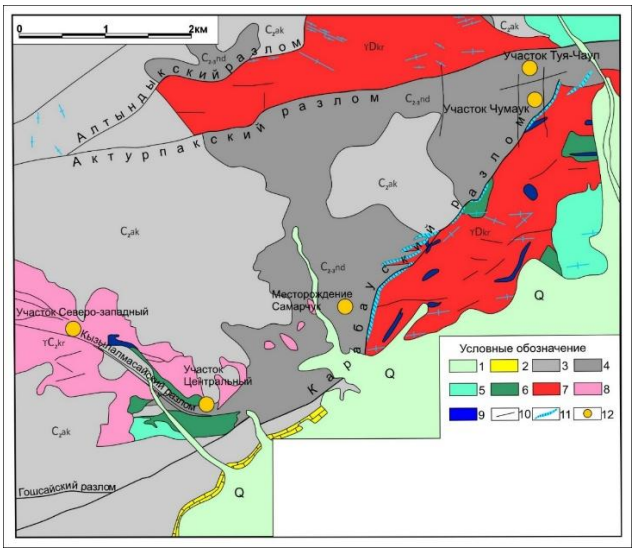


Рис.1. Геологическая карта Кызылалмасайского рудного поля (Р.Х.Миркамалов и др., 2010) [10].

1 – четвертичные отложения; 2 – кайнозойские отложения; 3 – акчинский комплекс C2ak; 4 – болгалинский комплекс C2bl; 5 – субвулканическая фация болгалинского комплекса; 6 – раннепалеозойские сланцы O-S; 7 – башкызылсайский гранитоидный комплекс S1-2;, 8 – карамазарский гранит-адамелитовый C2k комплекс; 9 – дайки сиенодиоритов; 10 – дайки фельзитов; 11 – кварцевые жилы; 12 – участки месторождений. По материалам М.О.Сулейманова, В.В.Поморцева и др., 1990 г.

Согласно материалам, приведенным Б.Ф.Исламовым [3, 4], на месторождении выделяются два крупных блока– западный и восточный, границей которых служит разрывное нарушение, трассируемое руслом реки Гошсай. В пределах западного блока размещаются месторождения Северо-Западный и Кызылалма (Центральный) с осевой структурой –Кызылалмасайским разломом– и месторождение Междуречье; восточный блок включает месторождения Самарчук и Чумаук, приуроченные к Карабаускому разлому.

Большой вклад в оценку и изучение месторождения внесли В.В. Мартынов, Н.Ф. Рафиков, О.В. Белоплотова, С.Я. Сушенцова, Г.И. Малматин, И.А. Ерохин, Р.П. Бадалова, А.С. Бадалов, М.А. Абатурова, М.Д. Увадьев, В.Р. Аширматова, А.Ж. Жураев и многие другие.

Кызылалмасайское месторождение приурочено к восточному флангу Шаваз-Дукентского вулканотектонического грабена, ограниченного с севера серией разломов северо-восточного простирания и Гошсайским разломом - на юге. На востоке структура прерывается Бабайтоудорской вулкано-стуктурой.

В пределах рудного поля получили развитие вулканиты надакского и акчинского комплексов, залегающих на каледонских и герцинских гранитоидах. Каледонские гранитоиды содержат множество блок-ксенолитов ордовик-нижнесилурийских глинистых сланцев, которые наиболее распространены в низовьях рек Кызылалмасай и Карабау. Каледонские интрузивные породы представлены габбро-диоритами, двуслюдяными гранитами, адамеллитами и дайками диабазов лампрофиров, риолитов, диоритовых порфиритов и гранит-порфиров. В районе месторождения наиболее развиты двуслюдяные граниты, представленные среднезернистыми разностями. Породы в различной степени метаморфизованы; биотит в них частично замещен мусковитом. По мере приближения к минерализованной зоне степень метаморфизма нарастает, что выражается в появлении катакластической структуры и слабой субпараллельной ориентировки породообразующих минералов. Вблизи минерализованной зоны породы рассланцовываются,

приобретая в гранитах гнейсовые текстуры. Интрузивные образования карамазарского кварцево-монцонит-гранодиоритового комплекса представлены гранодиоритами и дайками риолитов, сиенитово-диоритовых и кварцево-диоритовых порфиров.

По представлению А.Ф. Рафикова, Т.Н. Далимова и др. (1985г.), на рассматриваемой территории вулканогенные образования представлены надакским комплексом. Их возраст, по находкам ископаемой флоры, соответствует московскому-касимовскому векам. По данным С.С. Сайдыганиева, абсолютный возраст пород надакского комплекса находится в пределах 317±25 млн. лет. Стратифицированные образования надакского комплекса расчленены на три пачки, каждой соответствуют секущие тела. Породы комплекса сложены туфоконгломератами, туфогравелитами, туфопесчаниками и туфоалевролитами (вулканомиктовая фация), андезитовыми туфами, литокристалло-кластическими андезитовыми туфами (эксплозивная фация), автомагматические брекчии с обломками гранитов, гранодиоритов, сланцев, андезитов, сцементированных андезитовым материалом, трахибазальты и андезибазальты (субвулканические аналоги). Общая мощность комплекса достигает 1200-1500м [15].

Минералогические особенности рудных минералов в жильном кварце месторождения Кызылалма. Выделяются два подтипа руд: пирит-халькопиритовый убогосульфидный и кварц-полиметаллический умеренносульфидный. Первый является главенствующим и характеризуется резким преобладанием кварца (90-95%), незначительным содержанием пирита и халькопирита. Общее содержание сульфидов в нем не превышает 1,5-3%. Характерно высокопробное золото. Преобладающие структуры руд здесь гипидиоморфнозернистые. Текстура чаще всего массивная и вкрапленная, реже прожилковая [9, 15].

В золото-сереброрудную стадию отложилось 5 минеральных ассоциаций. Первая, кварц-серицит-пиритовая, является фоновой. В ее составе, кроме вышеперечисленных минералов, отмечены кальцит, хлорит, лейкоксен, рутил, фуксит. Основным нерудным минералом этой ассоциации является кварц. Главный рудный минерал здесь –пирит [1, 11, 12, 13, 14, 17].

К ранним золотопродуктивным ассоциациям относятся кварц-пирит–халькопиритовая и кварц-пирит-золоторудная (Р.П. Бадалова и др., 1969; Н.И. Овчинникова, 1989 г.). В составе кварц-пирит-халькопиритовой минеральной ассоциации, кроме вышеназванных минералов, присутствуют сидерит, самородные золото и серебро.

В составе кварц-пирит-золоторудной минеральной ассоциации в очень незначительных количествах присутствуют халькопирит, галенит, арсенопирит, сфалерит, Ni- и As – пирит, бравоит, самородное золото. Самородное золото встречается главным образом в виде включений различной формы в пирите, халькопирите, реже в кварце и обладает высокой пробностью.

Кварц-полиметаллическая и серебро-сульфосольная парагенетические минеральные ассоциации являются продуктивными на серебро. Наибольшее распространение имеет кварц-полиметаллическая минеральная ассоциация, в которой жильные минералы представлены кварцем, карбонатами (кальцит, сидерит, анкерит), а рудные - пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, тетраэдритом, Zn-тетраэдритом. Эта минеральная ассоциация характеризуется спектром минералов ряда золото-серебро с преобладанием электрума (пробность – 550-650).

Серебро-сульфосольная минеральная ассоциация проявлена локально. Характеризуется наличием сростков самородного серебра с халькопиритом, реже тетраэдритом и теннантитом. В составе ассоциации установлены фрейбергит, науманнит, агвиларит, берцелианит, гессит, петцит, калаверит, алларгентум, дискразит, сложные сульфосоли Cu, Ag, Bi. Все минералы серебро-сульфосольной минеральной ассоциации содержат резко повышенные количества серебра и висмута, что является их типоморфной особенностью.

Проявление Самарчук представлено наиболее многочисленной рудных минералов.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Во всех изученных под микроскопом аншлифах установлено присутствие рудных минералов, преимущественно пирита, который главным образом представлен рассеянной вкрапленностью разноразмерных выделений, реже их прожилковидными обособлениями и агрегатами. Халькопирит, галенит и другие минералы встречаются значительно реже. Суммарное количество рудных минералов редко превышает 2 об.%. Жильные минералы представлены, в основном, кварцем с подчиненным количеством карбонатов и слюд, в некоторых образцах – полевыми шпатами. Изредка отмечается барит.

Пирит. При изучении кварцевых жил (в обр. №№ Т-05, Т-05/1 - Т-05/4 и Т-06, Т-06/1 - Т-06/4) установлено, что среди рудных минералов преобладает пирит, образующий рассеянную вкрапленность в виде мелких идиоморфных и ксеноморфных кристаллов (рис.2.а), среди которых встречаются скопления более крупные кристаллов (рис.2. б, в), а также мелкие ксеноморфные и округлые включения халькопирита среди кварца.



(а) *Т-06/4. Ув. 10х* **(б)** *Т-06/4. Ув. 10х* **(в)** *Т-06/1. Ув. 10х* **(г)** *Т-07/4. Ув. 10х*
(д) *Т-07/4. Ув. 10х* **(е)** *Т-07/4. Ув. 40х* **(ж)** *Т-07/4. Ув. 40х* **(и)** *Т-07/1. Ув. 10х*
(к) *Т-2091. Ув. 10х* **(л)** *Т-2091. Ув. 20х* **(м)** *Т-2091. Ув. 20х* **(н)** *Т-2093. Ув. 10х*

Рис.2. Характер распределения и морфология выделений пирита и других рудных минералов. Проявление Самарчук. Микрофото в отраженном свете.

Суммарное количество пирита в этих изученных аншлифах не превышает 1 об.%. В обр. №№ Т-07, Т-07/1 - Т-07/4 характер пиритовой минерализации как в плане морфологии выделений, так и их количества по сравнению с предыдущими образцами практически не изменяется (рис.2.д), однако здесь более значительную роль начинают играть халькопирит и галенит (рис.2. г-и). Эти минералы заполняют интерстиции между зернами кварца, образуют округлые и мелкие изометричные и ксеноморфные включения в жильном материале.

Более обильная (до 2-3 об. %) вкрапленность кубических кристаллов пирита отмечена в обр. №№ Т-2091 и Т-2093, в которых также присутствует более значительное количество карбонатов.

Исследование элементного состава пирита проявления Самарчук (6 образцов, 21 анализ, табл.1)показало устойчивые соотношения Fe (45.19 – 45.93 масс. %) и S (53.03 – 53.95 масс. %), отражающее стехиометрию этого минерала.

Таблица 1.

Результаты изучения элементного состава пирита проявления Самарчук (мас.%)

№ ан.	As	Fe	S	Ni	Cu	Sb	Co	Сумма
	Обр. Т- 06							
6	0,02	45,56	53,71	0,01	0,03	0,00	0,05	99,39
7	0,03	45,69	52,21	0,03	0,04	0,00	0,11	98,11
8	0,02	45,52	53,55	0,07	0,03	0,01	0,09	99,28
10	0,00	45,40	53,55	0,02	0,03	0,01	0,07	99,07
	Обр. Т- 06/4							
31	0,00	45,89	52,77	0,00	0,00	0,00	0,07	98,73
34	0,12	45,39	53,03	0,00	0,05	0,00	0,03	98,63
36	0,02	45,93	52,53	0,00	0,00	0,01	0,06	98,54
38	0,01	45,83	53,23	0,00	0,00	0,01	0,06	99,14
	Обр. Т-07							
52	0,00	45,33	53,86	0,01	0,00	0,00	0,06	99,27
53	0,00	45,29	53,95	0,00	0,02	0,00	0,06	99,32
	Обр. Т- 07/4							
12	0,01	45,67	53,15	0,03	0,01	0,00	0,22	99,08
13	0,00	45,69	53,23	0,08	0,02	0,00	0,05	99,07
16	0,00	45,78	52,61	0,01	0,08	0,03	0,06	98,56
22	0,00	45,75	53,11	0,01	0,70	0,00	0,08	99,65
28	0,04	45,19	52,58	0,02	0,94	0,07	0,05	98,88
	Обр. Т-2091							
41	0,02	45,88	53,58	0,01	0,00	0,04	0,04	99,57
43	0,01	45,62	53,90	0,00	0,01	0,00	0,07	99,61
45	0,01	45,71	53,72	0,02	0,00	0,00	0,04	99,50
48	0,00	45,36	53,26	0,03	0,05	0,00	0,03	98,73
	Обр. Т-2093							
55	0,00	45,57	53,66	0,02	0,01	0,00	0,06	99,33
57	0,03	44,56	53,69	0,04	0,00	0,01	0,03	98,35

В минерале практически отсутствуют значимые количества мышьяка – лишь в одном образце (Т-06/4; табл. 1, ан.34) зафиксированы заметные концентрации (0.12 масс. %) этого элемента. То же самое можно сказать о содержаниях Ni, Cu и Sb, которые в большинстве случаев не превышают 0.02-0.03 масс. %, т.е. находятся на границе предела обнаружения, и лишь в единичных анализах достигают 0.07-0.08 масс. %.

Халькопирит. Образует выделения неправильной формы. Заполняет, как правило, промежутки между зернами пирита и образует срастания со сфалеритом, галенитом, блеклой рудой. Весьма примечательно, что халькопирит

при этом практически лишен элементов-примесей (табл. 2). В то же время, для элементного состава изученных выделений галенита присутствие ряда (кроме основных – Pb и S) весьма характерно. По материалам Р.А.Халматова, в халькопирите с глубиной повышается содержание золота (от 0,07 до 1,41%), серебра (от 1 до 7,81%) [17].

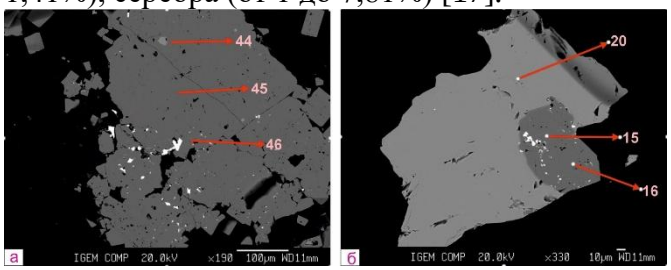


Рис.3. Взаимоотношения рудных минералов в проявлении Самарчук.

(а)- Микровключения кристаллов галенита и сфалерита в пирите; (б) Сросток халькопирита и округлого зерна пирита с микровключениями галенита.

Таблица 2.

Результаты изучения элементного состава халькопирита проявления Самарчук (%)

No.ан.	As	Fe	S	Ni	Cu	Sb	Co	Zn	Ag	Total
Обр. Т- 07										
49	0,03	29,74	36,06	Н.О.	32,58	0,06	Н.О.	0,00	0,00	98,46
50	0,03	29,47	35,18	Н.О.	32,69	0,02	Н.О.	0,04	0,01	97,43
67	0,00	29,87	35,16	Н.О.	32,85	0,00	Н.О.	0,05	0,00	97,94
Обр. Т- 07/4										
17	0,02	29,75	34,72	0,02	34,68	0,00	0,03	0,00	0,00	99,21
20	0,00	29,65	34,07	0,00	34,48	0,00	0,02	0,00	0,00	98,22
23	0,00	29,43	34,67	0,00	34,68	0,01	0,08	0,00	0,02	98,89
27	0,00	30,02	33,88	0,00	34,15	0,00	0,03	0,00	0,00	98,08

В составе этого минерала из обр. Т-07/4, установлены (табл.2.) примеси Fe, Cu и Pb, которые, как мы полагаем, могли быть захвачены из при анализе из халькопирита и галенита, в которых расположены его мельчайшие выделения (Рис.5.). Что касается минерала, который в виде каймы развивается здесь между халькопиритом и пиритом (Рис. 5в.), то он, как показал анализ на микрозонде (табл.4.), оказался сульфоарсенидом Co, Ni и Fe, со стехиометрией кобальтина (Co, Ni, Fe)AsS.

Арсенопирит. По данным Р.А.Халматова, микрозондового анализа в золото-серебряной ассоциации содержит золото до 1800 г/т, без заметных включений, в виде изоструктурных соединений. Арсенопирит отличается наибольшим разнообразием примесей: Cu, Ni, Co, Sb, Bi, Se, Hg. В золото-теллуровой ассоциации представлен тонкокристалическим арсенопиритом. Из всех минералов-матриц арсенопирит – типоморфный минерал золотых месторождений. В отличие от Кызылкумских и Нуратинских, арсенопирит Кураминских месторождений представлен тонкокристаллической формой [11, 12, 13, 17].

Самородный висмут. Самородный висмут образуется в гидротермальных жилах, где ассоциирует с другими минералами висмута, сурьмы, мышьяка, золота и серебра. Для них характерны зернистые агрегаты, отдельные зёрна, скелетные кристаллы и дендритоподобные выделения. Очень редко встречаются кристаллы псевдокубического облика.

Таблица 3.

Результаты изучения элементного состава самородного Bi проявления Самарчук (%)

№ ан.	Fe	S	Cu	Sb	Ag	Se	Bi	Pb	Сумма
Обр. Т-07/4									
15	4.12	1.24	0.77	0.00	0.04	0.02	90.08	0.00	96.25
18	0.76	0.79	1.30	0.05	0.12	0.14	95.78	4.16	103.10
25	0.13	0.11	0.17	0.23	0.00	0.01	100.10	0.00	100.75

В составе этого минерала из обр. Т-07/4 установлены (табл. 3) примеси Fe, Cu и Pb, которые, как мы полагаем, могли быть захвачены из халькопирита и галенита, в которых расположены его мельчайшие выделения (рис. 5а).

Кобальтин. Что касается минерала, который в виде каймы развивается здесь между халькопиритом и пиритом (рис.5. б), то он, как показал анализ на микрозонде (табл. 4), оказался сульфоарсенидом Co, Ni и Fe со стехиометрией кобальтина (Co, Ni, Fe)AsS.

Таблица 4.

Результаты изучения элементного состава сульфоарсенида Co, Ni и Fe проявления Самарчук (масс. %)

№ ан.	As	Fe	S	Ni	Cu	Sb	Co	Ag	Сумма
Обр. Т-07/4									
21	41,56	4,99	20,33	6,70	0,46	0,00	23,04	0,03	97,12

Штютцит. Встречается с другими сульфидными и теллуридными минералами в гидротермальных рудопроявлениях. Сопутствующие и ассоциирующие минералы, прежде всего, из числа теллуридов золота-серебра: сильванит, гессит, нагиагит, алтаит, петцит, эмпрессит, самородный теллур, самородное золото, кроме того, также галенит, сфалерит, колузит, теннантит и пирит.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

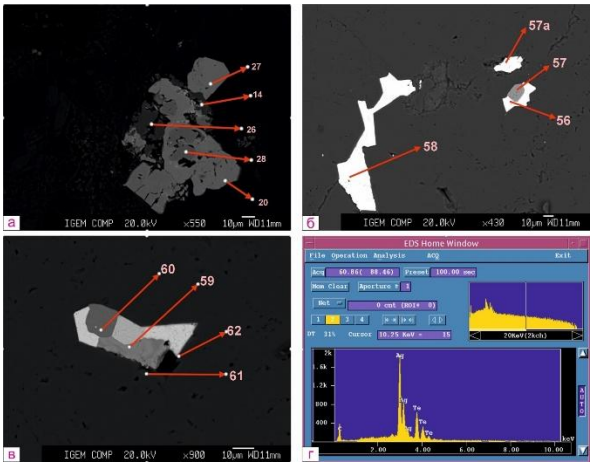


Рис.4. Сросток халькопирита и пирита с микровключениями апатита.

(а). Взаимоотношения теллурида серебра с пиритом (б), галенитом, халькопиритом и теннантитом (в).

Таблица 5.

Результаты изучения элементного состава теллурида Ag проявления Самарчук (%)

№. ан.	Ag	Te	Сумма
Обр.Т-2093			
56	**60.88**	**35.99**	**96.87**
57a	**59.60**	**39.25**	**98.85**
58	**61.53**	**38.56**	**100.09**
59	**60.89**	**36.76**	**97.65**

В обр. Т-2093 обнаружен теллурид серебра (рис. 4), стехиометрия которого, в соответствии с результатами анализа на микрозонде (табл. 5), отвечает штютциту (Ag5-xTe) -типичному минералу месторождений Кочбулак и Кайрагач (Коваленкер В.А., Русинов В.Л., Сафонов Ю.Г. 1981; Коваленкер и др., 1997, 2003) [6, 7, 8, 9, 17].

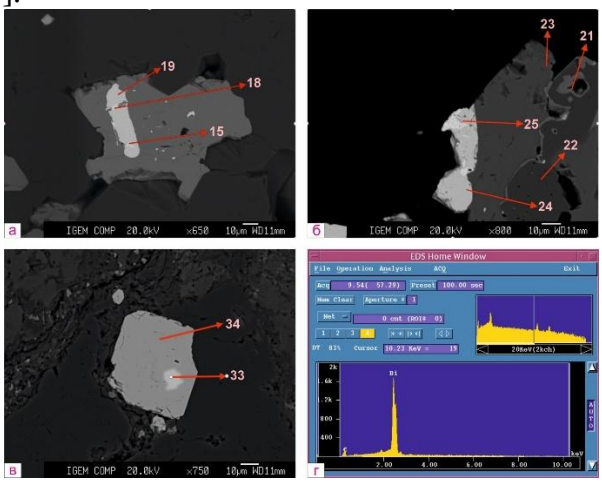


Рис.5. Взаимоотношения галенита.

(а, б), самородного висмута (в, г), кобальтина (б), халькопирита (б) и пирита (а, б). (в) Микровключение сфалерита в пирите.

Барит. Замечательной особенностью состава барита проявления Самарчук является присутствие высоких (2.8 масс. %) концентраций стронция (табл. 6), так-же как и в других эпитермальных месторождениях ВС-типа этого региона (Кайрагач, Кочбулак; Коваленкер и др., 2003) [6, 7].

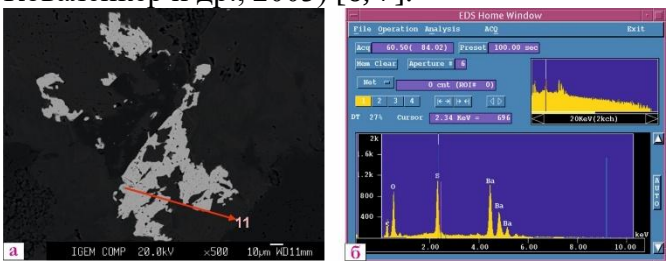


Рис.6. Морфология выделений барита.

(а, б). Проявление Самарчук. Обр. Т-06.

В целом же барит является индикатором повышенных окислительных условий среды минералообразования.

Таблица 6.

Результаты изучения элементного состава барита проявления Самарчук (%)

№ ан.	Fe	S	SiO_2	BaO	SrO	CaO	Na_2O	Сумма
Обр. Т-06								
12	0.18	33.93	0.02	62.13	2.68	0.24	0.22	99.44

Апатит. Из жильных минералов проявления Самарчук прежде всего должны быть отмечены апатит, демонстрирующий несомненную ассоциацию с пиритом и халькопиритом (обр. Т-06/4 и Т-07/4; рис.7. а). Апатит – это минерал с широкими вариациями (как можно видеть из его химической формулы: $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl,OH,CO_3$)) как основных, так и примесных элементов– развит во многих типах природных образований и рассматривается как один из универсальных индикаторов условий минералообразования. Состав апатита из проявления Самарчук (табл.6) принадлежит к наиболее распространенной фтористой разновидности этого минерала с содержаниями фтора, варьирующими от 2.46 до 5.37 масс. %, причем в наименее фтористых отмечено присутствие более значительных концентраций Cl (0.27-0.37 масс. %; ан. 32, 37 в табл.7), по сравнению с высокофтористыми. Также в одном из зерен минерала (ан. 26) выявлены заметные количества серы (0.29 масс .%).

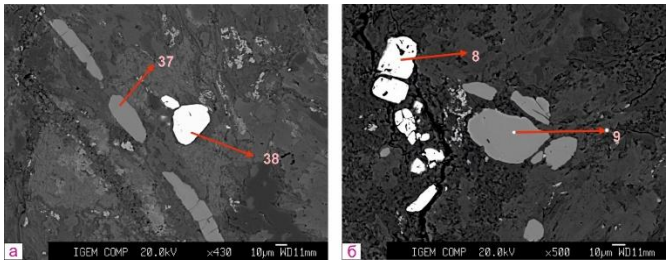


Рис.7. Морфология выделений апатита (а, б) и пирита.

Таблица 7.

Результаты изучения элементного состава апатита проявления Самарчук (мас. %)

№.ан.	Fe	S	Mn	SiO2	F	P_2O_5	Ce_2O_3	CaO	Cl	Na_2O	Сумма
		Обр. Т-06									
9	0.23	0.03	0.41	0.04	4.79	40.73	0.09	55.61	0.15	0.12	102.48
		Обр. Т-06/4									
14	0.09	0.03	0.05	0.59	5.37	39.74	0.05	56.88	0.00	0.04	102.89
26	0.61	0.29	0.14	0.69	4.02	40.66	0.15	55.31	0.02	0.10	102.49
32	0.31	0.02	0.05	0.91	3.17	39.58	0.15	55.68	0.27	0.01	100.62
37	0.75	0.02	0.07	0.20	2.46	40.15	0.14	55.01	0.37	0.03	99.43

Примечание. В минерале также определены переменные концентрации (масс.%): Al_2O_3 (0.01-0.36) и REE: Y_2O_3 (0.00 – 0.16), Pr_2O_3 (0.00 – 0.06), Nd_2O_3 (0.00 – 013).

Более детальные исследования рудной минерализации проявления Самарчук, в т.ч. с использованием растровой электронной микроскопии (микрозонд JEOL JXA-8200), позволили установить, что помимо пирита, халькопирита, галенита и сфалерита, присутствие нескольких рудных и жильных минералов, которые вследствие их, как правило, весьма мелких размеров выделений, не были установлены оптическими методами.

Прежде всего, среди них заслуживают быть отмеченными минералы, которые являются характерными для типовых месторождений Кураминского региона, то есть имеющие индикаторное значение. Таким минералом является самородный висмут – характерный минерал эпитермального золоторудного месторождения Кайрагач [7], который был установлен в проявлении Самарчук при изучении обр. Т-07/4 и Т-2093 в галените, находящемся в ассоциации с пиритом, халькопиритом и сульфоарсенидом Co, Ni и Fe (рис.7).

Особое значение для прогноза перспектив проявления Самарчук имеет тот факт, что обычно эпитермальные месторождения ВС-типа рассматриваются как малоглубинные части порфирово-эпитермальных систем [6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 17]. В частности, таковой в Алмалыкской порфирово-эпитермальной рудообразующей системе является Актурпак, а Кайрагач и Кочбулак мы рассматриваем как принадлежащие к гипотетической Кочбулакской порфирово-эпитермальной системе, реликты литокапа которой сохранились в виде останцов алунитовых кварцитов (аргиллизитов) в пределах площади Кайрагач-Кочбулакского рудного поля (Гушсай, Восток и др.) [7].

Характеристика флюидных включений в жильном кварце. Изучено 6 пластин из образцов минерализованных прожилков участка Самарчук, представляющих гидротермальную минерализацию. В пластинах из 36 образцов найдены пригодные для микротермометрических исследований флюидные включения. Среди флюидных включений в соответствии с известными критериями (Реддер, 1987) были выделены первичные, первично-вторичные и вторичные флюидные включения. К первичным нами отнесены флюидные включения, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина, либо приуроченные к зонам роста. Вторичными считались включения, приуроченные к секущим минерал-хозяина трещинам. Первично-вторич-ные флюидные включения приурочены к трещинам, не достигающим внешних границ кристаллов и зерен, а по фазовому наполнению аналогичны первичным включениям.

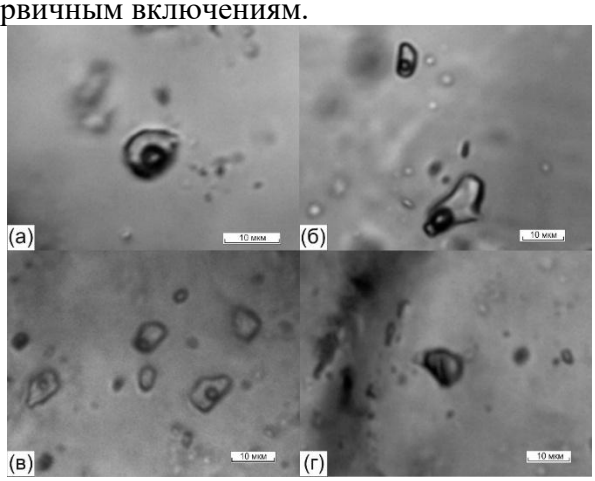


Рис.8. Типы флюидных включений в кварце минерализованных прожилков проявления Самарчук:

а-в – двухфазовые включения водно-солевых растворов типа 1; г – газовое включение типа 2. Масштаб 10 мкм.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

По фазовому составу флюидные включения представлены только двухфазовыми газово-жидкими включениями водно-солевых растворов (рис.8.). Данные термо- и криометрических исследований более 500 индивидуальных флюидных включений в кварце минерализованных прожилков участка Самарчук приведены на рис.8.

Рудообразующий флюид минерализованных жил проявления Самарчук содержал хлориды Na, Mg и K. Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений (от -26 до -33°C). Двухфазовые газово-жидкие флюидные включения в кварце гомогенизируются в жидкость при температурах от 368 до 120°C, концентрация солей изменяется от 15.0 до 0.2 мас. %-экв. NaCl, плотность флюида составляет 0.55-1.04 г/см^3.

В валовом химическом составе флюидов из включений в кварце среди катионов главную роль играют (г/кг H2O): Na (13.6-1.4), K (7.5-0.3) и Ca (10.8-0.5), а Mg (1.3-0.1) находится в подчиненном количестве. Установлены заметные концентрации таких компонентов, как (г/кг H_2O): HCO_3- (59.4-0.7), SO_4- (10.5-3.6), Cl- (19.1-2.7), CO_2 (14.8-3.3) и CH_4 (1.8-0.4). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H_2O): As (2169-25.3), Li (128.7-2.1), B (68.5-10.0), Rb (16.8-1.0), Cs (0.61-0.43), Sr (43.1-8.1), Mo (58.8-1.3), Ag (1.5-0.62), Sb (43.7-4.5), Cu (76.7-3.3), Zn (1189-11.4), Cd (2.1-0.12), Pb (16.9-0.4), Bi (0.56-0.01), Th (0.11-0.04), U (0.10-0.004), Ga (31.6-0.15), Ti (9.3-1.2), Mn (73.4-2.3), Fe (545-10.1), Co (0.46-0.02), Ni (14.1-0.3), V (8.7-0.05), Cr (6.4-0.2), Y (0.2-0.01), Zr (0.79-0.50), Sn (0.18-0.05), Ba (1598-1.2), W (121.7-0.9), Au (0.19-0.002), Tl (0.12-0.01) и REE (1.0-0.6)

Включения типа 1 в ряде случаев захватывались вместе с газовыми включениями типа 2, что свидетельствует о гетерогенном состоянии флюида. Глубокое охлаждение газовых включений до температур -180 °C не выявило конденсации каких-либо фаз, что свидетельствует о заполнении газовых включений только малоплотным водяным паром. Давление водяного пара изменялось от 190 до 100 бар при температурах от 368 до 315 °C.

Основные показатели состава флюида: CO_2/CH_4 = 23.3–5.9, Na/K = 47.6–0.34, K/Rb = 2434–380. Минерализация флюида 9.7-1.4 мас. %.

Гидротермальные флюиды проявления Самарчук обнаруживают развитие средне- и низкотемпературных флюидов, которые имеют низкую соленость и соответствуют флюидам эпитермальных месторождений.

Золоторудные месторождения Кызылалмасайского рудного поля парагенетически связаны с верхнепалеозойским вулканизмом, его формирование обеспечено активизацией в этот период мантийного плюма и образованием над ним крупного сводового поднятия. Оруденение характеризуется волнообразностью и многостадийностью рудного процесса, который объясняется многократной активизацией мантийного плюма. Полихронный возраст руд подтверждается определением абсолютного возраста (Е.М. Головин, 1981 г.). Возраст околорудных метасоматитов, определенный калий-аргоновым методом, колеблется от 302±4 млн. лет – по хлориту и 289±1 млн. лет – по серициту (зона рудного тела № 1) до 238±2 млн. лет – по серициту (зона рудного тела № 10). Эти цифры согласуются с возрастом вулканитов дацит-андезитовой формации (296±1 млн. лет) и даек фельзитов диабаз-гранофировой (246±3 млн. лет) формации.Формой переноса золота является гидросульфидная, серебра – галлоидно-сероводородная. Золото-серебряное оруденение месторождения имеет мантийно-коровый источник гидротермальных растворов достаточно глубокого заложения, что обеспечивает значительный его вертикальный размах, учитывая незначительную эродированность надрудной её части. Все это позволяет сделать вывод о значительных глубинах формирования и размахе рудного процесса на данном месторождении [8, 11, 12, 13, 17].

Гидротермальное рудоотложение на месторождении Кызылалмасай происходило полистадийно, и наблюдается направленное изменение качественного состава минерализации последующих стадий по сравнению с предыдущими. Сопоставление условий рудоотложения последовательных стадий

показывает закономерное увеличение в них доли парагенезисов, формирующихся в условиях роста щелочности среды. Это дает основание для вывода, что флюид, генерируемый очагом (в виде одного или нескольких импульсов), качественно меняет состав, а не является стандартным в течение жизни очага. Так как время формирования месторождений оценивается в десятки-сотни тысяч лет, а время жизни очага – от первых миллионов лет до десятков [6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 18], то логично полагать, что за период жизни очага, продуцирующего оруденение, пути миграции флюидов могли неоднократно меняться, и в пределах рудного узла могло формироваться разнотипные оруденения. Гидротермальные флюиды участка Самарчук обнаруживают развитие средне- и низкотемпературных флюидов, которые имеют низкую соленость и соответствуют флюидам эпитермальных месторождений.

Выводы: Золоторудные месторождения Кызылалмасайского рудного поля парагенетически связаны с верхнепалеозойским вулканизмом, его формирование обеспечено активизацией в этот период мантийного плюма и образованием над ним крупного сводового поднятия. Оруденение характеризуется волнообразностью и многостадийностью рудного процесса, который объясняется многократной активизацией мантийного плюма. По фазовому составу флюидные включения на участке Самарчук представлены только двухфазовыми газово-жидкими включениями водно-солевых растворов. Рудообразующий флюид минерализованных жил содержал хлориды Na, Mg и K, о чем свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений (от -26 до -34°C). Двухфазовые газово-жидкие флюидные включения в кварце гомогенизируются в жидкость при температурах от 368 до 120°C, концентрация солей во флюиде изменяется от 15.0 до 0.2 мас. %-экв. NaCl, плотность флюида составляет 0.55-1.04 г/см^3. Гидротермальные флюиды участка Самарчук обнаруживают развитие средне- и низкотемпературных флюидов, которые имеют низкую соленость и соответствуют флюидам эпитермальных месторождений.

Работа выполнена по ГРР теме: «Изучение минералогии и флюидных включений золоторудных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Срединный Тянь-Шань)».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Ахунджанов, Р., Зенкова, С. О., Сайдиганиев, С. С., & Каримова, Ф. Б. (2014). Лампрофировый магматизм и золото-серебряное оруденение Кызылалмасайского рудного поля. Геология и минеральные ресурсы, (5), 47–62.

[2] Балашова, О. В., Курбанов, П. Ф., Мартынов, В. В., & Сулейманов, М. О. (1969). Геология Кызылалмасайского рудного поля. В Рудные формации и основные черты металлогении золота в Узбекистане (с. 80–86). Фан.

[3] Исламов, Б. Ф., & Исламов, Ф. И. (2008). О перспективах глубоких горизонтов золото-серебряного месторождения Кызылалмасай (Узбекистан). Геология и минеральные ресурсы, (1), 19–25.

[4] Исламов, Ф. И. (1997). Формационные типы вулканогенных золото-серебряных месторождений палеозойских вулканогенных поясов, критерии их поисков и прогнозирования (на примере Бельтау-Кураминского вулкано-плутонического пояса) [Автореферат диссертации доктора геолого-минералогических наук].

[5] Каримова, Ф. Б. (2020). Плутонические дайки золото-серебряных месторождений Алмалык-Ангренского района. IMPRESS MEDIA.

[6] Коваленкер, В. А. (2010). Некоторые характерные особенности палеозойских золото-теллуридных месторождений Кураминских гор (Центральная Азия). В Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии (Вып. 4, с. 13–36). ИГЕМ РАН.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[7] Коваленкер, В. А., Гейнке, В. Р., Поморцев, В. В., & Тронева, Н. В. (1988). Новая находка висмутовой минерализации в Кураминских горах. Доклады Академии наук СССР, 300(4), 943–946.
[8] Конеев, Р. И. (2006). Наноминералогия золота эпитермальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). DELTA.
[9] Кряжев, С. Г., Прокофьев, В. Ю., & Васюта, Ю. В. (2006). Использование метода ICP-MS при анализе состава рудообразующих флюидов гидротермальных рудных месторождений. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, (4), 30–36.
[10] Миркамалов, Р. Х., Голованов, И. М., Чирикин, В. В., Фадеичева, Л. П., & Миркамалова, Г. Х. (2010). Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана. ГП «НИИМР».
[11] Пирназаров, М. М. (2011). Рудно-формационные типы, особенности концентрационных моделей и методы локального прогнозирования золоторудных месторождений Узбекистана [Автореферат диссертации доктора геолого-минералогических наук].
[12] Пирназаров, М. М., & Колоскова, С. М. (2004). Генетическая модель золотого оруденения Кызылалмасайского типа Шаваз-Дукентского грабена (Ангренский золоторудный район). Геология и минеральные ресурсы, (2), 16–24.
[13] Пирназаров, М. М., & Колоскова, С. М. (2007). Золотоносные рудно-геохимические системы Шаваз-Дукентского грабена (Восточный Узбекистан). ГП «НИИМР».
[14] Рафиков, Я. М., Каримова, Ф. Б., & Зенкова, С. О. (2014). Вулканогенные флюидизатно-эксплозивные образования и связь с ними эпитермального золото-серебряного оруденения (на примере Кызылалмасайского рудного поля). В Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан (с. 166–168). ГП «НИИМР».
[15] Голованов, И. М. (Ed.). (2001). Рудные месторождения Узбекистана. ГИДРОИНГЕО.
[16] Мельников, Ф. П., Прокофьев, В. Ю., & Шатагин, Н. Н. (2008). Термобарогеохимия: Учебник для вузов. Академический Проект.
[17] Халматов, Р. А. (2021). Геохимия, состав руд и металлогения золота Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан) [Автореферат диссертации доктора наук (DSc) геолого-минералогических наук].
[18] Simmons, F. A., White, N. C., & John, D. A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In Economic geology 100th anniversary volume (pp. 485–522). Society of Economic Geologists, Inc.

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

Есенбаев, А. Г., Курбанов, А. А., Ислешов, К. М., & Джуманиязов, Д. И. (2026). Изучение состава флюидных включений в кварцевых жилах Кызылалмасайского месторождения (участок Самарчук). Цифровые технологии в промышленности, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.11

UO‘K: 553.3.078:553

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.12

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

AYTIM MA’DANLI MAYDONIDA OLTIN MA’DANLASHUVINING JOYLASHUV QONUNIYATLARI VA NAZORAT QILUVCHI STRUKTURAVIY OMILLAR



Movlanov Jaxongir Jo‘rabekovich

Direktor, Geoinnovatsion texnologiyalar markazi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: jahongir79@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-8850-1157
Science ID: DJZ-0425-0002



Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich

Kichik ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: lochin2930@mail.ru
ORCID ID: 0009-0008-2805-5798
Science ID: MAN-0525-0068



Rahmatullayev Ilhom Farmonqul o‘g‘li

Muhandis geolog, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: rahmatullayevilhom587@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-1306-0442
Science ID: BSR-0525-0012

Annotatsiya. *Maqolada Aytim ma’danli maydonida oltin ma’danlashuvining fazoviy joylashish qonuniyatlari hamda uni nazorat qiluvchi strukturaviy, litologik va gidrotermal-metasomatik omillar kompleks tahlil qilingan. Tadqiqotlarda 1:1000 masshtabli geologik-strukturaviy xarita, 1:500 masshtabli kesmalar, 18 ta tayanch profil, kanava va burg‘u quduqlari ma’lumotlari hamda avvalgi geologik-qidiruv materiallaridan foydalanilgan. Asosiy ma’danli zonalarning shimoli-sharqiy, taxminan 55–60° yo‘nalishdagi tektonik zaif zonalar bilan barqaror fazoviy bog‘liqligi aniqlangan. Ma’dan tanalarining qalinlashishi, tarmoqlanishi va yuqori Au miqdorli lokal ustunlar uzilmalar qayrilgan, kesishgan, tutashgan hamda qayta faollashgan segmentlarda ko‘proq kuzatilishi ko‘rsatilgan. “Strukturaviy to‘lqin” modeli asosida ma’danlilikning qanot va apikal pozitsiyalar bo‘yicha asimmetrik taqsimlanishi qayd etilgan, biroq ushbu qonuniyat lokal qidiruv modeli sifatida baholangan. Strukturaviy o‘tkazuvchanlik yetakchi nazorat omili bo‘lib, terrigen-slanetsli va uglerodli jinslarning xususiyatlari, kvarslashish, seritsitlashish, xloritlashish, karbonatlanish va sulfidlanish oltinning lokal cho‘kishi uchun qo‘shimcha sharoit yaratgan.*

Kalit so‘zlar: *Aytim, Bukantov, oltin ma’danlashuvi, tektonik uzilmalar, strukturaviy nazorat, antiklinal, strukturaviy to‘lqin, kvarslashish, sulfidlanish, gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar, qidiruv mezonlari.*

Received: 26.09.2026 | Accepted: 06.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ И КОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ АЙТЫМСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Мовланов Джахонгир Жорабекович
Директор, Центр геоинновационных технологий, Ташкент, Узбекистан

Абдуллаев Лочинбек Анваржонович
Младший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Рахматуллаев Илхом Фармункул угли
Инженер-геолог, Институт геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье рассмотрены пространственные закономерности размещения золотого оруденения Айтымского рудного поля и контролирующие его структурные, литологические и гидротермально-метасоматические факторы. Исследование выполнено на основе геолого-структурной карты масштаба 1:1000, разрезов масштаба 1:500, 18 опорных профилей, данных канав и буровых скважин, а также ранее полученных поисково-оценочных материалов. Установлена наиболее устойчивая пространственная связь основных рудных зон с северо-восточными тектонически ослабленными зонами простирания около 55–60°. Утолщение и ветвление рудных тел, а также локальные участки с повышенным содержанием Au преимущественно приурочены к изгибам, пересечениям, сочленениям и реактивированным сегментам разломов. Рабочая модель «структурной волны» отражает асимметричное распределение минерализации между крыльевыми и апикальными позициями, однако рассматривается как локальная поисковая модель. Ведущим фактором контроля является структурная проницаемость, тогда как свойства терригенно-сланцевых и углеродистых пород, окварцевание, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация и сульфидизация создавали дополнительные условия для локального осаждения золота.*

Ключевые слова: *Айтым, Букантау, золотое оруденение, тектонические разломы, структурный контроль, антиклиналь, структурная волна, окварцевание, сульфидизация, гидротермально-метасоматические изменения, поисковые критерии.*

SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF GOLD MINERALIZATION AND STRUCTURAL CONTROLS IN THE AYTIM ORE FIELD

Movlanov Jaxongir Jorabekovich
Director, Center for Geoinnovative Technologies, Tashkent, Uzbekistan

Abdullayev Lochinbek Anvarjonovich
Junior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Rahmatullayev Ilhom Farmonqul ugli
Geological Engineer, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article examines the spatial distribution patterns of gold mineralization in the Aytim ore field and the structural, lithological, and hydrothermal-metasomatic factors controlling its localization. The study is based on a 1:1,000 geological-structural map, 1:500 cross-sections, 18 reference profiles, trench and drill-hole data, and previously obtained exploration materials. The main mineralized zones show a persistent spatial relationship with northeast-trending tectonically weakened zones striking approximately 55–60°. Ore-body thickening, branching, and local high-grade Au shoots are preferentially associated with bends, intersections, junctions, and reactivated fault segments. The "structural-wave" working model indicates an asymmetric distribution of mineralization between flank and apical positions; however, it is regarded as a local exploration model rather than a universal rule. Structural permeability is considered the principal control, whereas the mechanical and physicochemical properties of terrigenous-shale and carbonaceous rocks, together with silicification, sericitization, chloritization, carbonatization, and sulfide mineralization, acted as additional factors favorable for local gold deposition.*

Keywords: *Aytim, Bukantov, gold mineralization, tectonic faults, structural control, anticline, structural wave, silicification, sulfide mineralization, hydrothermal-metasomatic alteration, exploration criteria.*

Kirish. Aytim ma’danli maydoni Tyan-Shan orogenik tizimining g‘arbiy qismida, Janubiy Bukantov strukturaviy zonasining janubi-g‘arbiy segmentida joylashgan. Hudud Qizilqumning murakkab qoplama-burmali va blokli tuzilmasi tarkibiga kiradi. Paleozoygacha va erta paleozoy yoshidagi cho‘kindi-metamorfik komplekslar keyingi tektonik bosqichlarda burmalanish, uzilma hosil bo‘lish va gidrotermal jarayonlar ta’sirida bir necha bor qayta tuzilgan. Shu sababli oltin ma’danlashuvining fazoviy holatini faqat litologik yoki faqat tomirli omil bilan izohlash yetarli emas. Ma’danlashuv strukturaviy o‘tkazuvchanlik, ma’dan qamrovchi jinslarning xususiyatlari va gidrotermal-metasomatik qayta ishlanishning o‘zaro ta’siri natijasi sifatida ko‘rib chiqilishi lozim.

Aytimning asosiy ma’danli zonalari shimoli-sharqiy yo‘nalishda cho‘zilgan, kuchli dislokatsiyalangan va darzlangan terrigen-slanesli komplekslar bilan bog‘liq. Jinslarning qatlamlanishi, slaneslanishi, tektonik maydalanishi va turli yo‘nalishdagi uzilmalar tarmog‘i gidrotermal eritmalar harakati uchun murakkab o‘tkazuvchan muhit hosil qilgan. Ayniqsa, uzilmalar qayrilgan, kesishgan yoki qayta faollashgan qismlarda kvarslashish, sulfidlanish va ma’dan tanalarining qalinlashuvi kuchayishi kuzatiladi. Mazkur munosabatlarni miqdoriy va fazoviy jihatdan asoslash Aytimning chuqurlik va qanot istiqbollarini baholash uchun dolzarb hisoblanadi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Aytim va Bukantov hududida oltin ma’danlashuvining qidiruv belgilari, uglerod saqlovchi qatlamlarning mineralogik-geokimyoviy xususiyatlari va ayrim hamroh elementlar tarqalishi avvalgi ishlarda yoritilgan [1-5]. Mintaqaviy miqyosda oltin konlarining ruda-formatsion turlari, prognoz-qidiruv modellari va geologik omillari umumlashtirilgan [6]. Ushbu tadqiqotlar Aytimda uglerodli jinslar, kvarslashish, sulfidlanish va tektonik buzilishlarning ma’danlashuv bilan aloqadorligini ko‘rsatgan. Biroq ma’dan tanalarining turli strukturaviy pozitsiyalardagi morfologiyasi va qalinligi, uzilmalarning qayrilish-kesishish tugunlari hamda “strukturaviy to‘lqin” deb talqin qilinadigan segmentlarda Au taqsimotining miqdoriy farqlari kompleks tarzda baholanishi zarur.

Mazkur ishda avvalgi natijalar tayyor genetik model sifatida qabul qilinmadi. Deformatsiya ellipsoidi va qiyosiy strukturaviy analoglar faqat ishchi kinematik sxema sifatida ishlatilib, ularning Aytimga tatbiqi geologik kesmalar, uzilma yo‘nalishlari, mineralizatsiya morfologiyasi va burg‘ilash natijalari bilan solishtirildi. Shu yondashuv geometriyaga asoslangan taxminlarni bevosita kuzatuv va qidiruv ma’lumotlaridan ajratish imkonini berdi.

Tadqiqot metodologiyasi. Oltin ma’danlashuvining fazoviy joylashish qonuniyatlarini aniqlashda turli yillarda bajarilgan geologik suratga olish, qidiruv-baholash, burg‘ilash, tog‘-kon va tematik tadqiqotlar materiallari qayta tahlil qilindi. Ma’danli zonalar geometriyasini aniqlash uchun 1:1000 masshtabli geologik-strukturaviy xarita va 1:500 masshtabli kesmalar asos qilib olindi. 18 ta tayanch profil bo‘yicha tuzilgan kesmalar asosan 340° azimut bo‘ylab, ya’ni ma’danli zonalarning umumiy 55-60° yo‘nalishiga deyarli ko‘ndalang joylashtirilgan. Kanavalardagi yer yuzasi kuzatuvlari sharoshkali va kolonkali quduqlar ma’lumotlari bilan o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Ma’dan tanalarini qo‘shni profillar bo‘yicha korrelyatsiya qilishda tektonik zonaning yo‘nalishi, kvarslashish va sulfidlanish intensivligi, litologik chegaralar, gidrotermal o‘zgarishlar hamda ma’danli intervallarning o‘zaro holati birgalikda hisobga olindi. Yer yuzasida kanava bilan bevosita ochilgan kontaktlar nisbatan ishonchli, faqat burg‘ilash yoki qo‘shni profillar o‘rtasidagi korrelyatsiya asosida tiklangan chegaralar esa ehtimoliy talqin sifatida baholandi. Ma’danlilikni qiyoslashda kesim qalinligi, Au miqdori, kesimlar soni va qalinlik (x) tarkib ko‘paytmasi kabi ko‘rsatkichlardan foydalanildi. Turli qidiruv zichligi va namuna soni sababli statistik natijalar teng hajmli tanlanma sifatida emas, balki lokal strukturaviy qonuniyatlarni tekshirish vositasi sifatida talqin qilindi.

Tahlil va natijalar. Aytim maydonining mezokaynozoygacha bo‘lgan poydevori asosan vend-quyi kembriy yoshidagi Koksoy svitasining terrigen-slanesli yotqiziqlaridan tashkil topgan. Maydonning janubiy qismida metamorfik slaneslar va alevrolitlar keng tarqalgan bo‘lib, ular qumtosh, gilli va uglerodli slanes qatlamlari bilan

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

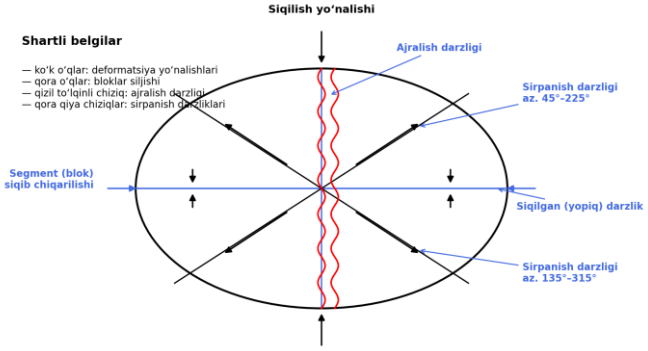
almashinadi. Metamorfik slaneslarda kvars va seritsit asosiy mineral komponentlar bo‘lib, ayrim turlarida ularning umumiy miqdori 90-95% gacha yetadi. Uglerodli slaneslarda tarqoq piritning mavjudligi reaktiv geokimyoviy muhit shakllanishida muhim bo‘lishi mumkin, biroq uning oltin cho‘ktirishdagi bevosita roli maxsus mineralogik-geokimyoviy tekshiruvlar bilan tasdiqlanishi lozim.

Geologik-litologik sharoit va ma’dan qamrovchi jinslar. Koksoy svitasining ikki litologik pachkasi o‘rtasidagi muhim tektonik chegara Ayaqashi uzilmasi bilan ifodalanadi. Uzilmaning shimolida qumtoshlar ustun bo‘lib, alevrolit, argillit va metamorfik slanes qatlamchalari bilan almashinadi, janubiy pachkada, jumladan Aytim hududida, slanes va alevrolitlar nisbatan ko‘proq. Birlamchi stratigrafik munosabatlar keyingi uzilmali deformatsiyalar bilan murakkablashgani sababli litologik chegaralarni faqat qatlamlar ketma-ketligi asosida emas, balki tektonik takrorlanish va blokli siljish ehtimolini hisobga olgan holda talqin qilish zarur.

Aytim doirasida yirik intruziv massivlar yer yuzasiga chiqmaydi. Eng yaqin yirik magmatik hosila maydon janubidagi Oltintov granitoid massivi hisoblanadi. Uning Aytimga geografik yaqinligi genetik aloqani avtomatik ravishda isbotlamaydi. Nordon, o‘rta va asos tarkibli ayrim daykalar, porfiritlar, aplit va pegmatitlar asosan VI minerallashgan zonaning shimoliy flangida, asosiy ma’dan konturidan tashqarida kuzatiladi. Mavjud ma’lumotlarda ular bilan oltin ma’danlashuvi o‘rtasida barqaror lokal fazoviy bog‘liqlik aniqlanmagan. Shu sababli magmatik omilni bevosita lokal ma’dan nazorat qiluvchi omil emas, balki ehtimoliy regional gidrotermal tizim elementi sifatida ehtiyotkorlik bilan baholash maqsadga muvofiq.

Burma-uzilma tuzilmalari va strukturaviy o‘tkazuvchanlik. Qatlamli jinslarning umumiy cho‘zilishi shimoli-sharqiy yo‘nalishga ega. Asosiy ma’danli zonalar joylashgan janubiy segmentlarda qatlamlar ko‘pincha janub va janubi-sharqqa 50-80° burchak ostida qiyalanadi. Ushbu holat Aytim maydonining yirik shimoli-sharqiy yo‘nalishdagi antiklinal tuzilmaning janubi-sharqiy qanotida joylashganini ko‘rsatadi. Antiklinal qanoti yuqori tartibli burmalar, fleksurasimon qayrilishlar, slaneslanish va tektonik maydalanish zonalari bilan murakkablashgan.

Maydondagi uzilmalar shartli ravishda subkenglik, shimoli-sharqiy, submeridional va shimoli-g‘arbiy yo‘nalishli tizimlarga ajratiladi. Shulardan shimoli-sharqiy yo‘nalishdagi uzilmalar I, III va VI ma’danli zonalar bilan eng barqaror fazoviy munosabatga ega. Ular bo‘ylab slaneslanish, ezilish, maydalanish, temirlanish, tomirchali kvarslashish va sulfidlanish kuchaygan. Subkenglik hamda shimoli-g‘arbiy yo‘nalishdagi ayrim uzilmalar esa ma’danli zonalarni segmentlarga ajratuvchi, siljituvchi yoki bloklovchi tuzilmalar sifatida namoyon bo‘ladi. Turli yo‘nalishdagi uzilmalar kesishgan, tutashgan va qayrilgan qismlarda darzlik zichligi hamda o‘tkazuvchanlik ortishi mumkin.

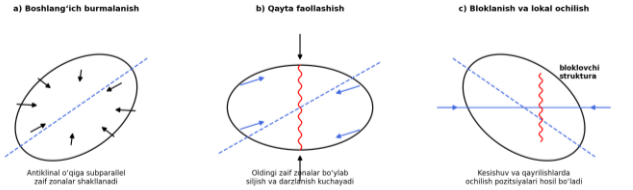


1-rasm. Deformatsiya ellipsoidi va uzilmalar tizimining shakllanishiga oid nazariy sxema.

Deformatsiya ellipsoidi modeli bir xil uzilma tuzilmasining turli tektonik bosqichlarda vazifasi o‘zgarishi mumkinligini tushuntirish uchun qo‘llanildi. Dastlab burma qanotida shakllangan bo‘ylama zaif zona keyingi siqilish yoki siljish jarayonida reaktivatsiyalanib, ma’dan hosil bo‘lish davrida lokal ochilgan segmentlari orqali gidrotermal eritmalarni o‘tkazishi mumkin. Modelning qo‘llanishi faqat geometriyaga asoslanmasligi kerak, uzilmalarning yotish elementlari, siljish indikatorlari, brekchiyalanish, tomirlar kesishuvlari va burg‘ilash ma’lumotlari bilan tasdiqlangan segmentlargina yuqori ishonchlilikdagi strukturaviy pozitsiya sifatida qaraladi.

Qiyosiy strukturaviy analog va Aytimga tatbiq chegaralari. Ma’lumotlarga ko‘ra deformatsiya ellipsoidi va zaif zonalarning qayta faollashishi Kansoy antiklinal tuzilmasi misolida qiyosiy analog

sifatida keltirilgan. Ushbu analogda burma o‘qiga subparallel zaif zonalar dastlabki deformatsiyada shakllanib, keyingi bosqichda siljish va qayta ochilish hisobiga gidrotermal eritmalar uchun o‘tkazuvchan yo‘lakka aylanishi mumkin. Aytimdagi 55-60° yo‘nalishli ma’danli zonalarni tushuntirishda mazkur sxemadan metodik analog sifatida foydalanish mumkin, biroq ikki hududning litologiyasi, magmatizmi va deformatsiya tarixi to‘liq bir xil deb qabul qilinmaydi.



2-rasm. Kansoy antiklinal tuzilmasi misolida tektonik zaif zonalarning rivojlanish modeli.

Gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar va ma’danlashuv. Aytim maydonida kvarslashish, seritsitlashish, xloritlashish, karbonatlanish, piritlashish, arsenopiritlashish va temirlanish eng muhim gidrotermal-metasomatik jarayonlar hisoblanadi. Ular asosan yuqori darajada darzlangan va tektonik maydalanishga uchragan zonalarda rivojlangan. Kvars hosilalari qatlamga muvofiq va kesib o‘tuvchi tomirlar, parallel tomirchalar, to‘rsimon kvarslashish, linzasimon uyalar hamda diffuz kremniylanish shaklida uchraydi. Ayrim kesib o‘tuvchi tomirlarning qalinligi 6 m gacha va kuzatilgan uzunligi 500 m gacha yetishi qayd etilgan, biroq bu o‘lchamlarni butun maydon uchun bir xil deb umumlashtirish mumkin emas.

Nisbatan istiqbolli intervallar ko‘pincha kvarslashish, sulfidlanish va tektonik brekchiyalanish birgalikda kuchaygan qismlarga to‘g‘ri keladi. Qumtosh va alevrolitning mo‘rt qatlamchalari deformatsiya vaqtida darzlanib, suyuqliklar uchun o‘tkazuvchan muhit hosil qilishi mumkin. Seritsitli, gilli va uglerodli slaneslarda esa kengroq metasomatik qayta ishlanish va sulfidlanish kuzatiladi. Uglerodli modda va singenetik piritning oltinni cho‘ktirishdagi roli ehtimoliy geokimyoviy to‘siq modeli bilan tushuntiriladi, ammo bu omilni mustaqil nazorat mexanizmi sifatida qabul qilish uchun qo‘shimcha geokimyoviy va mikroanalitik ma’lumotlar talab qilinadi.

Aytim maydonining uch bosqichli ishchi tektonik modeli. Manba ma’lumotlarini qayta talqin qilish asosida tektonik rivojlanish shartli ravishda uch bosqichga ajratildi. Birinchi - ma’danlashuvdan oldingi orogen bosqichda terrigen-slanesli qatlamlar antiklinal tuzilmaga burmalangan va burma o‘qiga subparallel bo‘ylama zaif zonalar shakllangan. 55-60° yo‘nalishdagi antiklinal o‘qi uchun siqilish yo‘nalishi taxminan 325-330° deb rekonstruksiya qilinadi. Ushbu bosqichda zaif zonalarning asosiy ahamiyati ma’dan o‘tkazish emas, balki keyingi deformatsiya uchun tayyor strukturaviy heterogenlikni yaratishdan iborat bo‘lgan.

Ikkinchi - ma’dan oldi tayyorlov bosqichida regional kuchlanish maydoni o‘zgarishi natijasida avvalgi shimoli-sharqiy zaif zonalar qayta faollashgan. Ularda chap tomonlama siljish ehtimoli, ezilish, maydalanish, darzlanish va fleksurasimon qayrilishlar kuchaygan. Bu jarayonlar ayrim segmentlarda lokal ochilish va o‘tkazuvchanlikning ortishiga olib kelgan deb talqin qilinadi. Uchinchi - ma’dan hosil bo‘lish bosqichida oldindan tayyorlangan 55-60° yo‘nalishli zonalar asosiy gidrotermal kanallar sifatida ishlagan. qayrilishlar, apikal va apikaloldi qismlar, ochilgan qanotlar hamda boshqa yo‘nalishdagi uzilmalar bilan kesishuv tugunlarida kvars-sulfidli mineralizatsiya kuchaygan.



3-rasm. Aytim maydonida oltin ma’danlashuvining uch bosqichli shartli tektonik modeli.

Uch bosqichli sxemaning mutlaq geoxronologik ketma-ketligi bevosita datalash bilan tasdiqlanmagan. Shu sababli u tektonik geometriya, ma’dan tanalari morfologiyasi va gidrotermal o‘zgarishlar o‘rtasidagi kuzatilgan munosabatlarni izohlovchi nisbiy ishchi model sifatida qaraladi

Ma’danli zonalar morfologiyasi va yuqori ma’danlilik pozitsiyalari:

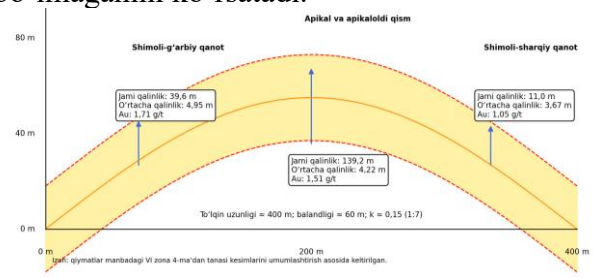
- I ma’danli zona Aytimda yer yuzasida uzoq masofaga kuzatiladigan asosiy tuzilmalardan biri hisoblanadi. Uning 2- va 3-ma’dan tanalari g‘arbiy segmentlarda subparallel tasmasimon va ayrim

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

joylarda linzasimon morfologiyaga ega bo‘lib, qalinligi ko‘pincha 1-4 m oralig‘ida. Sharqqa tomon ma’dan tanalarining linzalanishi va to‘lqinsimonligi ortadi. 2a-ma’dan tanasi asosiy 2-tanadan janubda joylashib, sharqqa tomon 65-70° yo‘nalishda tasmasimon-linzasimon tarzda davom etadi va ayrim profil oralig‘ida asosiy mineralizatsiyalangan zona bilan tutashadi. Bu holat uzilma zonasi ichida eshelonsimon tarmoqlanish va qayta birlashish jarayonlari sodir bo‘lganini ko‘rsatadi.

- III ma’danli zonadagi 1-ma’dan tanasi yo‘nalishi bo‘yicha sezilarli qayrilishlar bilan tavsiflanadi: ayrim segmentlarda subkenglik, keyin 50-55° shimoli-sharqiy, so‘ng submeridional va yana 60-65° yo‘nalishlar qayd etilgan. Qayrilish va yo‘nalish o‘zgarishlari bilan bog‘liq lokal segmentlarda Au ning juda yuqori miqdorlari uchraydi. Masalan, 5-sonli shurfda 3,7 m va 0,8 m qalinlikdagi intervallarda mos ravishda 62,8 va 154,5 g/t Au aniqlangan. Bu qiymatlar lokal yuqori ma’danli ustunlarni ifodalaydi va butun ma’dan tanasi uchun o‘rtacha tarkib sifatida qabul qilinmasligi kerak.

- VI ma’danli zonadagi 4-ma’dan tanasi 60-65° umumiy yo‘nalishda kuzatiladi. Uning g‘arbiy qismida tektonik zaif zona fleksurasimon qayrilib, “strukturaviy to‘lqin”ning yaxshi ifodalangan lokal namunasi sifatida talqin qilingan. 4a tarmog‘i asosiy tanadan ajralib 25-30° yo‘nalishga buriladi va keyin yana umumiy shimoli-sharqiy yo‘nalishga qaytadi. Bu morfologiya ma’dan tashuvchi zonada deformatsiya va o‘tkazuvchanlikning bir xil bo‘lmaganini ko‘rsatadi.



4-rasm. VI ma’danli zonadagi 4-ma’dan tanasi joylashgan tektonik zaif zonada “strukturaviy to‘lqin” pozitsiyalarining ochilish modeli.

Strukturaviy pozitsiyalarning qiyosiy bahosi. VI zona 4-ma’dan tanasi bo‘yicha g‘arbiy qanotda 8 ta ma’danli kesimning jami qalinligi 39,6 m, o‘rtacha qalinligi 4,95 m va Au ning o‘rtacha miqdori 1,71 g/t; apikal qismda 33 ta kesimning jami qalinligi 139,2 m, o‘rtacha qalinligi 4,22 m va Au miqdori 1,51 g/t; sharqiy qanotda esa 3 ta kesimning jami qalinligi 11,0 m, o‘rtacha qalinligi 3,67 m va Au miqdori 1,05 g/t ni tashkil etadi. Bu raqamlar g‘arbiy va apikal pozitsiyalarda ma’danli hajm sharqiy qanotga nisbatan ko‘proq ekanini ko‘rsatadi. Biroq qidiruv ishlari zichligi va kesimlar soni bir xil emasligi sababli natijalar statistik jihatdan to‘liq teng tanlanmalar sifatida qaralmaydi.

1-, 2- va 4-ma’dan tanalari bo‘yicha uchta modellashtirilgan “strukturaviy to‘lqin” umumlashtirilganda, shimoli-g‘arbiy qanotda Au ning o‘rtacha miqdori 2,24 g/t, apikal va apikaloldi qismda 1,17 g/t, shimoli-sharqiy qanotda esa 0,68 g/t bo‘lgan. Shu bilan birga, apikal pozitsiyada ma’danli kesimning o‘rtacha qalinligi 4,07 m bilan eng katta, shimoli-g‘arbiy qanotda 3,63 m, shimoli-sharqiy qanotda 2,22 m ni tashkil etgan. Bu natija shimoli-g‘arbiy qanotda tarkib, apikal qismda esa ma’danli hajm nisbatan yuqori bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.

1-jadval

Strukturaviy pozitsiyalar bo‘yicha umumlashtirilgan o‘rtacha ko‘rsatkichlar

Strukturaviy pozitsiya	Ma’danli kesimning o‘rtacha qalinligi, m	Au ning o‘rtacha miqdori, g/t	Ilmiy talqin
Shimoli-g‘arbiy qanot	3,63	2,24	Au miqdori nisbatan yuqori; ehtimoliy ochilgan qanot pozitsiyasi
Apikal va apikaloldi qism	4,07	1,17	Ma’danli qalinlik eng katta; mineralizatsiya kengroq hajmda tarqalgan
Shimoli-sharqiy qanot	2,22	0,68	Qalinlik va Au miqdori pastroq; nisbatan siqilgan pozitsiya ehtimoli

Ma’danlashuvni nazorat qiluvchi asosiy omillar va qidiruv ahamiyati. Olingan natijalar Aytimda oltin ma’danlashuvi bitta omil bilan emas, bir-birini kuchaytiruvchi strukturaviy, litologik va gidrotermal belgilar majmuasi bilan boshqarilganini ko‘rsatadi. Yetakchi omil - shimoli-sharqiy yo‘nalishdagi tektonik zaif zonalarning mavjudligi va ularning qayta faollashgan, qayrilgan hamda kesishgan segmentlarida o‘tkazuvchanlikning ortishidir. Subkenglik va shimoli-g‘arbiy uzilmalar ko‘pincha segmentlovchi yoki bloklovchi rol o‘ynagan bo‘lsa-da, ayrim kesishish tugunlarida

lokal ochilish pozitsiyasini ham yaratishi mumkin.

Litologik jihatdan oltin ma’danlashuvi faqat bitta jins turiga bog‘lanmagan. Kvars-seritsitli, kvars-xlorit-seritsitli, gilli, uglerodli va alevrolitli slaneslar hamda mayda donali qumtoshlar turli nisbatlarda ma’dan qamrovchi muhit sifatida ishtirok etadi. Shu sababli litologik omilni mustaqil ma’dan nazorat qiluvchi omil sifatida emas, balki jinslarning mo‘rtligi, darzlanishga moyilligi, reaktivligi va sulfidlanish qobiliyatini belgilovchi omil sifatida baholash ilmiy jihatdan to‘g‘riroq. Qidiruvda alohida monokvars tomirini emas, balki kvarslangan, tomirchalangan, sulfidlangan va tektonik qayta ishlangan zonaning umumiy qalinligini baholash zarur.

2-jadval

Aytim maydonida oltin ma’danlashuvini nazorat qiluvchi asosiy omillar

Omil	Geologik ifodasi	Qidiruvdagi ahamiyati
Regional burma-uzilma nazorati	Aytim yirik antiklinalning janubi-sharqiy qanotida; yuqori tartibli burmalar va fleksuralar rivojlangan	Burma qanoti va fleksura segmentlarini maqsadli tekshirish
Shimoli-sharqiy zaif zonalar	I, III va VI zonalarda 55-60° yo‘nalish, kvarslashish va sulfidlanishning kuchayishi	Asosiy ma’dan o‘tkazuvchi koridorlarni ajratish
Qayrilish va kesishuv tugunlari	Uzilmalar qayrilishi, tutashishi va boshqa yo‘nalishdagi uzilmalar bilan kesishishi	Qalinlashgan va yuqori Au tarkibli lokal ustunlarni prognozlash
Bloklovchi-segmentlovchi uzilmalar	Shimoli-g‘arbiy va subkenglik strukturalar ma’dan zonalarini bloklarga ajratadi	Siljigan yoki uzilgan ma’dan tanalarini qidirishda hisobga olish
Gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar	Kvarslashish, seritsitlashish, xloritlashish, karbonatlanish, pirit-arsenopirit sulfidlanishi	Strukturaviy koridor ichida istiqbolli intervalni chegaralash
Ma’dan qamrovchi jinslar	Terrigen-slanetsli va uglerodli jinslar; mo‘rt qatlamchalar va reaktiv muhit	O‘tkazuvchanlik va oltin cho‘kishiga yordam beruvchi qo‘shimcha mezon

Natijalarning ishonchliligi va talqin cheklovlari. Aytim bo‘yicha geologik-strukturaviy model kanavalar, sharoshkali va kolonkali burg‘ilash, geologik kesmalar hamda turli davrlarda yig‘ilgan qidiruv ma’lumotlarini birlashtiradi. Ayrim profillarda chuqurlik ma’lumotlarining yetishmasligi, quduqlar oralig‘ining katta bo‘lishi va ma’dan tanalarining faqat gidrotermal o‘zgarish belgilariga ko‘ra korrelyatsiya qilingan segmentlar mavjudligi talqin noaniqligini oshiradi. Turli yillarda olingan koordinata, namunalash va analitik ma’lumotlarning bir xil aniqlikka ega bo‘lmasligi ham inobatga olinishi lozim.

Deformatsiya ellipsoidi va “strukturaviy to‘lqin” modeli ma’danlashuvning asimmetrik taqsimlanishini izohlash uchun samarali konseptual vosita bo‘lsa-da, uning kinematik talqini dala siljish indikatorlari bilan barcha segmentlarda bir xil darajada tasdiqlanmagan. Kelgusida uzilmalar yotish elementlarini statistik tahlil qilish va boshqa kinematik markerlarni hujjatlashtirish, ma’danli chegaralarni uch o‘lchamli modellashtirish, shuningdek Au taqsimotini strukturaviy pozitsiyalar bo‘yicha robust statistik usullar bilan qiyoslash zarur. Bunday yondashuv ishchi modelning miqdoriy ishonchliligini oshiradi va istiqbolli “ko‘r” ma’dan tanalarini prognozlash imkonini yaxshilaydi.

Xulosa va takliflar. Aytim ma’danli maydonida oltin ma’danlashuvining fazoviy joylashishi, avvalo, shimoli-sharqiy yo‘nalishdagi tektonik zaif zonalarning rivojlanishi va ularning ko‘p bosqichli qayta faollashishi bilan nazorat qilinadi. Ma’danli tanalarning tarmoqlanishi, linzalanishi va qalinligining keskin o‘zgarishi uzilma zonalari ichida deformatsiya va gidrotermal o‘tkazuvchanlikning notekis taqsimlanganini ko‘rsatadi. Qayrilishlar, apikal-apikaloldi qismlar, ochilgan qanotlar hamda turli yo‘nalishdagi uzilmalar kesishgan tugunlar lokal ma’dan to‘planishi uchun eng muhim strukturaviy pozitsiyalar sifatida ajratiladi.

Ma’danlashuv faqat monokvars tomirlar bilan cheklanmaydi. Kvars tomirlari va tomirchali kvarslashish, tektonik brekchiyalanish, seritsit-xlorit-karbonat metasomatizmi hamda pirit-arsenopiritli sulfidlanish birgalikda rivojlangan zonalar qidiruv nuqtai nazaridan yuqoriroq ahamiyatga ega. Terrigen-slanesli va uglerodli jinslar esa mo‘rtlik, darzlanish va geokimyoviy reaktivlik orqali qo‘shimcha nazorat omili sifatida ishtirok etadi.

“Strukturaviy to‘lqin” modeli bo‘yicha umumlashtirilgan ma’lumotlar shimoli-g‘arbiy qanotlarda Au tarkibi, apikal qismlarda esa ma’danli qalinlik nisbatan yuqori bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Biroq bu xulosa uchta modellashtirilgan tuzilma bilan cheklanganligi sababli universal qonuniyat sifatida emas, balki qidiruvda

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

tekshirilishi lozim bo‘lgan lokal gipoteza sifatida qabul qilinadi. Keyingi qidiruv-baholash ishlarida 55-60° yo‘nalishli zaif zonalarning qayrilish va kesishuv tugunlari, ayniqsa mavjud ma’dan tanalari uzilgan yoki yer yuzasida kuzatilmaydigan profil oralig‘ida, ustuvor sinov obyektlari sifatida ajratilishi tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Хайдаров, З. Х., Рахимов, Б. З., Авазов, Р. Р., & Мирусманов, М. А. (2017). Поисковые предпосылки и признаки золотого оруденения месторождения Айтым (горы Букантау). Молодой ученый, (16), 209–213.
[2] Мовланов, Ж. Ж., Каршиев, А. Б., & Абдуллаев, Л. А. (2021). Минералогические особенности углеродсодержащих толщ перспективной площади Айтым (Узбекистан). В Шунгитовые породы Карелии: геология, строение, инновационные материалы и технологии «Шунгит-2020-2021»: материалы конференции (с. 37–40). КарНЦ РАН.
[3] Сайитов, С. С., Цой, В. Д., & Алимов, Ш. П. (2017). Рениеносность углеродсодержащих пород месторождения Айтым (Центральные Кызылкумы). Геология и минеральные ресурсы, (3), 13–18.
[4] Цой, В. Д., Королева, И. В., Алимов, Ш. П., Расулова, А. В., Сайитов, С. С., & Силаев, В. И. (2016). Минералого-геохимические особенности углеродсодержащих толщ Западного Узбекистана. В Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан: материалы Международной научно-технической конференции (с. 179–184).
[5] Абдуазимова, З. М., Миркамалов, Р. Х., Цой, В. Д., и др. (2012). Изучение рудоносности древних толщ Западного Узбекистана за 2008–2012 гг.: в 5 книгах. Фонды ГП «ИМР».
[6] Пирназаров, М. М. (2017). Золото Узбекистана: рудно-формационные типы, прогнозно-поисковые модели и комплексы. ГП «ИМР».

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

Mavlanov, J. J., Abdullayev, L. A., & Raxmatullayev, I. F. (2026). Aytym ma’danli maydonida oltin ma’dalashuvining joylashuv qonuniyatlari va nazorat qiluvchi strukturaviy omillar. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.12

УДК: 622.8:622.24

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.13

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

ПРОМЫШЛЕННАЯ И ПРОТИВОФОНТАННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ФАКТОР ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОЕКТОВ





Азимов Фарходжон Окилжонович
Магистр кафедры «Управление проектами» Высшей школы бизнеса и предпринимательства при Кабинете Министров Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.
E-mail: afarhodjon@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-4861-5354
Science ID: MBX-0526-0177

Турдиев Шохжахон Шермамат угли
Каршинский государственный технический университет, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Карши, Узбекистан.
E-mail: shoh_9699@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-2441-3798
Science ID: FQD-0426-0133

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы повышения экономической эффективности и устойчивого развития нефтегазовых проектов за счёт совершенствования промышленной и противофонтанной безопасности. Предложен интегрированный подход, объединяющий технические, технологические, человеческие, цифровые и организационные защитные барьеры в единую систему управления рисками. Обоснована взаимосвязь надёжности защитных барьеров со снижением вероятности опасных событий, сокращением непроизводительного времени, дополнительных затрат и сроков реализации проектов. Особое внимание уделено компетентности персонала, цифровой прослеживаемости и ESG-факторам. Разработан подход к оценке экономической эффективности профилактических мероприятий с учётом предотвращённых потерь и затрат на профилактику. В результате промышленная и противофонтанная безопасность рассматривается не только как обязательный элемент производственной деятельности, но и как инструмент снижения экономических потерь, повышения устойчивости проектов и улучшения ESG-показателей.*

Ключевые слова: *промышленная безопасность, противофонтанная безопасность, управление рисками, непроизводительное время (НПВ), защитные барьеры, цифровизация, компетентность персонала, ESG, экономическая эффективность, устойчивое развитие.*

Received: 26.09.2026 | Accepted: 06.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

SANOAT VA FAVVORAGA QARSHI XAVFSIZLIK — NEFT-GAZ LOYIHALARINING IQTISODIY SAMARADORLIGI VA BARQAROR RIVOJLANISHI OMILI

Azimov Farhodjon Oqiljonovich
O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Biznes va tadbirkorlik oliy maktabi “Loyihalarni boshqarish” kafedrasi magistri, Toshkent, O‘zbekiston

Turdiyev Shoxjahxon Shermamat o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Qarshi, O‘zbekiston

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Annotatsiya. *Maqolada neft-gaz loyihalarining iqtisodiy samaradorligi va barqaror rivojlanishini sanoat hamda favvoraga qarshi xavfsizlik tizimlarini takomillashtirish orqali oshirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Texnik, texnologik, inson omili, raqamli va tashkiliy himoya to‘siqlarini yagona risklarni boshqarish tizimiga birlashtiruvchi integratsiyalashgan yondashuv taklif etilgan. Himoya to‘siqlarining ishonchliligi bilan xavflar, noishlab chiqarish vaqti, qo‘shimcha xarajatlar va loyiha muddatlarini qisqartirish o‘rtasidagi bog‘liqlik asoslangan. Xodimlar kompetentligi, raqamli kuzatuvchanlik va ESG omillarining xavfsizlik tizimidagi o‘rni alohida yoritilgan. Profilaktik tadbirlarning iqtisodiy samaradorligini baholash uchun oldi olingan yo‘qotishlar va profilaktika xarajatlarini hisobga oluvchi yondashuv ishlab chiqilgan. Natijada sanoat va favvoraga qarshi xavfsizlik nafaqat ishlab chiqarish talabi, balki iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirish, loyihaning barqarorligini oshirish va ESG ko‘rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qiluvchi boshqaruv omili sifatida baholangan.*
Kalit so‘zlar: *sanoat xavfsizligi, favvoraga qarshi xavfsizlik, risklarni boshqarish, noishlab chiqarish vaqti (NCHV), himoya to‘siqlari, raqamlashtirish, xodimlar kompetentligi, ESG, iqtisodiy samaradorlik, barqaror rivojlanish.*

INDUSTRIAL AND WELL-CONTROL SAFETY AS A FACTOR IN THE ECONOMIC EFFICIENCY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF OIL AND GAS PROJECTS

Azimov Farhodjon Oqiljonovich
Master's Student, Department of Project Management, Graduate School of Business and Entrepreneurship under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Turdiyev Shoxjaxon Shermamat ugli
Karshi State Technical University, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The article examines ways to improve the economic efficiency and sustainable development of oil and gas projects through enhanced industrial and well-control safety. An integrated approach is proposed that combines technical, technological, human, digital, and organizational safety barriers within a unified risk management system. The relationship between barrier reliability and reductions in hazardous-event probability, non-productive time, additional costs, and project implementation delays is demonstrated. Particular attention is paid to personnel competence, digital traceability, and ESG factors. An approach is developed for evaluating the economic effectiveness of preventive measures by considering avoided losses and prevention costs. Industrial and well-control safety is therefore regarded not only as a mandatory element of production activities, but also as a management tool for reducing economic losses, improving project resilience, and strengthening ESG performance.*
Keywords: *industrial safety, well-control safety, risk management, non-productive time (NPT), safety barriers, digitalization, personnel competence, ESG, economic efficiency, sustainable development.*

Введите. Нефтегазовые проекты представляют собой сложные производственные системы, в которых одновременно действуют технологические, природные, организационные и человеческие факторы риска. Поэтому управление безопасностью в таких проектах не должно ограничиваться только выявлением опасностей. Важное значение имеет создание системы защитных механизмов, способных предупредить развитие опасного события и снизить тяжесть его последствий [7–9].

Особенно актуален данный вопрос при строительстве и эксплуатации нефтяных и газовых скважин. Потеря контроля над скважиной может привести не только к аварии и травмированию персонала, но и к серьёзным экологическим последствиям, простою оборудования и значительным экономическим потерям. В международной практике безопасность скважин рассматривается через систему защитных барьеров, состояние и эффективность которых требуют постоянного контроля [1, 2, 5, 6].

При этом само наличие технического

оборудования ещё не гарантирует надёжность системы безопасности. Эффективность защитных барьеров зависит от их технического состояния, соблюдения технологических требований, подготовленности персонала и качества организации работ. Современные подходы к подготовке персонала по управлению скважиной также уделяют большое внимание человеческому фактору, ситуационной осведомлённости, принятию решений, коммуникации и взаимодействию внутри производственной команды [1, 3, 8].

Недостаточная эффективность защитных барьеров и отклонения от установленного технологического процесса могут приводить не только к аварийным ситуациям, но и к увеличению непроизводительного времени — Non-Productive Time (NPT, НПВ). Это, в свою очередь, вызывает простои оборудования, выполнение дополнительных операций, рост трудозатрат и отклонение от плановых сроков проекта. В ряде исследований НПВ рассматривается не только как производственный показатель, но и как измеримый финансовый риск [12, 13].

Поэтому при оценке эффективности мероприятий по безопасности важно учитывать не только прямые затраты на их проведение, но и возможные потери, которые удаётся предотвратить за счёт снижения вероятности аварий, технологических осложнений и простоев.

Дополнительные возможности для повышения эффективности системы безопасности создаёт цифровизация. Использование цифровых инструментов позволяет улучшить прослеживаемость документации, контролировать состояние оборудования, фиксировать результаты проверок, вести учёт подготовки и компетентности персонала, а также быстрее принимать управленческие решения [14].

Промышленная и противофонтанная безопасность также тесно связана с вопросами устойчивого развития. Предотвращение экологических последствий аварий относится к экологической составляющей ESG, безопасность работников — к социальной, а прозрачность контроля, распределение ответственности и принятие управленческих решений — к управленческой составляющей [9–11].

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1) систематизировать основные группы защитных барьеров.

2) определить связь между надёжностью барьеров и экономическими последствиями риска.

3) разработать модель оценки влияния безопасности на НПВ, затраты и сроки.

4) сформировать последовательность оценки компетентности персонала.

5) определить роль цифровизации в обеспечении прослеживаемости защитных барьеров.

6) интегрировать экологические, социальные и управленческие аспекты ESG в систему оценки безопасности.

Литературный анализ и методы. Исследование выполнено на основе системного и риск-ориентированного подходов к управлению промышленной и противофонтанной безопасностью нефтегазовых проектов. Теоретическую основу составили международные подходы к управлению защитными барьерами, управлению рисками, подготовке персонала по well control, оценке человеческого фактора, управлению непроизводительным временем (НПВ), цифровизации производственного контроля и ESG/EHS. В качестве нормативно-методической базы использованы материалы IADC, API, ISO 31000:2018, ISO 45001:2018, руководства IFC, GRI 403, а также научные исследования, посвящённые оценке НПВ как производственного и финансового риска.

В исследовании использованы методы систематизации, сравнительного и причинно-следственного анализа. Защитные механизмы рассмотрены с учётом их функционального назначения и объединены в пять основных групп: технические, технологические, человеческие, цифровые и организационные. Для оценки экономических последствий недостаточной надёжности защитных барьеров проанализирована цепочка событий от нарушения их работоспособности и возникновения технологических отклонений до увеличения непроизводительного времени

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

(НПВ) и связанных с ним дополнительных затрат. Экономическая целесообразность профилактических мероприятий определяется сопоставлением затрат на их реализацию с величиной потенциально предотвращённых потерь; при необходимости для сравнительной оценки используется показатель рентабельности инвестиций. Отдельное внимание уделено оценке компетентности персонала, включающей обучение, практическую подготовку, проверку знаний и навыков, допуск к выполнению работ и взаимодействие в производственной команде. Кроме того, учитываются возможности цифрового контроля состояния критически важных защитных барьеров и их взаимосвязь с экологическими, социальными и управленческими аспектами ESG.

Материалы и методы. Исследование основано на системном и риск-ориентированном подходах к управлению безопасностью нефтегазовых проектов. В качестве теоретической основы использованы международные подходы к barrier management, risk management, well-control training, человеческий фактор, НПВ management и ESG/EHS [1-15].

Надёжность системы промышленной и противофонтанной безопасности определяется не отдельным техническим устройством, а совокупностью взаимосвязанных технических, технологических, человеческих и организационных барьеров. В настоящем исследовании предлагается расширить данную систему за счёт цифрового компонента:

$$R_{system} = f(R_T, R_{Tech}, R_H, R_D, R_O) \quad (1)$$

где: R_T - надёжность технических барьеров;

R_{Tech} - надёжность технологических барьеров;

R_H - человеческий фактор и компетентность;

R_D - цифровая прослеживаемость и контроль;

R_O - организационные барьеры.

Таким образом, безопасность рассматривается как результат взаимодействия пяти групп факторов. Конкретный вид функции f() (аддитивный, мультипликативный или взвешенный) определяется индивидуально для каждого проекта и не является предметом настоящего исследования; здесь модель используется как концептуальная рамка для систематизации факторов, влияющих на надёжность системы защитных барьеров.

Для аналитической оценки используется риск-ориентированный подход:

$$\text{Риск} = P(A) \times C(A) \quad (2)$$

где: P(A) - вероятность возникновения опасного события, а C(A) - тяжесть его последствий.

Данный подход соответствует общей методологии риск-менеджмента и исследованиям, в которых НПВ рассматривается как объект количественного управления риском [7, 12, 13].

При этом НПВ рассматривается не только как показатель производственной эффективности, но и как возможный экономический индикатор недостаточной эффективности управления рисками [12, 13].

В рамках настоящего исследования предлагается оценивать экономический результат профилактического мероприятия как:

$$E = C_{avoided} - C_{prevent} \quad (3)$$

где $C_{avoided}$ - предотвращённые потери, а $C_{prevent}$ - затраты на профилактическое мероприятие.

Для сравнительной оценки мероприятий может применяться:

$$ROI = \frac{C_{avoided} - C_{prevent}}{C_{prevent}} \times 100 \quad (4)$$

Данные формулы рассматриваются как аналитический инструмент настоящего исследования, а не как утверждение о том, что каждое мероприятие по безопасности автоматически является прибыльным.

Например, при условных исходных данных — вероятность осложнения при цементировании скважины P(A) = 0,15, потенциальный ущерб от осложнения C(A) = 50 000 долл. США, стоимость профилактического мероприятия (усиленный контроль цементирования) $C_{prevent}$ = 5 000 долл. США — ожидаемые предотвращённые потери составят $C_{avoided}$ ≈ P(A) × C(A) = 7 500 долл. США, экономический эффект E ≈ 2 500 долл. США, а ROI(рентабельность инвестиций) ≈ 50%. Данный расчёт носит исключительно

иллюстративный характер и не основан на фактических данных конкретного проекта. Графическое представление результатов условного расчёта экономического эффекта профилактического мероприятия приведено на рис. 1.

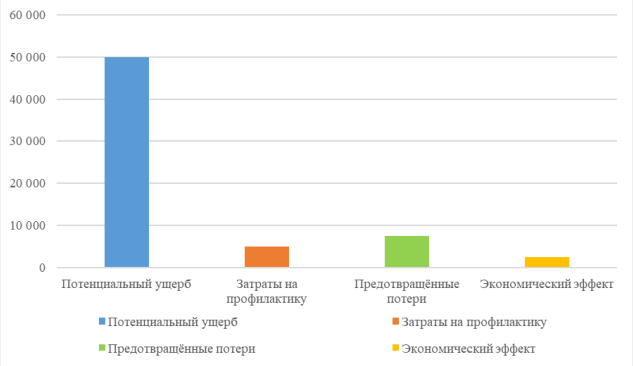


Рис.1. Экономический эффект профилактического мероприятия на условном примере.

С учётом современных международных подходов к подготовке персонала в области управления скважиной (well-control training) компетентность работников целесообразно рассматривать как результат последовательного формирования теоретических знаний, практических навыков и способности действовать в составе производственной команды. В этой связи процесс подготовки включает обучение, практическую отработку профессиональных действий, проверку знаний и навыков, допуск к выполнению соответствующих функций и последующее взаимодействие в составе рабочей группы. Такой подход позволяет оценивать не только факт прохождения обучения, но и фактическую готовность персонала к действиям в штатных и нештатных производственных ситуациях [3, 14, 15].

Для повышения прозрачности контроля состояния защитных барьеров целесообразно использовать единый цифровой информационный контур, объединяющий сведения о технической документации, состоянии оборудования, подготовке персонала, результатах инспекций и выполнении корректирующих мероприятий. Для каждого критически важного барьера в такой системе должны фиксироваться его текущее состояние, дата последней проверки, результаты испытаний, ответственное лицо, выявленные несоответствия и статус мероприятий по их устранению. Это обеспечивает прослеживаемость состояния барьеров и создаёт информационную основу для своевременного принятия управленческих решений [14].

При оценке устойчивости нефтегазового проекта промышленную безопасность следует рассматривать во взаимосвязи с экологическими, социальными и управленческими аспектами ESG. В экологическом измерении её значение проявляется в снижении вероятности аварийных выбросов, загрязнений и других негативных воздействий на окружающую среду. Социальная составляющая связана прежде всего с обеспечением безопасности и сохранением здоровья работников, а также с повышением уровня их профессиональной подготовки. Управленческий аспект включает распределение ответственности, прозрачность процедур контроля, документирование результатов проверок и организацию корректирующих мероприятий.

Таким образом, взаимосвязь промышленной безопасности и устойчивого развития проекта может быть представлена в обобщённом виде:

$$Industrial\ Safety \rightarrow E + S + G, \quad (5)$$

где E характеризует экологические последствия и меры по их предупреждению; S — безопасность, здоровье и благополучие работников; G — качество управления, ответственность, прозрачность и контроль.

Результаты исследования. Основным результатом исследования является разработка интегрированной модели управления промышленной и противофонтанной безопасностью. Предлагаемая модель включает технические барьеры, технологические барьеры, человеческий фактор, цифровую прослеживаемость и организационное управление. В отличие от подхода, при котором указанные направления рассматриваются раздельно, предлагаемая модель объединяет их в единую систему управления рисками.

Графическое представление разработанной интегрированной модели приведено на рис. 1. Модель отражает последовательную взаимосвязь факторов риска, защитных

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

барьеров, результатов их функционирования, экономической эффективности и показателей устойчивого развития ESG.

Таблица 1.

Матрица предлагаемых мероприятий

Мероприятие	Управляемый риск	Экономический эффект	ESG	Цифровизация
Электронная база критической документации	Потеря или несвоевременное получение информации	Снижение административных задержек	G	Да
Цифровизация обучения и проверки знаний	Недостаточная компетентность	Снижение вероятности ошибок	S/G	Да
Аудит специализированных учебных центров	Формальное обучение	Повышение качества подготовки	S/G	Частично
Усиление контроля цементирования	Нарушение целостности скважины	Снижение вероятности осложнений	E/S	Частично
Видео-мониторинг критических операций	Нарушение процедур	Повышение контроля и прослеживаемости	S/G	Да
Подготовка членов производственных команд по управлению скважиной	Несогласованные действия	Снижение вероятности ошибочного реагирования	S	Частично
Риск-ориентированный производственный контроль	Недостаточный контроль критических барьеров	Оптимизация ресурсов	E/S/G	Да

Таким образом, повышение надёжности защитных барьеров потенциально позволяет снижать вероятность технологических отклонений, непроизводительное время и связанные с ними расходы. Экономическая эффективность конкретного мероприятия должна определяться индивидуально с учётом вероятности события, потенциального ущерба, стоимости профилактики и характеристик проекта [12, 13].

Матрица разработана автором на основе анализа источников [1-15] и обобщения международной практики barrier management; приведённые оценки экономического эффекта носят качественный характер.

Прохождение теоретического курса является только одним из элементов формирования компетентности. Для критических производственных функций необходимы практическая подготовка, проверка навыков и способность персонала действовать согласованно. Такой подход соответствует современному развитию well-control training, в котором человеческий фактор и командное взаимодействие включаются в профессиональную подготовку [3, 14, 15].

Анализ фактических случаев открытого газового фонтанирования в Узбекистане. Для практической оценки актуальности противофонтанной безопасности рассмотрены открытые официальные данные о трёх аварийных ситуациях, произошедших при строительстве нефтегазовых скважин в Узбекистане в 2024–2025 гг. На месторождении «Мустакилликнинг 25 йиллиги» (М-25) в Байсунском районе 1 сентября 2024 года при бурении скважины №604 [16] вследствие нарушения технологического процесса был зафиксирован выход газа, содержащего сероводород. После проведения аварийно-ликвидационных работ 15 сентября скважина была герметизирована. Однако 17 сентября в районе скважины вновь произошёл выход сероводородсодержащего газа под высоким давлением. В результате происшествия погибли 4 человека, 11 человек получили травмы. Второй рассматриваемый случай связан со скважиной №202 [17] того же месторождения М-25. 27 марта 2025 года на скважине был зарегистрирован выброс газа с повышенным содержанием сероводорода. Для снижения экологического воздействия газовый поток был контролируемо подожжён. 22 апреля фонтанирование временно прекратилось вследствие обрушения ствола и выхода колонны, однако 5 мая при высоком пластовом давлении произошло повторное фонтанирование. Газовый поток вновь был переведён в режим контролируемого горения. По официальным данным, угрозы ближайшим населённым пунктам и пострадавших в результате этого события не зафиксировано.

Таблица 2.

Фактические случаи открытого газового фонтанирования в Узбекистане

Объект	Дата	Характер события	Последствия
М-25, скв. №604, Байсун	01.09.2024-20.01.2025	Выход сероводород-содержащего газа, повторная разгерметизация	4 погибших, 11 травмированных; консервация объекта и приостановка строительства Байсунского ГПЗ.
М-25, скв. №202, Байсун	27.03.2025; повторное фонтанирование — 05.05.2025 ликвидация продолжается	Выброс H_2S-содержащего газа, повторное фонтанирование	Пострадавших не зарегистрировано, консервация объекта и приостановка строительства Байсунского ГПЗ.
«Муйнак», скв. №1	26.07–26.08.2025	Высоконапорный выброс природного газа с глубины 4707 м	Ликвидирован без пострадавших

Ещё один показательный случай произошёл 26 июля 2025 года при бурении

поисковой скважины №1 месторождения «Муйнак» [18,19] в Республике Каракалпакстан. При глубине 5000 м на отметке 4707 м произошёл выброс природного газа вследствие давления, превышавшего ожидаемое. Газ не содержал сероводорода и представлял собой преимущественно метан. Для предотвращения воздействия на персонал и окружающую среду поток контролируемо сжигался. 26 августа 2025 года скважина была успешно взята под контроль; происшествие ликвидировано без пострадавших.

Обсуждение результатов. Полученная модель соответствует международной концепции barrier management, согласно которой необходимо обеспечивать достаточность, эффективность и целостность защитных барьеров [1, 2]. Однако предлагаемая модель расширяет традиционный подход включением экономического, цифрового и ESG-измерений.

Исследования НПВ подтверждают возможность использования риск-ориентированных методов для определения причин и экономических последствий непроизводительного времени. В настоящей работе эта логика дополнена связью с надёжностью защитных барьеров: чем выше надёжность барьеров, тем ниже вероятность технологических отклонений, ведущих к возникновению НПВ и последующим финансовым потерям.



Рис.2. Интегрированная модель управления рисками в нефтегазовых проектах (взаимосвязь безопасности, экономической эффективности и ESG).

Таким образом, научный вклад работы заключается не в утверждении самого факта существования связи НПВ и затрат, который уже подтверждён исследованиями, а в предложении рассматривать промышленную и противофонтанную безопасность как один из исходных факторов этой экономической цепочки.

В области подготовки персонала международная практика также демонстрирует переход от исключительно технического обучения к комплексному развитию человеческого фактора. Предложенная последовательность развивает этот подход применительно к управлению компетентностью персонала нефтегазовых проектов.

Цифровизация создаёт возможность повышения прозрачности производственного контроля, но не заменяет физические барьеры и компетентный персонал. Её основная функция заключается в обеспечении своевременной информации для принятия решений.

ESG-компонент расширяет оценку безопасности за пределы предотвращения производственного травматизма. Следовательно, промышленная и противофонтанная безопасность может рассматриваться как часть системы устойчивого развития нефтегазового проекта, а не только как функция производственного контроля.

Заключения. Проведённый анализ показал, что промышленную и противофонтанную безопасность в нефтегазовых проектах целесообразно рассматривать не отдельно, а в составе общей системы управления производственными и экономическими рисками. В работе предложен подход, который объединяет технические, технологические, человеческие, цифровые и организационные защитные барьеры. Результаты исследования показывают, что надёжность защитных барьеров напрямую связана со снижением вероятности опасных событий, уменьшением непроизводительного времени и сокращением дополнительных затрат. В общем виде эту зависимость можно представить как последовательность: «надёжность барьеров → снижение риска → сокращение НПВ → предотвращение потерь → повышение экономической эффективности → устойчивое развитие». При оценке мероприятий по безопасности важно учитывать не только расходы на их проведение, но и возможные

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

потери, которых удаётся избежать. Такой подход позволяет более обоснованно оценивать экономическую целесообразность профилактических мероприятий с учётом условий конкретного проекта. Отдельное значение имеет подготовка персонала. Сам факт прохождения обучения ещё не подтверждает готовность работника к действиям в реальной производственной ситуации. Поэтому оценка компетентности должна включать практическую подготовку, проверку знаний и навыков, допуск к выполнению соответствующих работ и способность персонала взаимодействовать в составе производственной команды. Практическое применение предложенного подхода может включать электронное хранение критической документации, ведение цифрового учёта подготовки и компетентности работников, аудит учебных центров, усиление контроля целостности скважин, видеофиксацию критических операций и проведение риск-ориентированного производственного контроля. Эти мероприятия позволяют повысить прозрачность системы управления и своевременно выявлять отклонения. Научная новизна работы заключается в том, что надёжность защитных барьеров, компетентность персонала, цифровая прослеживаемость и организационное управление рассматриваются в единой связи с НПВ, экономическими показателями и ESG-факторами. Предлагаемый подход может использоваться при разработке программ промышленной и противофонтанной безопасности, планировании подготовки персонала и оценке профилактических мероприятий в нефтегазовых проектах. В результате промышленная и противофонтанная безопасность рассматривается не только как обязательная часть производственной деятельности, требующая затрат, но и как инструмент снижения потерь, повышения устойчивости и улучшения общей эффективности нефтегазового проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] International Association of Drilling Contractors (IADC). Barrier Management. IADC Lexicon: Oil and Gas Drilling Glossary. https://iadclexicon.org/barrier-management/
[2] International Association of Drilling Contractors (IADC). Primary Barrier. IADC Lexicon: Oil and Gas Drilling Glossary. https://iadclexicon.org/primary-barrier/
[3] International Association of Drilling Contractors (IADC). IADC WellSharp Plus®. https://iadc.org/accreditation/wellsharp-plus/
[4] American Petroleum Institute (API). (2018). API Standard 53: Well Control Equipment Systems for Drilling Wells. American Petroleum Institute. https://mycommittees.api.org/myc-standards-ecs-sc16
[5] American Petroleum Institute (API). (2006). API Recommended Practice 59: Recommended Practice for Well Control Operations (2nd ed., reaffirmed 2023). American Petroleum Institute. https://mycommittees.api.org/myc-standards-ecs-sc16
[6] International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines. Geneva: ISO. https://www.iso.org/standard/65694.html
[7] International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO. https://www.iso.org/standard/45001
[8] International Finance Corporation (IFC). (2007). Environmental, Health, and Safety Guidelines for Onshore Oil and Gas Development. World Bank Group. https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-onshore-oil-gas-development-ehs-guidelines-en.pdf
[9] International Finance Corporation (IFC). (2015). Environmental, Health, and Safety Guidelines for Offshore Oil and Gas Development. World Bank Group. https://www.ifc.org/en/insights-reports/2015/publications-policy-ehs-offshore

[10] Global Reporting Initiative (GRI). (2018). GRI 403: Occupational Health and Safety 2018. Global Reporting Initiative. https://www.globalreporting.org/publications/documents/english/gri-403-occupational-health-and-safety-2018/

[11] Barakat, M., Abu El Ela, M., & Khalaf, F. (2021). Integrating risk management concepts into the drilling non-productive time. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 11, 887–900. https://doi.org/10.1007/s13202-020-01059-0

[12] Barakat, M., Khalaf, F., & Elsayed, A. H. (2026). Risk-based budgeting: Quantifying Non-Productive Time (NPT) offshore drilling financial risk. Journal of Engineering and Applied Science, 73, Article 218. https://doi.org/10.1186/s44147-026-01049-9

[13] International Association of Drilling Contractors (IADC). IADC WellSharp®: Well Control Training and Accreditation Program. https://iadc.org/accreditation/wellsharp/

[14] Дмитриевский, А. Н., Сбоев, А. Г., Еремин, Н. А., Черников, А. Д., Наумов, А. В., Грязнов, А. В., Молошников, И. А., Бороздин, С. О., & Сафарова, Е. А. (2020). Об увеличении продуктивного времени бурения нефтегазовых скважин с использованием методов машинного обучения. Георесурсы, 22(4), 79–85. https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.79-85

[15] Республика Узбекистан. Закон Республики Узбекистан «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 28 сентября 2006 года № ЗРУ-57. Национальная база данных законодательства Республики Узбекистан LexUZ. https://lex.uz/ru/docs/1061184

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

Азимов, Ф. О., & Турдиев, Ш. Ш. (2026). Промышленная и противофонтанная безопасность как фактор экономической эффективности и устойчивого развития нефтегазовых проектов. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.13

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 666.965.4

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.14

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ТЕХНОГЕННЫЕ РЕСУРСЫ ПРИАРАЛЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ



Якубов Юсуфбой Хасанович

Базовый докторант 2-го курса (PhD), Ургенчский государственный университет имени Абу Райхана Беруни, Ургенч, Узбекистан.
E-mail: yyoqubov97@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-3852-3141
Science ID: FXR-0425-0006



Рузметова Аида Шоназаровна

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент, Ургенчский государственный университет имени Абу Райхана Беруни, Ургенч, Узбекистан
E-mail: aida0330@list.ru
ORCID ID: 0009-0004-1008-4057
Science ID: FXR-0925-0005



Матчанов Шерзад Камилович

Кандидат технических наук, доцент, Ургенчский государственный университет имени Абу Райхана Беруни, Ургенч, Узбекистан
E-mail: sherzadkamilovich@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-0539-3045
Science ID: FXR-0126-0003

Аннотация. *В данной статье рассмотрены научно-практические основы переработки твердых промышленных и строительных отходов, образующихся в Приаральском регионе, а также получения из них геополимерных вяжущих материалов. В ходе исследования был проведен комплексный анализ твёрдых отходов АО «Тахиаташская ТЭС» и строительных остатков (бетона, кирпича, стекла), скопившихся на полигонах региона. В ходе исследования изучены статистические данные, по которым выявлено, что в регионе ежегодно образуется 697–920 тыс. тонн твердых отходов, из которых 70–75% захоранивается на полигонах. В результате сравнительного изучения сырьевых материалов было доказано, что бетонные отходы являются наиболее оптимальным и стабильным доминирующим сырьем для синтеза геополимеров. Также был проведен анализ кодов ТН ВЭД (HS 2523, HS 681099) импортируемых в нашу страну специальных цементов и изделий из искусственного камня, что позволило обосновать экономическую эффективность организации местного производства геополимеров.*

Ключевые слова: *геополимер, Тахиаташская ТЭС, твердые отходы, бетонные отходы, сырьевая база, импорт.*

Received: 20.09.2026 | Accepted: 06.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

YANGI TURDAGI GEOPOLIMER BOG‘LOVCHILARNI OLISH UCHUN OROLBO‘YI TEXNOGEN RESURSLARI

Yakubov Yusufboy Xasan o‘g‘li

2-bosqich tayanch doktoranti (PhD), Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, Urganch, O‘zbekiston

Ruzmetova Aida Shonazarovna

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, Urganch, O‘zbekiston

Matchanov Sherzad Kamilovich

Texnika fanlari nomzodi, dotsent, Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti, Urganch, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Orolbo‘yi mintaqasida hosil bo‘ladigan qattiq sanoat va qurilish chiqindilarini qayta ishlash, shuningdek, ulardan geopolimer bog‘lovchi materiallar olishning ilmiy-amaliy asoslari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot davomida “Taxiatosh IES” AJning qattiq chiqindilari hamda mintaqa poligonlarida to‘plangan qurilish qoldiqlari (beton, g‘isht, shisha) kompleks tahlil qilindi. Tadqiqot jarayonida statistik ma'lumotlar o‘rganilib, mintaqada har yili 697–920 ming tonna qattiq chiqindi hosil bo‘lishi va ularning 70–75 foizi poligonlarga ko‘milishi aniqlandi. Xomashyo materiallarini qiyosiy o‘rganish natijasida beton chiqindilari geopolimerlar sintezi uchun eng maqbul va barqaror asosiy xomashyo ekanligi isbotlandi. Shuningdek, mamlakatimizga import qilinadigan maxsus sementlar va sun’iy toshdan yasalgan buyumlarning TIF TN kodlari (HS 2523, HS 681099) tahlil qilindi, bu esa geopolimerlarni mahalliy ishlab chiqarishni tashkil etishning iqtisodiy samaradorligini asoslash imkonini berdi.*
Kalit so‘zlar: *geopolimer, Taxiatosh IES, qattiq chiqindilar, beton chiqindilari, xomashyo bazasi, import.*

TECHNOGENIC RESOURCES OF THE ARAL SEA REGION FOR OBTAINING NEW TYPES OF GEOPOLYMER BINDERS

Yakubov Yusufboy Khasanovich
2nd-year basic doctoral student (PhD), Urgench State University named after Abu Rayhan Beruni, Urgench, Uzbekistan

Ruzmetova Aida Shonazarovna
Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Urgench State University named after Abu Rayhan Beruni, Urgench, Uzbekistan

Matchanov Sherzad Kamilovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Urgench State University named after Abu Rayhan Beruni, Urgench, Uzbekistan

Abstract. *This article discusses the scientific and practical foundations for recycling solid industrial and construction waste generated in the Aral Sea region, as well as the production of geopolymer binders from them. During the research, a comprehensive analysis of solid waste from JSC “Takhiatash TPP” and construction residues (concrete, brick, glass) accumulated in the region's landfills was conducted. The study examined statistical data revealing that 697,000–920,000 tons of solid waste are generated annually in the region, of which 70–75% is disposed of in landfills. As a result of a comparative study of raw materials, it was proven that concrete waste is the most optimal and stable predominant raw material for the synthesis of geopolymers. Additionally, an analysis of the HS codes (HS 2523, HS 681099) for special cements and artificial stone products imported into our country was carried out, which made it possible to justify the economic efficiency of establishing local geopolymer production.*
Keywords: *geopolymer, Takhiatash TPP, solid waste, concrete waste, raw material base, import.*

Введение. Современная индустрия строительных материалов переживает беспрецедентные экологические и технологические изменения. Традиционный процесс производства портландцемента обуславливает около 7–9% глобальных выбросов CO_2 в мире, а процесс обжига клинкера требует сверхвысоких температур до 1450 °C, в связи с чем расходуется огромное количество тепловой энергии [1]. В целях снижения этой экологической нагрузки исследователями изучаются способы и методы получения экологически чистых вяжущих материалов, одним из которых являются геополимеры, так как их производство резко сокращает углеродный след до 80% и более [2].

Для Республики Узбекистан, в частности для Хорезмской области и Республики Каракалпакстан, крайне уязвимых в экологическом отношении из-за кризиса Аральского моря, переход экономики на модель замкнутого цикла и переработка отходов являются жизненной необходимостью [3]. В настоящее время отходы стекла, кирпича и бетона, имеющие огромные запасы в регионе, но характеризующиеся крайне низким уровнем переработки, сбрасываются напрямую на полигоны [4]. Между тем, поскольку отходы строительства и сноса содержат большое количество оксидов кремния SiO_2 и алюминия

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Al_2O_3, они служат идеальным сырьем для синтеза геополимеров [2].

Основной целью данной статьи является анализ статистики отходов региона Приаралья, а также оценка степени пригодности данных местных твердых отходов для синтеза геополимерных материалов.

Литературный анализ и методы. В ходе исследования были собраны данные статистики твердых промышленных и строительных отходов, образовавшихся в Приаральском регионе в 2020–2025 годах, из баз данных Агентства статистики при Президенте Республики Узбекистан и Министерства экологии [5–7].

В ходе исследования изучены физико-химические свойства четырёх видов твёрдых отходов: золы-уноса Тахиаташской ТЭС, стеклобоя, обломков цементного строительного бетона и обожжённого кирпича. Зола-унос Тахиаташской ТЭС была исследована в качестве дополнительного источника алюмосиликатов благодаря своей высокой пуццолановой активности [2, 8]. Для стеклобоя (источника аморфного кремнезема), обожжённого кирпича (кальцинированного алюмосиликата) и обломков строительного бетона [9] растворимость в щелочной среде, в частности в смеси гидроксида натрия (NaOH) и жидкого стекла (силиката натрия), пористость и особенности структурообразования были изучены сравнительным методом с опорой на аналогичные исследования в мировой практике, а также на современные методы структурного анализа, такие как рентгенофлуоресцентный (XRF), рентгенофазовый (XRD) и растровый электронный микроскоп (SEM) [10]. Соответствие активированных композиционных материалов стандартам оценивалось на основе международных стандартов ASTM [11, 12].

Результаты. В процессе деятельности Тахиаташской тепловой электростанции (ТЭС) и демонтажа старых энергоблоков наблюдается выброс в атмосферу различных газообразных эмиссий и образование разнообразных промышленных отходов (рис. 1). Как видно из графических данных, отходы заметно различаются по своему составу и количеству. Наряду с газами, выбрасываемыми в атмосферу, они включают минеральные, металлические, нефтепродукты и другие виды отходов, образующиеся в результате строительно-демонтажных работ.

Среди данных отходов особую значимость для синтеза геополимерных материалов имеет зольный остаток. Однако основным топливом Тахиаташской ТЭС является природный газ, а угольное топливо не применяется. По этой причине образования традиционных золо-шлаковых отходов, образующихся при сжигании угля, не ожидается. В результате использования мазута в качестве резервного топлива на станции в ограниченном количестве образуется зола в виде остатка от сгорания мазута. Количество данной золы наглядно показано на графике и составляет 0,35 тонны (350 кг) в год (рис. 1).

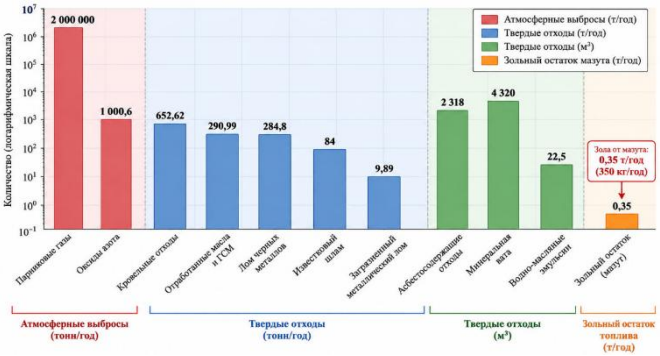


Рис.1. Количество выбросов и отходов, образующихся в результате деятельности Тахиаташской ТЭС и демонтажа старых энергоблоков.

Исходя из этого, несмотря на большой общий объем отходов Тахиаташской ТЭС, в качестве сырья для получения геополимерного вяжущего целесообразно целенаправленно выделять и изучать ту фракцию золы, минеральный состав и реакционная способность которой подтверждены соответствующими исследованиями.

С другой стороны, значительную часть твердых отходов, образующихся в Приаральском регионе, составляют строительные и промышленные остатки — отходы бетона, кирпича и стекла. Ежегодно в регионе формируется от 697 тысяч до 920 тысяч тонн твердых отходов, из которых 70–75% отправляются напрямую на полигоны без какой-

либо переработки. Именно этот огромный объем остатков бетона, стекла и кирпича, скапливающийся на полигонах, служит альтернативной и стабильной сырьевой базой для производства геополимеров в регионе. Годовая динамика общего объема твердых отходов, образовавшихся в Приаральском регионе в период 2020–2025 годов, а также распределение их переработанной и захороненной на полигонах частей наглядно показаны на рис. 2.

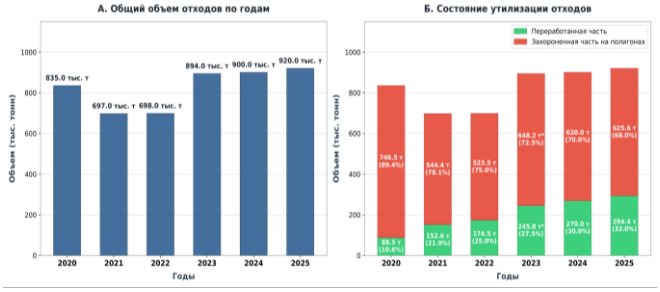


Рис. 2. Годовая динамика и состояние утилизации твердых отходов в Приаральском регионе:

А — Общий объем отходов; В — Соотношение переработанной и захороненной на полигонах частей.

Среди отходов Приаральского региона и Тахиаташской ТЭС были выделены 4 оптимальных материала, способных вступать в реакцию геополимеризации: отходы бетона, отходы кирпича, отходы стекла и зола Тахиаташской ТЭС.

Для их детального изучения было проведено комплексное исследование отходов, включающее анализ химического состава (табл. 1) и рентгенофазовый анализ (XRD) (рис. 3).

Таблица 1.

Химический состав техногенных отходов Приаральского региона (мас. %)

Сырьевой материал	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	TiO_2	ППП
Бетонные отходы	53.35	10.00	23.90	4.53	3.04	1.79	1.99	0.56	0.31	0.530
Отходы кирпича	48.47	32.18	4.57	2.93	4.19	3.79	3.63	—	—	0.240
Стекло (содово-изв.)	68.29	2.05	11.18	—	1.95	16.41	—	—	—	0.120
Зола ТЭС «Тахиташ»	54.99	24.94	4.41	8.01	2.10	1.70	0.03	0.04	0.03	3.750

Химический состав четырех исследуемых видов сырья (отходов бетона, кирпича, стекла и золы Тахиаташской ТЭС), определенный методом XRF, обобщен в таблице 1.

Анализ полученных данных показывает, что исследуемые отходы характеризуются различным соотношением основных породообразующих и технологически активных оксидов, что обусловлено их происхождением и исходным составом. Вместе с тем для большинства образцов характерно значительное содержание SiO_2, Al_2O_3 и CaO, благодаря чему данные материалы представляют интерес в качестве компонентов минеральных вяжущих и композиционных строительных материалов.

В исследованных бетонных отходах содержание SiO_2 составляет 53.35 мас. %, Al_2O_3 — 10.00 мас. %, а CaO — 23.90 мас. %. Значительное количество CaO обусловлено присутствием продуктов гидратации цемента, прежде всего кальциевых силикатных и кальциевых алюминатных фаз, а также карбонизированных соединений кальция. Содержание Fe_2O_3 составляет 4.53 мас. %, MgO — 3.04 мас. %, Na_2O — 1.79 мас. %, K_2O — 1.99 мас. %. Наличие щелочных оксидов и сернистых соединений (SO_3 — 0.56 мас. %) необходимо учитывать при разработке составов вяжущих, поскольку они могут влиять на процессы фазообразования и гидратации.

Как видно из дифрактограмм, зола ТЭС (а), бетонные (б) и кирпичные (в) отходы имеют ярко выраженную кристаллическую структуру с преобладанием интенсивных пиков кварца. В отличие от них, отходы стекла (г) характеризуются типичным широким аморфным гало в диапазоне 2θ=20–30°, что свидетельствует об отсутствии кристаллической решетки и подтверждает их высокую реакционную способность в щелочной среде.

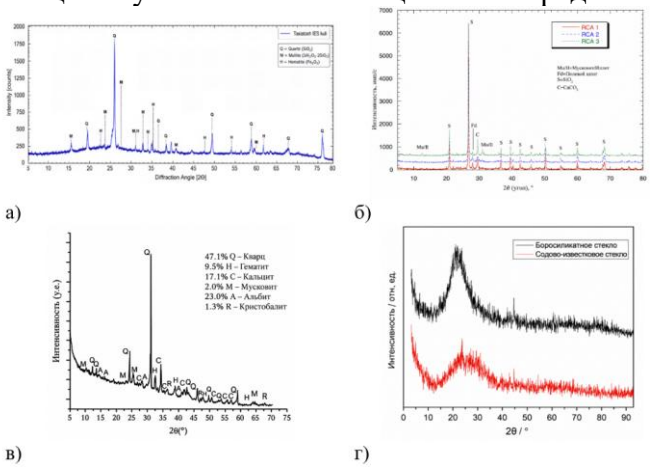


Рис.3. Рентгенограммы (XRD) исследуемых твердых отходов:

а) зола Тахиаташской ТЭС; б) бетонные отходы; в) отходы кирпича; г) отходы стекла.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

В ходе исследования также изучен потенциал завоза в Узбекистан геополимерных вяжущих материалов (рис.4).

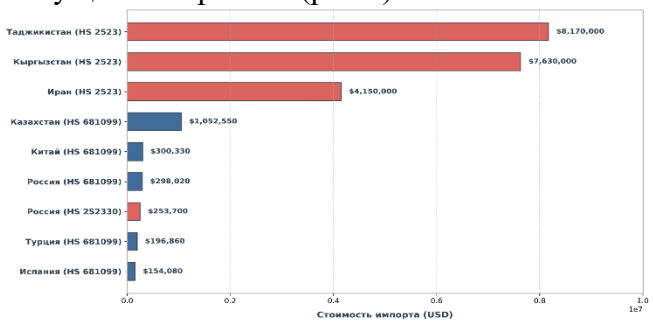


Рис.4. Распределение стоимости импорта Республики Узбекистан по искусственному камню и специальным цементам в разрезе стран (2025 год).

Как видно из графика, специальные цементы и изделия из искусственного камня, близкие к геополимерам, импортируются в Узбекистан под двумя различными кодами ТН ВЭД (рис. 4): HS 681099 («Изделия из цемента, бетона или искусственного камня») и HS 2523 («Цементы, включая специальные и глиноземистые цементы»). По итогам 2025 года на импорт продукции по коду HS 681099 было потрачено более 2 миллионов долларов, а на импорт цементов по коду HS 2523 — 25,8 миллиона долларов валютных средств, что свидетельствует о чрезвычайной экономической актуальности налаживания импортозамещающего местного производства геополимеров [13].

Заключения. Таким образом, установлено, что значительная часть твёрдых отходов Приаральского региона захоранивается, создавая экологическую нагрузку и приводя к потере ценного вторичного сырья. Ограниченное образование золы Тахиаташской ТЭС обусловливает необходимость акцентировать внимание на переработке строительных отходов. По результатам сравнительного анализа бетонные отходы определены как перспективное сырьё для получения геополимерных вяжущих благодаря высокому содержанию кальций- и кремнийсодержащих компонентов. Комплексное использование местных техногенных отходов позволит получать строительные материалы с заданными свойствами, снизить объёмы захоронения отходов и сократить зависимость от импортируемых специальных цементов и изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] da Silva, L. C., de Azevedo, A. R. G., Marvila, M. T., & Vieira, C. M. F. (2026). Sugarcane bagasse ash as an alkali activator: Production and characterization of geopolymer mortars with partial sodium silicate replacement. Materials and Structures, 59, Article 318. https://doi.org/10.1617/s11527-026-03210-5

[2] Mollaei, S., Fahmi, A., Jahani, D., Babaei Golsefidi, Z., Babaei, R., & Hanafi, M. R. (2023). A predictive model for the strength of a novel geopolymer construction material produced by autoclaved aerated concrete waste. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 14(1), 148–167. https://doi.org/10.30880/ijscet.2023.14.01.015

[3] Kamola, M. (2026). Circular economy in Uzbekistan: Transitioning from linear extraction to regenerative growth. American Journal of Economics and Business Management, 9(5), 55–62. https://doi.org/10.31150/ajebm.v9i5.4899

[4] Madraximova, Sh. B. (2025). Ensuring innovative economic security in the Khorezm region: Waste recycling and circular economy. Yashil Iqtisodiyot Va Taraqqiyot Jurnali, 3(12), 16–20. https://doi.org/10.5281/zenodo.17999458

[5] O‘zbekiston Respublikasi Milliy Statistika qo‘mitasi. (2026). Yil davomida chiqarilgan qurilish chiqindilari. SIAT. https://siat.stat.uz/data/3750/?lang=uz

[6] National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan. (2026, June 30). Removed in a year, solid household waste [Statistical dataset]. SIAT—Statistical Data Portal of the Republic of Uzbekistan. https://siat.stat.uz/data/3748/?lang=en

[7] Proreforms. (2023). O‘zbekistonda chiqindilarni boshqarish va tizimni rivojlantirish uchun nima qilish kerak? Public Policy Reforms Platform. https://surl.li/nsdpku
[8] Asian Development Bank. (n.d.). Takhiatash Power Plant Efficiency Improvement Project (Project No. 45306-001). Retrieved September 15, 2026, from https://www.adb.org/projects/45306-001/main
[9] Tahwia, A. M., Abdellatief, M., Salah, A., et al. (2025). Valorization of recycled concrete powder, clay brick powder, and volcanic pumice powder in sustainable geopolymer concrete. Scientific Reports, 15, Article 11049. https://doi.org/10.1038/s41598-025-93598-x
[10] Rahimpour, H., Amini, A. B., Sharifi, F., et al. (2024). Facile fabrication of next-generation sustainable brick and mortar through geopolymerization of construction debris. Scientific Reports, 14, Article 10914. https://doi.org/10.1038/s41598-024-61688-x
[11] Bachirat, Y., Elouafi, A., & Tizliouine, A. (2024). Structural, morphological, thermal and mechanical study of a geopolymer based on metakaolin mixed with Oujda clay. Engineering Proceedings, 67(1), Article 43. https://doi.org/10.3390/engproc2024067043
[12] Dai, S., Wang, H., An, S., & Yuan, L. (2022). Mechanical properties and microstructural characterization of metakaolin geopolymers based on orthogonal tests. Materials, 15(8), Article 2957. https://doi.org/10.3390/ma15082957
[13] World Bank. (2024). Uzbekistan imports of articles of cement, of concrete or of artificial (HS code 681099) by country in 2024. World Integrated Trade Solution (WITS). https://surl.li/tfpgpy

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

Якubов, Ю. Х., Рузметова, А. Ш., & Матчанов, Ш. К. (2026). Техногенные ресурсы Приаралья для получения новых видов геополимерных вяжущих. Цифровые технологии в промышленности, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.14

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 552.32:552.33(575.1) 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.15

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

BESHQO‘L INTRUZIVI TOG‘ JINSLARINING GEOLOGIK XUSUSIYATLARI



Keldibekova Zilola Asror qizi

Tayanch doktorant, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: keldibekovazilola0707@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-2292-4380
Science ID: FJZ-0626-0064



Mamarozikov Usmonjon Dovronovich

Geologiya-mineralogiya fanlari doktori, professor, Geologiya fanlari universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: udmamarozikov@rambler.ru
ORCID ID: 0000-0002-4648-8051



Hamrayev Ahmadali Xurrom o‘g‘li

Geologiya-mineralogiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), katta ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: ahmadali@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-3342-9615
Science ID: FSD-0525-0060

Annotatsiya. *Maqolada Qumbel-Ugom yer yoriqlari zonasi janubiy segmentida joylashgan Beshqo‘l kichik intruzivi tog‘ jinslarining geologik xususiyatlari dala kuzatuvlari va namunalarni makroskopik o‘rganish natijalari asosida yoritilgan. Massivdan olingan 10 ta namunaning rangi, donadorligi, strukturasi, teksturasi, ko‘zga ko‘rinadigan mineral tarkibi va ikkilamchi o‘zgarishlari tavsiflandi. Massivning asosiy qismi granosienit va granosienit-porfirlardan tashkil topgani aniqlandi. Ularni qalinligi taxminan 40 m bo‘lgan, mayda donali afir sienit shtoki yorib kirgan. Granosienitlarni qalinligi 0,5–2 m bo‘lgan, shimoli-g‘arbiy yo‘nalishda cho‘zilgan va tik yotgan lamprofir daykalari kesib o‘tadi. Massiv ichidagi eni taxminan 30 m bo‘lgan kataklazlashgan zonada lamprofirlar yaqinida qalinligi 1–1,5 m bo‘lgan sulfidli xloritli metasomatitlar, undan 25–30 m shimoli-g‘arbda esa eni 2,5–3 m bo‘lgan gematitlashgan sulfidli zona rivojlangan.*

Kalit so‘zlar: *Qumbel-Ugom yer yoriqlari zonasi, Beshqo‘l, kichik intruziya, granosienit, granosienit-porfir, sienit shtoki, lamprofir, dayka, kataklaz, xloritli metasomatit, gematitlashuv, sulfidli ma’danlashuv, Chotqol-Qurama regioni.*

Received: 27.09.2026 | Accepted: 07.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ИНТРУЗИВА БЕШКУЛЬ

Келдибекова Зилола Асрор кизи

Базовый докторант Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Мамарозиков Усмонжон Довронович

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан

Хамраев Ахмадали Хурром угли

Доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, старший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье освещены геологические особенности горных пород Бешкульского малого интрузива, расположенного в южном сегменте Кумбель-Угамской зоны разломов, на основе результатов полевых наблюдений и макроскопического изучения образцов. Описаны цвет, зернистость, структура, текстура, видимый минеральный состав и вторичные изменения 10 образцов, отобранных из массива. Установлено, что основная часть массива состоит из гранита, граносиенита и граносиенит-порфиров. Их прорывает шток мелкозернистого сиенита, с диаметром около 40 м. Граноциениты вертикально пересечены лампрофировыми дайками (мощность даек 0,5-2 м), которые простирающиеся в северо-западном направлении. Внутри массива в зоне катаклаза шириной около 30 м вблизи лампрофиров развиты сульфидные хлоритовые метасоматиты, имющие мощность 1-1,5 м, а на 25-30 м к северо-западу от них гематитизированная сульфидная зона, ширина которых составляет 2,5-3 м.*

Ключевые слова: *Кумбель-Угамская зона разломов, Бешкуль, малая интрузия, граносиенит, граносиенит-порфир, шток сиенитов, лампрофир, дайка, катаклаз, хлоритовый метасоматит, гематитизация, сульфидная минерализация, Чаткало-Кураминский регион.*

GEOLOGICAL FEATURES OF ROCKS OF THE BESHKUL INTRUSION

Keldibekova Zilola

Basic Doctoral Student, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Mamarozikov Usmonjon

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Hamraev Ahmadali

Doctor of Philosophy (PhD) in Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article highlights the geological characteristics of the Beshkul small intrusion rocks located in the southern segment of the Kumbel-Ugam fault zone, based on field observations and macroscopic study of samples. The color, granularity, structure, texture, visible mineral composition, and secondary changes of 10 samples taken from the massif were described. It has been established that the main part of the massif consists of granite, granosienite, and granosienite-porphyres. They are broken by a rod of fine-grained syenite, with a diameter of about 40 m. The granocyenites are vertically intersected by lamprophyre dikes (dikes 0.5-2 m thick) that extend in a northwesterly direction. Inside the massif, in the cataclastic zone with a width of about 30 m near lamprophires, sulfide chlorite metasomatites are developed, with a thickness of 1-1.5 m, and 25-30 m northwest of them, a hematitized sulfide zone is developed, with a width of 2.5-3 m.*

Keywords: *Kumbel-Ugam fault zone, Beshkul, small intrusion, granosyenite, granosyenite porphyry, syenite stock, lamprophyre, dyke, cataclasis, chlorite metasomatite, hematitization, sulphide mineralization, Chatkal-Kurama region.*

Kirish. Yirik chuqur yer yoriqlari zonalari burmali o‘lkalarning geologik tuzilishida alohida o‘rin tutadi. Ular Yer po‘stining turli bloklarini bir-biridan ajratib turadi, uzoq geologik vaqt davomida qayta-qayta faollashadi va magma hamda gidrotermal eritmalarning yuqoriga ko‘tarilishi uchun o‘ziga xos yo‘l vazifasini bajaradi. Shu sababli bunday zonalarda daykalar, shtoklar va boshqa kichik intruziv tanalar keng tarqalgan bo‘ladi, ularning atrofida esa ko‘pincha ma’danlashuv to‘planadi. Kichik intruziyalarni o‘rganish hududning magmatik rivojlanish tarixini tiklash, magma manbalari haqida fikr yuritish va ma’dan hosil bo‘lish sharoitlarini baholash imkonini beradi.

O‘rta Tiyon-Shonning Chotqol-Qurama regionida shunday tuzilmalardan biri Qumbel-Ugom chuqur yer yoriqlari zonasidir. Mazkur zona Chotqol va Qurama strukturaviy-formatsion zonalarini ajratib turuvchi, antitiyanshan yo‘nalishidagi eng muhim destruktiv tuzilma sifatida qaraladi [1-9]. Zonaning eni 25 km gacha yetadi, Shimoliy Farg‘ona va Shimoliy Qorjontov chuqur yoriqlari oralig‘idagi uzunligi esa 180 km ni tashkil etadi. Uning tarkibida bir-biriga deyarli parallel bo‘lgan Qumbel, Jo‘laysoy, Arashan, Kengqo‘l va Ugom yoriqlari ajratiladi [7].

Kichik intruziyalar va ma’danlashuv

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

o‘rtasidagi bog‘liqlik masalasi o‘zbek geologiya maktabida akademik H.M. Abdullayev ishlaridan boshlab chuqur o‘rganib kelinadi [1]. Olim gersin magmatizmining rivojlanishida yirik plutonlar hosil bo‘lgan «batolit bosqichi»dan keyin «porfirli kichik intruziyalari bosqichi» boshlanishini ajratgan. Bu bosqich tanalari hajman kichik bo‘lsa-da, yer yoriqlari bilan qat’iy nazorat qilinadi va ma’danlashuv bilan yaqin bog‘liqligi bilan ajralib turadi [9].

Qumbel-Ugom zonasidagi kichik intruziyalar orasida sienitoid tarkibli jinslar – sienit, granosienit va ularning porfirli turlari alohida o‘rin tutadi. Chotqol-Qurama regionida perm davri plita ichi magmatizmining sienitoid assotsiatsiyasi bilan nodir, kamyob va kamyob-yer metallari ma’danlashuvi bog‘liq [8]. Lamprofir daykalari esa ko‘pincha chuqur, mantiya manbali magmaning yer po‘stiga kirib kelganini ko‘rsatuvchi belgi sifatida qaraladi [11]. Shu sababli sienitoid massivlari va ularni kesib o‘tuvchi lamprofirlar birgalikda uchraydigan obyektlar alohida qiziqish uyg‘otadi.

Ana shunday obyektlardan biri Qumbel-Ugom yer yoriqlari zonasi janubiy segmentida joylashgan Beshqo‘l kichik intruzivi hisoblanadi. Adabiyotlarda ushbu zonaning yirik massivlari, jumladan, Oqtepa gabbro-sienit intruzivi va Chodak ma’danli maydoni daykalari nisbatan batafsil tavsiflangan bo‘lsa [5,8], Beshqo‘l massivi to‘g‘risida umumlashtirilgan ma’lumotlar deyarli uchramaydi.

Tadqiqotning maqsadi – Beshqo‘l kichik intruzivini tashkil etuvchi tog‘ jinslarining geologik holati va makroskopik petrografik xususiyatlarini dala kuzatuvlari asosida tavsiflash hamda ularni Qumbel-Ugom zonasidagi ma’lum magmatik hosilalar bilan taqqoslashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Qumbel-Ugom zonasini o‘rganish tarixi XX asr boshlariga borib taqaladi. R.A. Sadikov tomonidan umumlashtirilgan ma’lumotlarga ko‘ra, V.N. Veber Qorjontov tizmasida «Ugom uzilmasi»ni ajratgan va uning amplitudasini Xumson qishlog‘i yaqinida 2 km deb baholagan. Tadqiqotchi bu uzilmani geologik rivojlanish tarixi turlicha bo‘lgan ikki hududning tabiiy chegarasi deb hisoblagan. Keyinchalik A.S. Adelung Chotqol tizmasining shimoliy qismida, Qumbel dovoni hududida «Qumbel yorig‘i»ni ajratdi. Bu yoriqni N.P. Vasilkovskiy va Z.P. Artemova tizmaning markaziy va janubiy qismlarida kuzatib borgan. Yoriqning Qurama tizmasidagi davomini N.P. Podkopayev va A.S. Makarov aniqlab, zona bo‘ylab kvarslashuv va piritlashuv jarayonlari hamda ko‘plab kvars tomirlari keng rivojlanganini qayd etgan. V.I. Popov, B.N. Nasledov va I.M. Yefimenko ishlarida esa zonaning flyuorit va vismut ma’danlashuvidagi roli ta’kidlangan [1-12].

Barcha tadqiqotchilar zonaning qadimda paydo bo‘lganini, ko‘p bosqichli va murakkab rivojlanganini qayd etadi. R.A. Sadikov zonadagi magmatik hosilalarni erta, o‘rta va kechki gersin intruziv komplekslariga ajratgan. Rivojlanishning dastlabki bosqichida aynan shimoli-g‘arbiy yo‘nalishdagi Qumbel-Ugom yoriqlari magma olib keluvchi eng chuqur kanallar vazifasini o‘tagan, kechki gersin subintruziv tanalari esa yoriqlar yo‘nalishiga mos keladi. Muhim jihati shundaki, kichik intruziyalar va daykalar zonaning janubiy qismida eng ko‘p rivojlangan, shimolga tomon esa ularning soni kamayib boradi. Bundan tashqari, R.A. Sadikov dayka kamarlari va intruziv massivlarni taqqoslab, zonaning shimoli-sharqiy bloki janubi-sharqqa tomon taxminan 14–16 km ga siljiganini asoslagan.

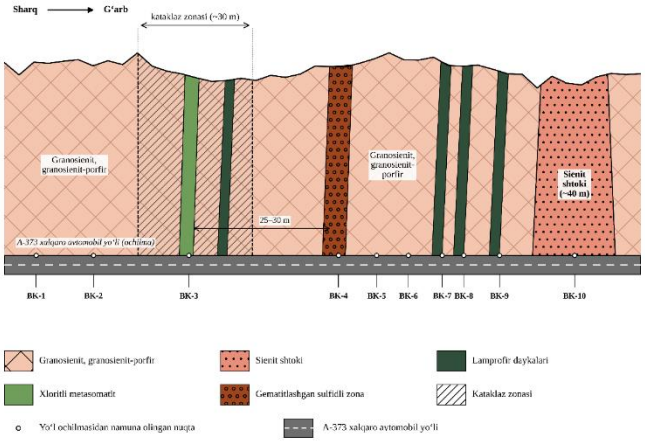
Keltirilgan tahlil shuni ko‘rsatadiki, Qumbel-Ugom zonasining umumiy tuzilishi, magmatizm bosqichlari va yirik massivlar yetarlicha o‘rganilgan. Biroq Beshqo‘l kabi kichik intruzivlar bo‘yicha tizimlashtirilgan dala-petrografik ma’lumotlar hozircha kam. Ushbu maqola shu bo‘shliqni qisman to‘ldirishga qaratilgan. Tadqiqot uchun asosiy material dala ishlari davomida to‘plandi. Beshqo‘l massivida ochilmalar yaxshi kuzatiladigan joylar bo‘ylab marshrutlar o‘tkazilib, asosiy tog‘ jinslari, ularni kesib o‘tuvchi shtok va daykalar, kataklaz va gidrotermal o‘zgarish zonalari hujjatlashtirildi. Har bir kuzatuv nuqtasida tanalarning qalinligi, yo‘nalishi va yotish holati baholandi, tog‘ jinslarining o‘zaro kesishish munosabatlari qayd etildi.

Hududdan olingan namunalar massivning asosiy jinslarini, sienit shtokini, lamprofir daykalarini va gidrotermal o‘zgargan jinslarni qamrab olishi uchun tanlandi. Namunalarning makroskopik tavsifi yagona tartibda amalga oshirildi: tog‘ jinsining rangi va umumiy ko‘rinishi; donadorlik darajasi (mayda, o‘rta, yirik); strukturasi

(bir tekis donali, porfirsimon, afir); teksturasi (massiv, dog‘li, yo‘l-yo‘l); ko‘z bilan aniqlanadigan asosiy minerallar; ikkilamchi o‘zgarishlar va ma’dan minerallarining mavjudligi. Natijalar jadvallarda umumlashtirildi, massivning ichki tuzilishi sxematik kesmada (1-rasm), tog‘ jinslarining nisbiy hosil bo‘lish ketma-ketligi esa sxematik diagrammada aks ettirildi. Shuni alohida ta’kidlash joizki, ushbu bosqichda tog‘ jinslari makroskopik jihatdan tavsiflangan.

Natijalar. Dala kuzatuvlari va namunalarni o‘rganish natijasida Beshqo‘l massivining tarkibi va ichki tuzilishi to‘g‘risida quyidagi ma’lumotlar olindi.

Massivning umumiy tuzilishi. Beshqo‘l kichik intruzivi asosan qizg‘ish va pushti rangli granitoidlardan – granit, granosienit va granosienit-porfirlardan tashkil topgan. Massivning ichki tuzilishi namunalar olingan tartibda tuzilgan sxematik kesmada ko‘rsatilgan bo‘lib, kichik intruziv tarkibidagi tanalarning joylashuvini sxematik tarzda ko‘rsatib berish uchun xizmat qiladi (2-rasm).



2-rasm. A-3---Beshqo‘l kichik intruzivining sxematik kesmasi (BK-1 – BK-10 namunalar olingan tartibda; dala kuzatuvlari asosida, masshtabsiz, tanalarning o‘zaro joylashuvi shartli).

Izoh:A-373 xalqaro avtomobil yo‘li bo‘ylab intruziving ochilmalaridan namunalar olindi.

Kesmaning boshlang‘ich qismida massivning asosiy jinslari – granosienit-porfirlar (BK-1)) ochiladi. Undan keyin eni taxminan 30 m bo‘lgan kataklaz zonasi kesib o‘tiladi. Bu zonada lamprofir tanalari yaqinida gidrotermal o‘zgarishga uchragan granosienitlar va darzliklar bo‘ylab rivojlangan xloritli metasomatit (BK-3) kuzatiladi. Xloritli metasomatitdan 25–30 m shimoli-g‘arbda granosienitlar bo‘yicha rivojlangan gematitlashgan sulfidli zona (BK-4) ochiladi. Kesma davomida yana massivning asosiy jinslari – granosienitlar (BK-5) va granosienit-porfirlar (BK-6) kuzatiladi. Ularni bir-biriga yaqin joylashgan, shimoli-g‘arbiy yo‘nalishdagi tik yotgan lamprofir daykalari (BK-7, BK-8, BK-9) kesib o‘tadi. Kesmaning so‘nggi qismida granosienit-porfirlar ichiga yorib kirgan, qalinligi taxminan 40 m bo‘lgan sienit shtoki (BK-10) ochiladi.

Beshqo‘l massivi tuzilishida to‘rt guruh hosilalar qatnashadi: asosiy granitoidlar (BK-1, BK-2, BK-5, BK-6), gidrotermal-metasomatik hosilalar (BK-3, BK-4), lamprofir daykalari (BK-7, BK-8, BK-9) va sienit shtoki (BK-10). Quyida har bir guruh batafsil tavsiflanadi.

Granosienitlar va granosienit-porfirlar. Granosienit-porfirlar massivda eng keng tarqalgan jinslardir (BK-1, BK-6). BK-1 namunasi qizg‘ish-pushti rangli, porfirsimon strukturali jins bo‘lib, asosiy massasi mayda donali. Porfir ajralmalari asosan kaliyli dala shpati va amfiboldan iborat. Kaliyli dala shpati pushti-qizg‘ish donalar, amfibol esa to‘q yashil-qora rangli, cho‘ziq kristallar ko‘rinishida uchraydi va jins yuzasida notekis tarqalgan. Asosiy jins hosil qiluvchi minerallar kvars, kaliyli dala shpati va amfiboldan iborat, biotit oz miqdorda uchraydi. BK-6 namunasi qizg‘ish-to‘q sariq rangli, o‘rtacha donali granosienit-porfir bo‘lib, unda porfir ajralmalari BK-1 ga nisbatan kamroq ajralib turadi.

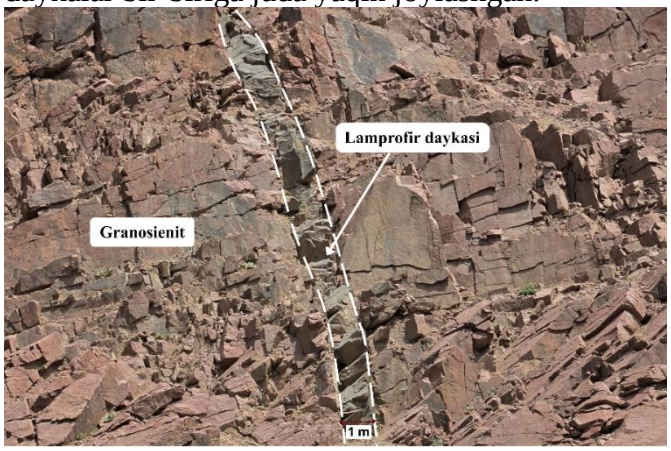
Porfirsimon bo‘lmagan granosienitlar (BK-5) och pushti-kulrang, o‘rta donali, bir tekis strukturali va massiv teksturali jinslardir. Ularda porfir ajralmalari deyarli uchramaydi, to‘q rangli minerallar esa jins yuzasida bir tekis tarqalgan. Bu jinslar granosienit-porfirlarga nisbatan sekinroq va bir maromda kristallangan deb taxmin qilish mumkin.

Sienit shtoki. Granosienit-porfirlar ichida qalinligi taxminan 40 m bo‘lgan shtoksimon sienit tanasi ochiladi (BK-10). Shtok – ko‘ndalang kesimi nisbatan kichik, tik chegarali intruziv tana. Sienit shtoki granosienitlarni yorib kirgan, demak, ulardan yoshroq va massivning qo‘shimcha intruziv fazasi sifatida qaraladi. Sienit mayda donali, qizg‘ish-pushti rangli, afir strukturali, ya’ni porfir

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ajralmalarisiz va massiv teksturali jinsdir. Unda kvars ko‘zga tashlanmaydi, rangi va donadorligi esa butun namuna bo‘ylab bir tekis. Kvarsning kamayishi va jinsning mayda donaliligi sienit magmasining granosienitlarga nisbatan ishqorlarga boyroq bo‘lganini hamda nisbatan tez sovuganini ko‘rsatadi.

Lamprofir daykalari. Lamprofirlar – to‘q rangli minerallarga (amfibol, biotit, piroksen) boy, odatda dayka shaklida uchraydigan o‘ziga xos jinslar bo‘lib, ularning magmasi ko‘pincha chuqur, mantiyaga yaqin manbalardan kelib chiqadi. Beshqo‘l massivida lamprofir daykalari granosienitlarni kesib o‘tadi (BK-7, BK-8, BK-9). Ularning qalinligi 2,5–3 m gacha yetadi, ular shimoli-g‘arbiy yo‘nalishda cho‘zilgan va tik yotadi. Kuzatuv nuqtalaridan birida lamprofir daykalari orasida qolgan granosienitlar oralig‘ining qalinligi taxminan 1 m ni tashkil etadi, ya’ni daykalar bir-biriga juda yaqin joylashgan.



2-rasm. Beshqo‘l massivida lamprofir daykalari.

Lamprofirlar qoramtir-kulrang, ba’zan yashil tusli, mayda donali va zich jinslardir. Ular och rangli granosienitlar fonida keskin ajralib turadi, bu esa daykalarni dalada ishlari jarayonida oson kuzatish imkonini beradi. Asosiy massa juda mayda donali bo‘lgani sababli minerallar makroskopik aniqlanmaydi. BK-7 namunasida qalinligi millimetr atrofidagi oqish va qo‘ng‘ir rangli gidrotermal tomirchalar kuzatiladi. BK-9 namunasida esa kulrang fonda oqish tomirchalar va dog‘lar bor. Bu belgilar lamprofirlar hosil bo‘lgandan keyin ular bo‘ylab eritmalar harakatlanganini ko‘rsatadi. Lamprofirlarning sienit shtoki bilan bevosita munosabati dala kuzatuvlarida qayd etilmadi.

Kataklaz zonasi va gidrotermal-metasomatik hosilalar. Kataklaz – tektonik harakatlar ta’sirida tog‘ jinslarining maydalanishi va darzlanishi. Metasomatit esa dastlabki tog‘ jinsining eritmalar ta’sirida kimyoviy va mineral tarkibi o‘zgarishi natijasida hosil bo‘lgan jinsdir. Beshqo‘l massivining ichki qismida eni taxminan 30 m bo‘lgan kataklazlangan zona kuzatiladi. Aynan shu yerda lamprofir tanalari ta’sirida gidrotermal o‘zgarishga uchragan granosienitlar ochiladi.

Zonada darzliklar bo‘ylab qalinligi 1–1,5 m bo‘lgan, to‘liq xloritlashgan xloritli metasomatit tanasi rivojlangan (BK-3). Xloritlashuv – dastlabki jinsdagi to‘q rangli minerallar va qisman dala shpatlari o‘rnida gidrotermal eritmalar ta’sirida yashil rangli xlorit minerali hosil bo‘lishi. Metasomatit to‘q kulrang-yashil rangli, notekis donali bo‘lib, unda dastlabki jinsning och rangli qoldiq donalari saqlanib qolgan. Metasomatit ichida mayda sulfid minerallari tarqoq holda uchraydi.

Barcha namunalarning makroskopik tavsifi 1-jadvalda, suratlari esa 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Beshqo‘l kichik intruzivi tog‘ jinslarining namunalari.

Tog‘ jinslarining nisbiy hosil bo‘lish ketma-ketligiga ko‘ra Beshqo‘l massivi hosilalarini to‘rt guruhga ajratish mumkin.

Birinchi guruh – asosiy intruziv faza – granit, granosienit va granosienit-porfirlar massivni shakllantirgan magmaning kristallanishining nisbatan erta bosqichida shakllangan, chunki boshqa barcha tanalar ularni kesib o‘tadi. Ikkinchi guruh – sienit shtoki – granosienit-porfirlarni yorib kirgan qo‘shimcha intruziv faza maxsulotlari – kechki magmatik kristallanish hosilalari. Uchinchi guruh – lamprofir daykalari – granosienitlarni kesib o‘tadi. Ularning sienit shtokiga nisbatan yoshi

bevosita kuzatilmagan, biroq lamprofir daykalari ushbu yer yoriqlari zonasining boshqa qismlarida odatda siyenitlardan kyein shakllanganligini inobatga olib shartli ravishda ushbu shtokdan keyinligi ko‘rsatilgan [8]. To‘rtinchi guruh – kataklaz va gidrotermal o‘zgarishlar – eng yosh hosilalar bo‘lib, ular granosienitlar bo‘yicha rivojlangan va lamprofirlar bilan fazoviy bog‘liq.

1-jadval

Beshqo‘l kichik intruzivi tog‘ jinslarining makroskopik tavsifi

Namuna	Tog‘ jinsi	Rangi, strukturasi va teksturasi	Ko‘zga ko‘rinadigan minerallar	Geologik holati
BK-1	Granosienit-porfir	Qizg‘ish-pushti; porfirsimon, asosiy massasi mayda donali; massiv	Kvars, kaliyli dala shpati, amfibol; porfir ajralmalari – kaliyli dala shpati va amfibol	Massivni tashkil etgan jinslarning asosiy turi
BK-2	Granosienit, yirikdonali	Qizg‘ish-sarg‘ish, qisman yashilroq tusli; yirik donali; massiv	Kaliyli dala shpati, slyuda, kam kvars	Massivdagi garanosiyenitlarning yirik donali turi
BK-3	Xloritli metasomatit	To‘q kulrang-yashil; notekis donali, dastlabki jinsning och rangli qoldiqlari bilan	Xlorit, mayda sulfidlar	Kataklaz zonasida darzliklar bo‘ylab tana, qalinligi 1–1,5 m
BK-4	Gematitlashgan sulfidli granosienit	Qo‘ng‘ir-qizil; zich, massiv	Kaliyli dala shpati, gematit, sulfidlar	BK-3 dan 25–30 m shimoli-g‘arbda, eni 2,5–3 m zona
BK-5	Granosienit	Och pushti-kulrang; o‘rta donali, bir tekis; massiv	Kaliyli dala shpati, kvars, to‘q rangli minerallar	Massivning asosiy jinsi
BK-9	Lamprofir	Kulrang; mayda donali, oqish tomirchalar va dog‘lar bilan	Asosiy massa mayda donali, minerallar makroskopik aniqlanmaydi	Dayka, qalinligi 2,5–3 m, shimoli-g‘arbiy yo‘nalishli, tik
BK-10	Sienit	Qizg‘ish-pushti; mayda donali, afir; massiv	Kaliyli dala shpati; kvars ko‘zga tashlanmaydi	Granosienit-porfirlarni yorib kirgan shtok, qalinligi ~40 m

Muhokama. Olingan natijalarni Qumbel-Ugom zonasi haqidagi adabiyot ma’lumotlari bilan taqqoslash Beshqo‘l massivining geologik o‘rni, tarkibi va tog‘ jinslarining geologik xususiyatlari haqida bir qator xulosalar chiqarish imkonini beradi.

Massivning yer yoriqlari bilan bog‘liqligi. Lamprofir daykalarining shimoli-g‘arbiy yo‘nalishi alohida e’tiborga loyiq. Bu yo‘nalish Qumbel-Ugom yoriqlar tizimining umumiy janubi-sharqiy (120–145°) yo‘nalishi bilan mos keladi [4]. R.A. Sadikov ham zona yaqinida subintruziv va dayka tanalarining yo‘nalishi yoriqlarga bo‘ysunishini qayd etgan. Oqtepa intruzivida ham daykalar asosan shimoli-g‘arbiy yo‘nalishda cho‘zilgan [7]. Chodak ma’danli maydonida esa murakkab daykalar asosan shimoli-sharqiy yo‘nalishga ega bo‘lib, bu maydonning Qumbel va Shimoliy Farg‘ona yoriqlari kesishgan joyda joylashgani bilan izohlanadi [6]. Demak, Beshqo‘l massividagi daykalar aynan Qumbel-Ugom zonasining asosiy, shimoli-g‘arbiy yo‘nalishdagi yoriqlari bo‘ylab joylashgan va magmaning shu yoriqlar orqali ko‘tarilganini aks ettiradi. Massiv ichidagi kataklaz zonasi esa tektonik harakatlar magmatizmdan keyin ham davom etganini ko‘rsatadi.

Sienitoidlarning geologik xususiyatlari. Beshqo‘l massivida granosienitlardan sienitga o‘tish kuzatiladi: sienit shtokida kvars ko‘zga tashlanmaydi, jins mayda donali va afir. Bu magma tarkibining vaqt o‘tishi bilan kvarsga kambag‘allashib, ishqorlarga boyiganini ko‘rsatishi mumkin. Shunga o‘xshash tarkibiy qator Oqtepa intruzivining yuqori qismida ham qayd etilgan, u yerda gabbro-sienit, sienit va granosienitlar rivojlangan [8]. Guzaksoy kompleksining granosienit daykalari chilten tipidagi granosienitlar bilan parallellashtirilib, kechki perm yoshida deb talqin qilinadi. Beshqo‘l granosienitlarining tashqi ko‘rinishi va mineral tarkibi ushbu ma’lumotlarga zid emas, biroq ularning aniq kompleksga mansubligini aniqlash uchun kimyoviy va izotop tahlillar zarur.

Lamprofir daykalarining ahamiyati. Sienitoid massivni kesib o‘tuvchi lamprofir daykalarining mavjudligi asosiy intruziv fazadan keyin hududga chuqur, asos tarkibli magmaning qayta kirib kelganini ko‘rsatadi. Chodak ma’danli maydonida lamprofir va sienit-porfir daykalari yagona subishqorli gabbroid tizimning hosilalari sifatida talqin qilinadi [8]. R.T. Dolimov ham Qurama zonasidagi dayka komplekslari manbasini mantiya bilan bog‘laydi va ularning shakllanishini O‘rta Tiyon-Shon ostidagi mantiya diapiri faolligi bilan izohlaydi. F. Choulet va boshqalar esa O‘zbekistonning Tiyon-Shon hududidagi mantiya manbali intruziyalar yer po‘stini ma’dan komponentlari bilan boyitganini ko‘rsatgan. Shu nuqtai nazardan, Beshqo‘l massividagi lamprofirlar nafaqat magmatik tarixning, balki ma’danlashuvning ham muhim ko‘rsatkichi bo‘lishi mumkin.

Gidrotermal o‘zgarishlar. Gematitlashgan sulfidli zona qo‘shni Chodak ma’danli maydonidagi oltin-kumushli kvars-karbonat-gematit tomirlarini eslatadi [8]. Bu o‘xshashlik hozircha faqat tashqi belgilarga asoslangan, biroq u Beshqo‘l massivida oltin va kumush miqdorini tekshirish zarurligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, massivning sienitoid tarkibini hisobga olib, sienitoid assotsiatsiyaga xos

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

bo‘lgan Sn, Nb, W, Mo, U, Th va noyob-yer elementlariga ham geokimyoviy tahlillar o‘tkazish maqsadga muvofiq. H.M. Abdullayev ta’kidlaganidek, intruziyalar va ma’danlashuv o‘rtasidagi genetik bog‘liqlikni aniqlash uchun magmatik jinslar tarkibini, ularning tektonik holatini va postmagmatik jarayonlarni birgalikda o‘rganish lozim.

Xulosa. O‘tkazilgan dala tadqiqotlari va namunalarni makroskopik o‘rganish natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi.

1. Qumbel-Ugom yer yoriqlari zonasi janubiy segmentining g‘arbiy qismida joylashgan Beshqo‘l kichik intruzivining asosiy qismi granosienit va granosienit-porfirlardan tashkil topgan. Granosienit-porfirlarda kaliyli dala shpati va amfibolning porfir ajralmalari xarakterli, asosiy jins hosil qiluvchi minerallar kvars, kaliyli dala shpati va amfibol, qisman biotitdan iborat.

2. Granosienit-porfirlarni qalinligi taxminan 40 m bo‘lgan mayda donali, afir sienit shtoki yorib kiradi. U massivning qo‘shimcha intruziv fazasi hisoblanadi va magma tarkibida kvarsning kamayib, ishqorlarga boyib borganini aks ettiradi.

3. Granosienitlarni qalinligi 2,5–3 m gacha bo‘lgan, shimoli-g‘arbiy yo‘nalishdagi, tik yotgan lamprofir daykalari kesib o‘tadi. Daykalarning yo‘nalishi Qumbel-Ugom yoriqlar tizimining yo‘nalishiga mos keladi va massivning shakllanishida yoriqlar zonasining nazorat qiluvchi rolini tasdiqlaydi.

4. Massiv ichidagi eni taxminan 30 m bo‘lgan kataklaz zonasida lamprofirlar yaqinida qalinligi 1–1,5 m bo‘lgan sulfidli xloritli metasomatitlar, undan 25–30 m shimoli-g‘arbda esa eni 2,5–3 m bo‘lgan gematitlashgan sulfidli zona rivojlangan. Kesishish munosabatlari asosida massiv hosilalarining to‘rt bosqichli nisbiy ketma-ketligi tiklandi: asosiy intruziv faza, sienit shtoki, lamprofir daykalari va gidrotermal-metasomatik o‘zgarishlar.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Абдуллаев, Ҳ. М. (2022). Гранитоидли интрузиялар билан маъданлашувнинг генетик боғлиқлиги (Х. Д. Ишбаев, Тарж.). [Asl nashr 1954].
[2] Арапов, В. А. (1983). Вулканизм и тектоника Чаткало-Кураминского региона. Фан.
[3] Васильковский, Н. П. (1952). Стратиграфия и вулканизм верхнего палеозоя юго-западных отрогов Северного Тянь-Шаня. Фан.
[4] Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов». (2010). Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана. Госкомгеологии Республики Узбекистан.
[5] Далимов, Р. Т. (2019). Қурама зонаси олтин маъданли конлари дайкаларининг петрологик-геокимёвий хусусиятлари [Геология-минералогия фанлари доктори (DSc) диссертацияси автореферати]. Минерал ресурслар институти.
[6] Далимов, Т. Н., & Ганиев, И. Н. (1993). Периодизация этапов внутриплитного магматизма Тянь-Шаня. Университет.
[7] Кирезиди, С. В. (2020). Кумбель-Угамская зона разломов: малые интрузии и их рудоносность. [Журнал номи манбада кўрсатилмаган], (4), 547–576.
[8] Мамарозиков, У. Д. (2020). Внутриплитный магматизм и рудообразование Чаткало-Кураминского региона (Срединный Тянь-Шань). Навруз.
[9] Садыков, Р. А. (1964). Геология и металлогения зоны Кумбель-Угамских разрывов [Автореферат диссертации кандидата геолого-минералогических наук]. Институт геологии и геофизики АН РУз.
[10] Biske, Y. S., & Seltmann, R. (2010). Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals-Turkestan oceans. Gondwana Research, 17(2–3), 602–613. https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.11.014

[11] Choulet, F., Seltmann, R., Divaev, F., Shatov, V., & Konopelko, D. (2022). Mantle-triggered intrusions in the western Central Asian Orogenic Belt: Implications for the fertilisation of the crust in Tian Shan, Uzbekistan. International Journal of Earth Sciences, 111, 2691–2714. https://doi.org/10.1007/s00531-022-02172-7

[12] Seltmann, R., Konopelko, D., Biske, G., Divaev, F., & Sergeev, S. (2011). Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tien Shan orogenic belt. Journal of Asian Earth Sciences, 42(5), 821–838. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.08.016

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

Keldibekova, Z. A., Mamarozikov, U. D., & Hamrayev, A. X. (2026). Beshqo‘l intruziv tog‘ jinslarining geologik xususiyatlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.15

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 552.323.4/.5:552.12 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.16

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

QIZILMACHIT PALEOVULQONI ASOS VA O‘RTA TARKIBLI JINSLARINING PETROGRAFIK XUSUSIYATLARI



Saitov Nuriddin Erkin o‘g‘li
Geologiya-mineralogiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), katta ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: saitov_nuriddin@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-0065-0721
Science ID: FSN-0525-0172

Annotatsiya. *Maqolada Qizilmachit paleovulqoni hududida tarqalgan bazalt–andezit–riolit formatsiyalariga mansub vulkanogen va vulkanogen-cho‘kindi jinslarning petrografik, teksturaviy-strukturaviy hamda moddiy tarkib xususiyatlari yoritilgan. Bazalt, andezibazalt, andezit, kvarsli andezit, andezidatsit va ularning tuflari makroskopik hamda mikroskopik usullar asosida o‘rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, paleovulqon mahsulotlarining umumiy petrofondida asos va o‘rta tarkibli vulkanitlar hamda ular bilan bog‘liq metasomatitlarning ulushi 15–20 % ni tashkil etib, nordon tarkibli vulkanitlarga nisbatan kamroq tarqalgan. Vulkanogen jinslarda massiv, bodomsimon va porfirli teksturalar, mikrolitli, gialopilitli va intersertal strukturalar, shuningdek xloritlashish, karbonatlanish, epidotlashish va sossyuritlashish kabi ikkilamchi o‘zgarishlar aniqlangan. Paleovulqon tuzilmasida eksploziv fatsiya jinslari muhim o‘rin egallab, eksploziya koeffitsiyenti 75 % gacha yetishi qayd etilgan. Vulkan bo‘g‘zi va parazit kanallariga xos tuf, tufobrekchiya, aglomerat, lavobrekchiya va tuffizitlarning petrografik xususiyatlari vulkanogen-gidrotermal jarayonlar bilan bog‘liq ma’danlashuvning joylashuvini aniqlashda muhim qidiruv belgisi sifatida baholangan.*

Kalit so‘zlar: *Qizilmachit paleovulqoni, bazalt, andezibazalt, andezit, andezidatsit, vulkanogen-cho‘kindi jinslar, tuf, tuffizit, eksploziv fatsiya, petrografiya, metasomatizm, vulkanogen-gidrotermal jarayonlar.*

Received: 21.09.2026 | Accepted: 07.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ОСНОВНОГО И СРЕДНЕГО СОСТАВА КЫЗЫЛМЕЧЕТСКОГО ПАЛЕОВУЛКАНА

Саитов Нуриддин Эркин угли
Доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, старший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье рассмотрены петрографические, текстурно-структурные особенности и вещественный состав вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород базальт-андезит-риолитовой формационной серии Кызылмечетского палеовулкана. На основе макроскопических и микроскопических исследований изучены базальты, андезибазальты, андезиты, кварцевые андезиты, андезидациты и их туфы. Установлено, что доля вулканитов основного и среднего состава и связанных с ними метасоматитов в общем петрофонде палеовулканических*

продуктов составляет 15–20%, тогда как кислые вулканиты распространены значительно шире. Для изученных пород характерны массивные, миндалекаменные и порфировые текстуры, микролитовые, гиалопилитовые и интерсертальные структуры, а также проявления хлоритизации, карбонатизации, эпидотизации и соссюритизации. Значительную роль в строении палеовулкана играют породы эксплозивной фации, коэффициент эксплозивности которых достигает 75 %. Петрографические особенности туфов, туфобрекчий, агломератов, лавобрекчий и туффизитов, приуроченных к вулканическим жерлам и паразитическим каналам, имеют важное значение для выявления пространственного положения оруденения, связанного с вулканогенно-гидротермальными процессами.
Ключевые слова: *Кызылмечетский палеовулкан, базальт, андезибазальт, андезит, андезидацит, вулканогенно-осадочные породы, туф, туффизит, эксплозивная фация, петрография, метасоматизм, вулканогенно-гидротермальные процессы.*

PETROGRAPHIC FEATURES OF BASIC AND INTERMEDIATE ROCKS OF THE KYZYLMACHIT PALEOVOLCANO

Saitov Nuriddin Erkin ugli
Doctor of Philosophy (PhD) in Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article examines the petrographic, textural-structural, and compositional characteristics of volcanic and volcanogenic-sedimentary rocks belonging to the basalt–andesite–rhyolite formation series of the Kyzylmachit paleovolcano. Basalts, basaltic andesites, andesites, quartz andesites, andesidacites, and their tuffs were studied using macroscopic and microscopic methods. The results show that basic and intermediate volcanic rocks and associated metasomatites account for approximately 15–20% of the total paleovolcanic rock assemblage, whereas acidic volcanic rocks are more widespread. The studied rocks are characterized by massive, amygdaloidal, and porphyritic textures, microlitic, hyalopilitic, and intersertal structures, as well as secondary alteration processes including chloritization, carbonatization, epidotization, and saussuritization. Explosive-facies rocks constitute an important part of the paleovolcanic structure, with the explosivity coefficient reaching up to 75%. The petrographic characteristics of tuffs, tuff breccias, agglomerates, lava breccias, and tuffisites associated with volcanic vents and parasitic channels are considered important indicators for determining the spatial distribution of mineralization related to volcanogenic-hydrothermal processes.*
Keywords: *Kyzylmachit paleovolcano, basalt, basaltic andesite, andesite, andesidacite, volcanogenic-sedimentary rocks, tuff, tuffisite, explosive facies, petrography, metasomatism, volcanogenic-hydrothermal processes.*

Kirish. Qizilmachit paleovulqoni hududida tarqalgan ertakarbon yoshidagi vulkanogen jinslar vulkanik orollarga yaqin geodinamik sharoitda shakllangan. Mazkur sharoit vulkanogen hosilalarning dengiz muhitida to‘plangan terrigen va karbonat yotqiziqlar bilan ritmik almashinib kelishi orqali namoyon bo‘ladi. Bunday geologik munosabatlar hududda vulkanik faollik bilan cho‘kindi to‘planish jarayonlari o‘zaro uzviy bog‘liq holda kechganligini ko‘rsatadi. Shu sababli Qizilmachit paleovulqoni jinslarining tarkibi, tuzilishi va petrografik xususiyatlarini o‘rganish hududning vulkanik rivojlanish bosqichlarini hamda vulkanogen jarayonlarning shakllanish sharoitlarini aniqlashda muhim ilmiy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Vulqon faolligining namoyon bo‘lishi turlicha kechganligi (uning mahsulotlarini otilib yoki oqib chiqishi) tuf, tufobrekchiya, aglomeratlar (eksploziv fatsiya), lava va lavobrekchiyalar (effuziv fatsiya), eruptiv dayka va inyeksion tuffizitlar (ekstruziv fatsiya) kabi vulqon jinslarining har-xil fatsiyalarini shakllanganligi bilan ifodalangan. Yerning chuqur qismidan yer yuzasiga portlab otilib yoki oqib chiqishi natijasida hosil bo‘lgan vulqon

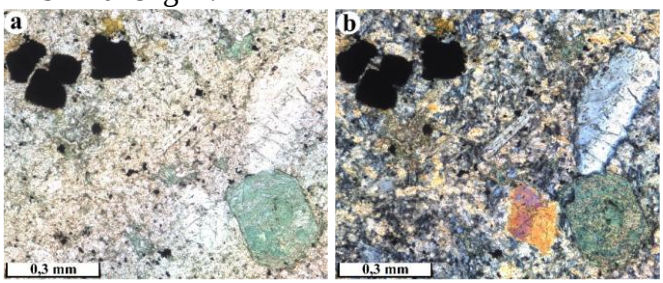
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

mahsulotlari bilan bir qatorda yer yuzasiga chiqmagan vulqon jinslari (subvulkanik fatsiya) ham keng tarqalgan. Mintaqadagi barcha paleovulqon qurilmalarida andezit-datsit va riolit porfirlarning ko‘p sonli sill va yirik lakkolitsimon tanalari uchraydi [4]. Ushbu maqolada Qizilmachit paleovulqonidagi bazalt, andezibazalt, andezit, andezidatsitlar va ularning tuflarining petrografik xususiyatlari makroskopik va mikroskopik tekshiruv usullari yordamida o‘rganilib yoritilgan.

Natijalar. Bazalt, andezibazalt, andezit, andezidatsitlar va ularning tuflari. Qizilmachit paleovulqoni mahsulotlarining umumiy petrofondida asos va o‘rta tarkibli jinslar nordon vulkanogen-piroklastik jinslarga nisbatan kam tarqalgan.

Bazaltlar asosan massiv, ba’zan bodomsimon teksturalarga ega. To‘liq kristallashmagan asos massasidan plagioklazlar, kam hollarda amfibollarning kuchli o‘zgarishga uchragan - epidotlashgan va xloritlashgan porfir donalari ajralib turadi.

Tog‘ jinsining asosiy massasi (bazisi) mikrolitli, gialopilitli, intersertal strukturalarga ega. Aksariyat hollarda intensiv xloritlashgan, karbonatlashgan.



1-rasm. Andezibazaltning petrografik xususiyatlari.

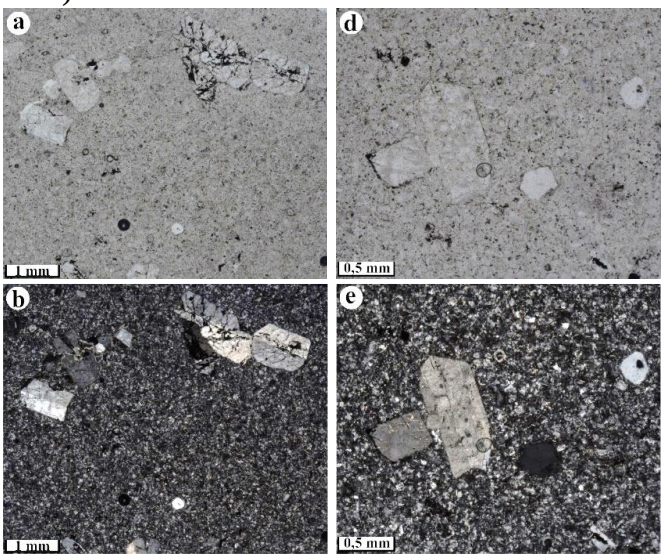
Shlif № KM-37. a va b – tog‘ jinsining asosiy massasi chala kristallashgan, inersertal tuzilishga ega. Porfir ajralmalari xloritlashgan amfibol psevdomorfozalaridan va plagioklazdan iborat. Unda ma’danli minerallar uyasimon to‘plamlar hosil qilgan; a – parallel nikollarda tasvirga olingan, b – kesishgan nikollarda.

Qizilmachit paleovulqoni **andezibazaltlari** porfirli ko‘rinishga ega. Porfir ajralmalari sossyuritlashgan plagioklazdan va xloritga aylangan amfibol psevdomorfozalaridan iborat, shuningdek, oksidlangan sulfid minerallari donalarining uyasimon to‘plamlari uchraydi.

Andezibazaltlarning chala kristallashgan asosiy massasida plagioklazning ingichka prizma shaklidagi leystlari (mikrolitlari) tartibsiz joylashgan. Ularni orasida amfibol mikrolitlari bo‘yicha rivojlangan xlorit-karbonatli ikkilamchi mineral agregatlaridan rivojlangan (1-rasm). Asosiy massasida gialopilitli, mikrolitli strukturalar tez-tez uchraydi.

Kvarsli andezitlar ham ko‘pincha porfirli strukturaga ega. Fenokristallari sossyuritlashgan plagioklazdan iborat bo‘lib, u kvars fenokristallariga nisbatan 5-6 marta ko‘p. Umuman tog‘ jinsi hajmida plagioklaz+kvarsli porfir ajralmalari 20-25% atrofida. Amfibolni porfir donalari juda siyrak (2-3%) tarqalgan. Ayrim hollarda u xloritga to‘liq o‘zgargan (2-rasm). Asos massasida ushbu minerallarning mikrolitlari bilan birga qisman vulkanik shisha mavjud, shuning uchun uning strukturasini chala kristallangan, mikrolitli deb ta’riflash mumkin [5].

Qizilmachit paleovulqonidagi ba’zi andezidatsitlar mikroporfirli strukturaga ega. Asos massasi chala kristallangan, unda vulkanik shisha mikrolitlarga nisbatan yaqqol ustunlik qiladi. Unda mikropegmatitning ksenolitlari aniqlangan (3-rasm).



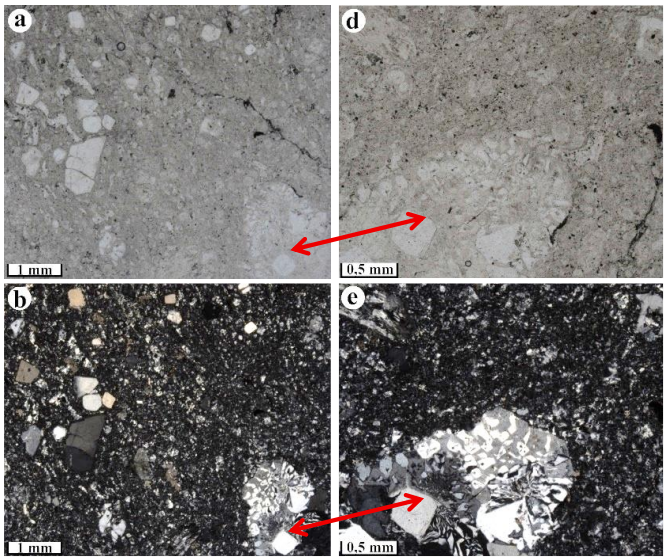
2-rasm. Kvarsli andezit.

Shlif № KM-150. Tog‘ jinsidagi siyrak mikroporfir ajralmalar plagioklaz va kvarsdan iborat; asosiy massasi gialopilitli tuzilishga ega – unda vulqon shishasi mikrolitlardan ko‘proq; a va d – parallel nikollarda tasvirga olingan, b va e – kesishgan nikollarda.

Ushbu paleovulqonda ularning eksploziv fatsiyasiga mansub yirik bo‘lakli tuflar ehtimoliy vulqon otilish markazlari (bo‘g‘zilari) va parazit

kanallari atrofida aniqlangan. Bo‘laklarining katta-kichikliligiga ko‘ra tufogen jinslar yirik bo‘lakli (2–10 mm), o‘rta bo‘lakli (0,1–2 mm) va mayda bo‘lakli (0,01–0,1 mm) ga bo‘linadi.

Eksploziv fatsiya jinslari turli xil bo‘lib, tufolavalardan, ignimbritlardan, lavobrekchiya-lardan, aglomeratli lavalardan iborat, ya’ni ular vulqon jarayonlarini kuchli portlashlar bilan kechganligidan, lavalarini o‘ta qovushqoqligidan dalolat beradi.



3-rasm. Andezidatsit.

Shlif № KM-155. Tog‘ jinsidagi siyrak mikroporfir ajralmalar plagioklaz va kvarsdan iborat; asosiy massasi gialopilitli tuzilishga ega – unda vulqon shishasi mikrolitlardan ko‘proq. Mikropegmatitning ksenolitlari mavjud; a va d – parallel nikollarda tasvirga olingan, b va e – kesishgan nikollarda.

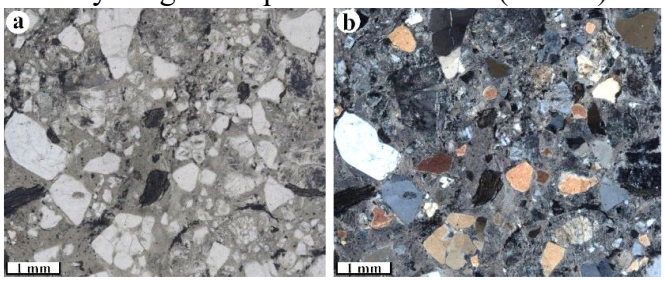
Muhokama. Biz “tufolava” atamasini izohlashda B.S.Koptev-Dvornikov v.b. [2] ta’rifiga asoslanamiz, ya’ni bu jinslar flyuidal teksturali o‘rta va nordon lavalardan iborat bo‘lib, ularning ichida xuddi shu tarkibli lavaning bo‘laklaridan tuzilgan linzalar, qatlamchalar uchraydi. Ularni hosil bo‘lish jarayonlarini lava oqayotgan vaqtda chuqurda hosil bo‘lgan porfir ajralmalarini va lavaning yuzasini tez sovub qotishidan shakllangan vulkanik shishalarni sinishi va maydalanishi bilan izohlash mumkin.

Tuflar – vulqon bo‘gziga nisbatan tarqalishiga ko‘ra uchta zonaga xos bo‘lgan turli xil piroklastolitlardan iborat: vulqon bo‘g‘zi atrofi, oraliq (vulqon konusining yon bag‘irlari) va vulqon bo‘g‘zidan uzoqda [3]. Vulkanitlarning asosiy massasi, ayniqsa piroklastlar, ular shakllanishidan boshlab eroziyaga uchraganligi sababli, biz ushbu jinslar otilish markazidan unchalik uzoq bo‘lmagan masofada joylashgan zonalar uchun xarakterli deb taxmin qilamiz.

Bo‘laklarining katta-kichikliligiga ko‘ra tufogen jinslar yirik bo‘lakli (2–10 mm), o‘rta bo‘lakli (0,1–2 mm) va mayda bo‘lakli turlarga ajratiladi.

Tuflarning asosiy farqlanuvchi xususiyati ularning bog‘lovchi (sementlovchi) massasining tabiatidir. Tog‘ jinslarining umumiy strukturasi kristalloklastik, litokristalloklastik bo‘lib, ularni tashkil etuvchi bo‘laklarning o‘lchamiga qarab psammitli yoki alevritli, lekin bog‘lovchi massa asosan turli darajadagi erib-toblangan kuldan iborat [1].

Qizilmachit paleovulqoni **andezidatsit tarkibli tuffizitlarining** (inyeksion tuf) tarkibidagi bo‘laklar plagioklaz va kvarsning o‘tkir qirrali, tartibsiz joylashgan siniqlaridan iborat bo‘lib, ularni orasida ba’zan opatsitlashgan amfibol va biotit kam miqdorda uchraydi. Sementlovchi massasi kremniylashgan vulqon kulidan iborat (4-rasm).



4-rasm. Andezidatsit tarkibli tuffizit (inyeksion tuf).

Shlif № KM-172. Kristallarning o‘tkir qirrali siniqlari (klastlar) kvars va plagioklazdan iborat; ba’zan opatsitlashgan amfibol va biotit uchraydi; a – parallel nikollarda tasvirga olingan, b – kesishgan nikollarda.

Xulosa. Yuqorida bayon etilgan tadqiqot ishlari natijasida erishilgan ma’lumotlar Qizilmachit paleovulqoni mahsulotlarining umumiy petrofondida asos va o‘rta tarkibli vulkanitlar va ularga aloqador metasomatitlarni ulushi 15-20% ga yetishini, nordon vulkanitlarga nisbatan kam tarqalganligini ko‘rsatdi.

Qizilmachit paleovulqonining vulkanogen jinslari vulkanik orollarga yaqin sharoitda vujudga kelgan. Buni vulqon jinslarni dengiz cho‘kindilari – terrigen va karbonat jinslar qatlamlari bilan ritmik almashinib yotganligi tasdiqlaydi. Vulqon faolligining namoyon bo‘lishi turlicha kechganligi

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

(uning mahsulotlarini otilib yoki oqib chiqishi) tuf, tufobrekchiya, aglomeratlar (eksploziv fatsiya), lava va lavobrekchiyalar (effuziv fatsiya), eruptiv dayka va inyeksion tuffizitlar (ekstruziv fatsiya) kabi vulqon jinslarining har-xil fatsiyalarini shakllanganligi bilan ifodalangan. Yerning chuqur qismidan yer yuzasiga portlab otilib yoki oqib chiqishi natijasida hosil bo‘lgan vulqon mahsulotlari bilan bir qatorda yer yuzasiga chiqmagan vulqon jinslari (subvulkanik fatsiya) ham keng tarqalgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Далимов, Т. Н., Кустарникова, А. А., Ярмухамедов, А. Р., и др. (1971). Вулканогенные формации Узбекистана. Фан.
[2] Коптев-Дворников, В. С., и др. (1967). Вулканогенные породы и методы их изучения. Недра.
[3] Малеев, Е. Ф. (1964). Вулканокластические горные породы. Госгеолтехиздат.
[4] Шаякубов, Т. Ш., Далимов, Т. Н., Арапов, В. А., Шпотова, Л. В., & Коржаев, В. П. (1988). Вулканизм Западного Тянь-Шаня. Фан.
[5] Saitov, N. E., & Mamarozikov, U. D. (2025). Qizilmachit paleovulqoni jinslarining petrografik xususiyatlari. Geologiya va mineral resurslar jurnali, (6), 25–37.

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

Saitov, N. E. (2026). Qizilmachit paleovulqoni asos va o‘rta tarkibli jinslarining petrografik xususiyatlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.16

UO‘K: 553.3/.9:550.4 (575.1)

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.17

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

DAUGIZTOV MA’DANLI MAYDONI OHAKTOSH VA KARASAY KONLARINING GEOKIMYOVIY IXTISOSLASHUVI



Hamrayev Ahmadali Xurrom o‘g‘li

Geologiya-mineralogiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), katta ilmiy xodim, H.M. Abdullayev nomidagi Geologiya va geofizika instituti, Toshkent, O‘zbekiston

E-mail: ahmadali@mail.ru

ORCID ID: 0009-0002-3342-9615

Science ID: FSD-0525-0060

Annotatsiya. *Maqolada Markaziy Qizilqum hududida joylashgan Daugiztov ma’danli maydonining Ohaktosh va Karasay konlari geologik-petrografik, mineralogik hamda geokimyoviy jihatdan kompleks o‘rganilgan. Tadqiqotlarda anshliflar bo‘yicha petrografik-mineralogik kuzatuvlar, ICP-MS va probir tahlillari natijalaridan foydalanilgan. Hududda uglerodli slaneslar, slaneslashgan alevrolitlar, karbonatli ohaktoshlar, kataklazitlar va oksidlanish zonasi jinslari ajratilgan. Ma’danli minerallar tarkibida pirit, arsenopirit, xalkopirit, galenit, sfalerit, antimonit va boshqa sulfidlar aniqlangan. Geokimyoviy tahlillar Au miqdorining 2,0–7,6 g/t gacha yetishini hamda yuqori oltin qiymatlari As va Sb miqdorlarining ortishi bilan birga kuzatilishini ko‘rsatgan. Au–As o‘rtasida sezilarli ijobiy korrelyatsiya aniqlangan. Ohaktosh konida ma’danli minerallar assotsiatsiyasining chuqurlik bo‘yicha almashinishi vertikal zonallanish mavjudligini ko‘rsatadi, oksidlanish zonasi esa 3–15 m chuqurlikkacha rivojlangan. Olingan natijalar hududdagi minerallashuvning gidrotermal-metasomatik, orogenetik tipga yaqin xususiyatga egaligini ko‘rsatib, Daugiztov ma’danli maydonining metallogenik salohiyatini baholash va chuqur gorizontlarda qidiruv ishlarini rejalashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.*

Kalit so‘zlar: *Daugiztov, Ohaktosh, Karasay, geokimyoviy ixtisoslashuv, oltin-kumush minerallashuvi, pirit, arsenopirit, sulfid minerallar, Au, As, Sb, vertikal zonallanish, oksidlanish zonasi, gidrotermal-metasomatik jarayonlar.*

Received: 22.09.2026	Accepted: 07.10.2026	Issue publication: 10.10.2026

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОХАКТОШ И КАРАСАЙ ДАУГИЗТАУСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Хамраев Ахмадали Хурром угли

Доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, старший научный сотрудник Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье комплексно рассмотрены геолого-петрографические, минералогические и геохимические особенности месторождений Охактош и Карасай Даугизтауского рудного поля Центральных Кызылкумов. Исследования включали петрографо-минералогическое изучение аншлифов, ICP-MS-анализ и пробирное определение золота. В пределах изученной территории выделены углеродистые сланцы, рассланцованные алевролиты, карбонатные известняки, катаклазиты и породы зоны окисления. Среди рудных минералов установлены пирит,*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит, антимонит и другие сульфиды. Геохимические данные показывают содержания Au до 2,0–7,6 г/т, причём повышенные значения золота сопровождаются ростом концентраций As и Sb. Для пары Au–As выявлена выраженная положительная корреляция. На месторождении Охактош установлена вертикальная зональность рудной минерализации, а зона окисления прослеживается до глубины 3–15 м. Полученные данные свидетельствуют о гидротермально-метасоматическом характере минерализации, близком к орогенному типу, и могут быть использованы при оценке металлогенического потенциала Даугизтауского рудного поля и планировании поисков на глубоких горизонтах.
Ключевые слова: *Даугизтау, Охактош, Карасай, геохимическая специализация, золото-серебряная минерализация, пирит, арсенопирит, сульфидные минералы, Au, As, Sb, вертикальная зональность, зона окисления, гидротермально-метасоматические процессы.*

GEOCHEMICAL SPECIALIZATION OF THE OHAKTOSH AND KARASAY DEPOSITS OF THE DAUGIZTAV ORE FIELD

Hamrayev Ahmadali Xurrom ugli
Doctor of Philosophy (PhD) in Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, H.M. Abdullayev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article presents a comprehensive geological, petrographic, mineralogical, and geochemical study of the Ohaktosh and Karasay deposits within the Daugiztav ore field of the Central Kyzylkum region. The investigation included petrographic and mineralogical examination of polished sections, ICP-MS analysis, and fire-assay determination of gold. Carbonaceous schists, schistose siltstones, carbonate limestones, cataclasites, and rocks of the oxidation zone were identified within the study area. The main ore minerals include pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, stibnite, and other sulfides. Geochemical data indicate Au concentrations of 2.0–7.6 g/t, with elevated gold values generally accompanied by increased As and Sb contents. A distinct positive correlation was identified between Au and As. Vertical zonation of ore mineral assemblages was established at the Ohaktosh deposit, while the oxidation zone extends to depths of approximately 3–15 m. The obtained results indicate a hydrothermal-metasomatic style of mineralization close to the orogenic type and are significant for assessing the metallogenic potential of the Daugiztav ore field and planning exploration at deeper levels.*
Keywords: *Daugiztav, Ohaktosh, Karasay, geochemical specialization, gold-silver mineralization, pyrite, arsenopyrite, sulfide minerals, Au, As, Sb, vertical zonation, oxidation zone, hydrothermal-metasomatic processes.*

Kirish. Daugiztov ma’danli maydoni Markaziy Qizilqumda joylashgan bo‘lib, Jetimtov-Beltov ma’danli maydonining tarkibiga kiradi. U Jetimtov, Beltov, Daugiztov va Amantaytov maydonlarini o‘z ichiga oladi. Hududning geologik tuzilishida paleozoy, mezokaynozoy va to‘rtlamchi davrlarning cho‘kindi, vulkanogen va intruziv tog‘ jinslari ishtirok etadi. Geologik tuzilish tavsifi asosan Buxarin A.K. (1989), qisman Voronkov A.K. (1986) va Daugiztov GQE ma’lumotlariga asoslangan.

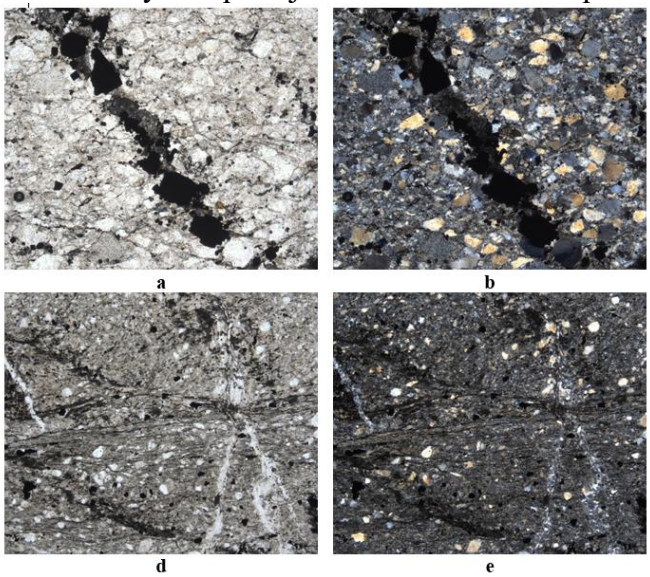
Ushbu maqolada avval nashr etilgan Ohaktosh koni [1] va Karasay ma’danli maydoni [2] bo‘yicha olingan petrografik-mineralogik ma’lumotlar umumlashtirilib, ularning geokimyoviy ixtisoslashuvi chuqurroq tahlil qilinadi. Asosiy e’tibor oltin-kumush minerallashuvining As va Sb bilan bog‘liqligi, vertikal zonallanish qonuniyatlari va oksidlanish zonasining xususiyatlariga qaratilgan.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Tadqiqotlar Markaziy Qizilqumdagi Daugiztov ma’danli maydonining Ohaktosh va Karasay konlarida olib borilgan. Geologik tuzilish tavsifi Buxarin A.K. (1989), Voronkov A.K. (1986) va Daugiztov GQE ma’lumotlariga asoslangan. Petrografik va

mineralogik tadqiqotlar anshliflar bo‘yicha o‘tkazilgan. Geokimyoviy tahlillar ICP -mass-spektrometr va probir tahlollar bilan bajarilgan. Asosiy e’tibor Au, As, Sb elementlarining taqsimlanishi, vertikal zonallanish va oksidlanish zonasining xususiyatlariga qaratilgan.

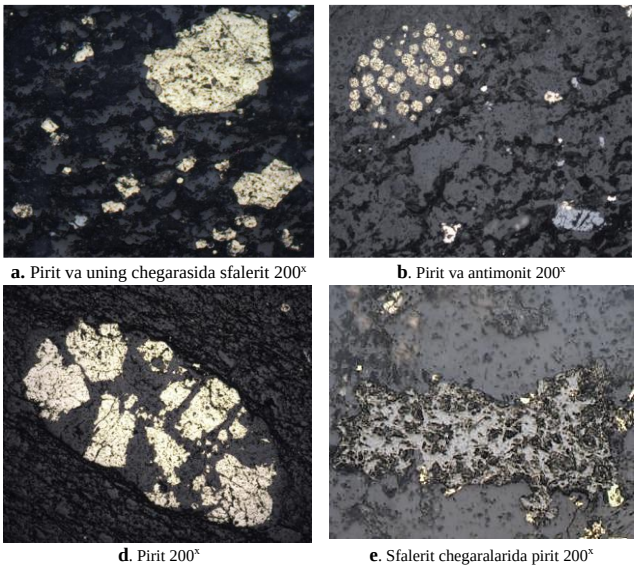
Hudud stratigrafik kesmasining mezoygacha bo‘lgan qismida Taskazgan (shartli ravishda o‘rta ordovik – yuqori kembriy) va Besapan (o‘rta ordovik – quyi silur) svitalari, quyi-o‘rta devon karbonat yotqiziqlari ajratiladi. Taskazgan svitasi terrigen-kremniy-vulkanogen va kremniy-karbonat-terrigen yotqiziqlaridan iborat, umumiy qalinligi taxminan 2 km. Besapan svitasi kesimining qalinligi 1700-1900 m. Uglerodli jinslar miqdori quyi Besapan kichik svitasida 0,59-0,9%, yuqori qismida 0,3-0,5% ni tashkil etadi, tektonik zonalarda esa 1,5-3% gacha yetadi.

Natijalar. Petrografik tadqiqotlar natijasida hududda besh asosiy tog‘ jinsi turi ajratildi: uglerodli slaneslar, slaneslashgan alevrolit, karbonatli ohaktosh, kataklazitlar va oksidlanish zonasi jinslari. Uglerodli slaneslar va alevrolit oltin uchun asosiy “tutqich” jinslar sifatida xizmat qiladi.



1-rasm. a-b-metamorflashgan tufoalevrolit 40^{x}, d-e- Tufoalevrolit bo‘yicha rivojlangan kvars-seritsitli slanes 20^{x}.

Mineralogik tadqiqotlar natijasida anshliflarda o‘n ikki xil ma’danli mineral aniqlangan: pirit (FeS_2), arsenopirit (FeAsS), xalkopirit ($CuFeS_2$), galenit (PbS), sfalerit (ZnS), antimonit (Sb_2S_3), tetraedrit, kovelin, xalkozin, bornit, getit va markazit. Ular to‘rt bosqichli mineral generatsiyalar ketma-ketligini aks ettiradi. Ohaktosh maydonida pirit ≈15-20%, arsenopirit ≈3-4%; Karasay maydonida pirit 7-10%, arsenopirit 2-3% atrofida.



a. Pirit va uning chegarasida sfalerit 200^{x} **b**. Pirit va antimonit 200^{x}

d. Pirit 200^{x} **e**. Sfalerit chegaralarida pirit 200^{x}

2-rasm. a-b-alevrolit, d-e-uglerodli slanes.

2-jadval

Tog‘ jinslaridagi elementlarning ISP mass-spektrometrik tahlil natijalari bo‘yicha korrelyatsiya koeffitsientlari %

T/p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Te	W	Au	Pb	Bi
Cu	1												
Zn	0,05	1											
As	0,07	0,01	1										
Se	0,11	0,00	0,26	1									
Mo	0,42	-0,07	-0,13	-0,03	1								
Ag	0,53	0,12	0,21	0,15	0,06	1							
Cd	0,14	0,97	-0,01	-0,03	-0,01	0,27	1						
Sb	0,29	0,02	0,33	0,17	0,08	0,26	0,09	1					
Te	0,01	-0,06	0,01	0,10	-0,05	0,00	-0,03	0,36	1				
W	0,12	-0,10	0,12	0,11	0,33	0,20	-0,06	0,38	0,28	1			
Au	0,07	0,05	0,70	0,20	-0,13	0,38	0,09	0,35	0,20	0,36	1		
Pb	0,25	0,19	0,05	-0,16	0,07	0,57	0,37	0,24	-0,10	0,02	0,31	1	
Bi	-0,04	-0,07	-0,09	-0,06	-0,01	0,09	-0,05	0,02	0,00	-0,01	0,15	0,08	1

Hududda olingan namunalarning ICP MS tahlillari va klark qiymatlariga nisbatan solishtirish natijalari hududning geokimyoviy xususiyatlari hamda ma’danlashuv jarayonlarini chuqur yoritib berishda asos bo‘lib xizmat qiladi. Ma’lumotlar oltin-polimetall tipidagi minerallashuv jarayonlari bu hududda genetik jihatdan metamorfik hamda metasomatik jarayonlar bilan chambarchas bog‘liq ekanini ko‘rsatmoqda.

ICP-mass-spektrometr tahlillari natijalariga ko‘ra, Au ning yuqori qiymatlari (2,0-7,6 g/t) qayd etilgan. Barcha yuqori oltin ko‘rsatkichlari As (770-12000 g/t) va Sb (27-6700 g/t) ning keskin ko‘tarilishi bilan birga keladi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Ohaktosh maydoni bo‘yicha vertikal zonallanish aniqlangan: 40,8-42 m da pirit va galenit (yuqori zona); 65,6 m da ignasimon pirit va arsenopirit (o‘rta zona); 70,8 m da tetraedrit va kovelin; 97 m da galenit-sfalerit assotsiatsiyasi (quyi zona). Oksidlanish zonasi 3-15 m chuqurlikkacha rivojlangan.

Keltirilgan jadvalda tog‘ jinslarida ma’danli elementlarning tarqalishidagi o‘zaro bog‘liqliklari aniqlandi (1-jadval). Shu jadval asosida 13 ta elementlarning ma’danli elementlar bilan korrelyatsiya gistogrammalari tuzildi va tahlil qilish uchun geokimyoviy ko‘rsatkichlar keltirib chiqarildi. Xususan, quyidagi juftliklar uchun, alohida elementlarning o‘zaro bog‘liqliklari mavjud ekanligi ma’lum bo‘ldi (%):

Mis (Cu) va molibden (Mo) o‘rtasida ijobiy bog‘liqlik mavjud (0,42). Bu elementlar bir xil minerallashuv jarayonlari yoki umumiy magmatik-gidrotermal manba bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Margimush (As) va oltin (Au) o‘rtasida juda yuqori ijobiy bog‘liqlik kuzatiladi (0,70). Bu holat oltin minerallashuvining arsenopirit yoki boshqa Margimushli minerallar bilan genetik jihatdan bog‘liq ekanligini ko‘rsatadi.

Mis (Cu)va kumush (Ag) o‘rtasida ijobiy bog‘liqlik mavjud bo‘lib (0,53), ularning ma’lum qismi bir xil rudalanish bosqichida to‘planganligini ko‘rsatadi.

Rux (Zn) va kadmiy (Cd) o‘rtasida juda yuqori bog‘liqlik aniqlangan (0,97). Bu kadmiyning sfalerit tarkibida izomorf qo‘shimcha sifatida uchrashi bilan izohlanadi.

Kumush (Ag) va surma (Pb) o‘rtasida ijobiy bog‘liqlik aniqlangan (0,57). Bu surmali-kumushli minerallar yoki umumiy rudalanish jarayonlari bilan izohlanishi mumkin. Bu bog‘liqliklar konning minerallashuv tipi va rudalanish jarayonlarini talqin qilishda muhim geokimyoviy mezon sifatida xizmat qiladi.

Muhokama. Olingan ma’lumotlar oltin mineralizatsiyasining As va Sb bilan genetik bog‘liqligini ko‘rsatadi. Oltin miqdori yuqori zonalarda odatda As-Sb maksimal ko‘rsatkichlar bilan uyg‘unlashgan. Bu margimush-surmali kvarc-sulfid tomirlar mavjudligini bildiradi. Vertikal zonallanish gidrotermal tizimning harorat gradiyenti bo‘yicha differentsiatsiyalanganligini ko‘rsatadi va chuqur gorizontlarda oltin-kumush mineralizatsiyasining saqlanish ehtimolini oshiradi.

Umumiy ilmiy bahoga ko‘ra, hududdagi mineralizatsiya jarayonlari gidrotermal-metasomatik (orogenetik tipga yaqin) genezisga ega. Yer yuzasiga yaqin qatlamlarda kuchli minerallashgan oltin-margimush-surma tomirlar, chuqurroq qatlamlarda esa polimetall elementlarning boyishi kuzatiladi. Bu flyuidlarning uzoq muddatli va ko‘p bosqichli ta’siridan dalolat beradi.

Xulosa. Daugiztov ma’danli maydonining Ohaktosh va Karasay konlarida o‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi: asosiy sulfid minerallar tomirsimon, massiv va uyasimon holatda uchraydi va postmagmatik jarayonlar bilan bog‘liq; oltin minerallashuvi As va Sb bilan genetik bog‘liq bo‘lib, uglerodli slaneslar va alevrolitlar kontakt zonalarida lokallashgan; vertikal zonallanish aniq ifodalangan; oksidlanish zonasi 3-15 m chuqurlikkacha rivojlangan; minerallashuv jarayonlari orogenetik tipga yaqin gidrotermal-metasomatik genezisga ega.

Umuman olganda, hududdagi minerallashuv jarayonlari orogenetik tipga yaqin gidrotermal-metasomatik genezisga ega. Olingan natijalar Daugiztov ma’danli maydonining metallogenik salohiyatini baholash va chuqur gorizontlarda qidiruv ishlarini rejalashtirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Hamrayev, A. X. (2025). Karasay ma’danli maydonining (Daugiztov tog‘lari) geologik, petrografik va mineralogik xususiyatlari. O‘zMU xabarlari. Tabiiy fanlar turkumi, 2025(3/2/1), 373–375.

[2] Hikmatov, S. I., Astanaev, X. X., & Hamrayev, A. X. (2025). Daugiztov ma’danli maydoni Ohaktosh konining geologik, petrografik va mineralogik xususiyatlari. In Geologiya, petrologiya va metallogeniyaning fundamental va amaliy muammolari (akademik I. H. Hamraboyevning 105 yilligi va akademik F. A. Usmonovning 90 yilligiga bag‘ishlangan xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari) (pp. 352–355).

[3] Бендик, А. Т. (1969). Кварц-пирит-арсенопирит-золоторудная формация. Геологическая позиция и условия формирования Мурунтауского рудного поля. In Рудные формации и основные черты металлогении золота Узбекистана. Фан.
[4] Шаякубов, Т. Ш., & Далимов, Т. Н. (Ред.). (1998). Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан. Университет.
[5] Голованов, И. М. (Ред.). (2001). Рудные месторождения Узбекистана. ГИДРОИНГЕО.
[6] Хамрабаев, И. Х. (1958). Магматизм и постмагматические процессы в Западном Узбекистане. Издательство АН УзССР.

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

Hamrayev, A. X. (2026). Daugiztov ma’danli maydoni Ohaktosh va Karasay konlarining geokimyoviy ixtisoslashuvi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.17

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 678.743

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.18

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

“UZBEKISTAN GTL” MCHJ TEXNOLOGIK CHIQINDILARINI POLIOLEFINLAR UCHUN QO‘SHIMCHA SIFATIDA QO‘LLASH



Lutfullaev Sa’dulla Shukurovich

Texnika fanlari nomzodi, professor, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: lutfullayevsadulla0@gmail.com
ORCID ID: 0009-0001-0124-7625
Science ID: FQD-0326-0058



Ismatov Baxtiyor Axmad o‘g‘li

Mustaqil tadqiqotchi, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: mrbakhtiyori@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-4421-3235
Science ID: MQD-0225-0039



Raxmatov Maxmud Ismatovich

Texnika fanlari nomzodi, dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: mahmudrahmatov76@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-0759-9841
Science ID: FQD-0426-0107

Annotatsiya. *Maqolada sanoat chiqindisi asosidagi to‘ldirilgan polimer kompozitlarda coupling agent (moslashtiruvchi qo‘shimcha) va processing aid (qayta ishlashni yengillashtiruvchi qo‘shimcha) muvozanati bo‘yicha adabiyotlar tahlil qilinadi va ushbu tajribaning “Uzbekistan GTL” MChJ ikkilamchi materiallari (mineral fraksiya va FT-wax) uchun qo‘llanilishi tekshiriladigan gipotezalar shaklida bayon etiladi. Tahlil Arjmandi va boshq. (2015)ning guruch qobig‘i bilan to‘ldirilgan polimerlar bo‘yicha sharhiga, Sarkar va boshq. (2008)ning Fischer–Tropsch sintezidagi temir katalizatorini tavsiflash ishiga, shuningdek dielektrik (Tuhkala va boshq., 2015) va akustik (Rus va boshq., 2017) qo‘llanilishdagi to‘ldirgichlar bo‘yicha ishlarga tayanadi. HDPE/guruch qobig‘i tizimida coupling agent mustahkamlikni oshirgan, lekin ekstruziya tezligini pasaytirgan; processing aid esa tezlikni oshirgan, ammo mustahkamlik va suv bardoshligini kamaytirgan; optimal nisbat 0,73 : 0,59 bo‘lgan. Shu tajriba asosida UzGTL tizimi uchun bitta qo‘llanilish sharti (H0) va to‘rtta tekshiriladigan gipoteza (H1–H4) shakllantirildi. Maqolada yangi eksperimental natija yo‘q; keltirilgan qiymatlar boshqa mualliflar ishidan olingan va UzGTL materiallariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirilmaydi.*

Kalit so‘zlar: *koupling agent, processing aid, FT-wax, mineral fraksiya, guruch qobig‘i, poliolefin, PVX, UzGTL, chiqindi to‘ldirgich.*

Received: 02.10.2026 | Accepted: 07.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ООО «UZBEKISTAN GTL» В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ

Лутфуллаев Саъдулла Шукурович

Кандидат технических наук, профессор, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Исматов Бахтиёр Ахмад угли

Независимый исследователь, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Рахматов Махмуд Исматович

Кандидат технических наук, доцент, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье анализируется литература о соотношении compatibilizer (coupling agent) и технологической добавки (processing aid) в полимерных композитах с наполнителями из промышленных отходов, а возможность применения полученных данных к вторичным материалам ООО «Uzbekistan GTL» (минеральной фракции и FT-wax) изложена в виде проверяемых гипотез. Анализ основан на обзоре Arjmandi и соавт. (2015), посвящённом полимерам, наполненным рисовой шелухой, работе Sarkar и соавт. (2008) по характеризации железного катализатора синтеза Фишера—Тропша, а также исследованиях наполнителей для диэлектрических (Tuhkala и соавт., 2015) и акустических (Rus и соавт., 2017) применений. В системе HDPE/рисовая шелуха coupling agent повышал прочность, но снижал скорость экструзии; processing aid повышал скорость экструзии, однако снижал прочность и водостойкость. Оптимальным было соотношение 0,73 : 0,59. На этой основе для системы UzGTL сформулированы одно условие применимости (H_0) и четыре проверяемые гипотезы (H_1—H_4). Статья не содержит новых экспериментальных данных; приведённые значения взяты из работ других авторов и не могут быть непосредственно перенесены на материалы UzGTL.*
Ключевые слова: *coupling agent, processing aid, FT-wax, минеральная фракция, рисовая шелуха, полиолефины, ПВХ, UzGTL, наполнитель из отходов.*

USE OF TECHNOLOGICAL WASTE OF “UZBEKISTAN GTL” LLC AS AN ADDITIVE FOR POLYOLEFINS

Lutfullaev Sadulla Shukurovich
Candidate of Technical Sciences, Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Ismatov Bakhtiyor Akhmad ugli
Independent Researcher, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Rakhmatov Makhmud Ismatovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The article reviews the balance between coupling agents and processing aids in polymer composites filled with industrial-waste fillers, and formulates the transfer of this experience to the secondary materials of “Uzbekistan GTL” LLC (mineral fraction and FT-wax) as testable hypotheses. The analysis is based on the review of rice-husk-filled polymers by Arjmandi et al. (2015), the characterization of a Fischer–Tropsch iron catalyst by Sarkar et al. (2008), and studies on fillers for dielectric (Tuhkala et al., 2015) and acoustic (Rus et al., 2017) applications. In HDPE/rice husk systems, the coupling agent increased strength but reduced extrusion rate, whereas the processing aid increased the rate but reduced strength and water resistance; the reported optimum ratio was 0.73 : 0.59. On this basis, one applicability condition (H0) and four testable hypotheses (H1–H4) were formulated for the UzGTL system. The article presents no new experimental data; the values cited come from other authors and are not transferred directly to UzGTL materials.*
Keywords: *coupling agent, processing aid, FT-wax, mineral fraction, rice husk, polyolefins, PVC, UzGTL, waste filler.*

Kirish. Avvalgi chop etilgan ilmiy maqolalarda [1] “Uzbekistan GTL” MChJ texnologik chiqindilarini mineral fraksiya va uglevodorodli fraksiya (FT-wax)ga ajratish taklif etilgan; ularni tavsiflash va kompozitlarni sinash protokoli esa alohida tayyorlanmoqda. Bu yondashuvda fraksiyalar asosan alohida ko‘rilgan. Amalda esa to‘ldirgich, wax va moslashtiruvchi qo‘shimcha bitta suyuqlanma ichida uchrashadi va ularning ta’siri bir-biriga bog‘liq bo‘ladi.

Bu bog‘liqlik guruch qobig‘i (RH) bilan to‘ldirilgan polimerlarda yaxshi hujjatlashtirilgan: coupling agent to‘ldirgich–matritsa adgeziyasini yaxshilab mustahkamlikni oshiradi, lekin ekstruziya tezligini pasaytiradi; processing aid tezlikni tiklaydi, ammo mustahkamlik va suv bardoshligini kamaytirishi mumkin [2, 8, 9]. Arjmandi va boshq. sharhining xulosasiga ko‘ra, hozirgacha RH bilan to‘ldirilgan kompozitlarda matritsa sifatida asosan bitta polimer ishlatilgan, polimer aralashmalari va

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ikkilamchi to‘ldirgichlar kam o‘rganilgan [2].

Guruch qobig‘i va kuli. Guruch qobig‘i guruch tozalashda ajralib chiqadigan arzon yon mahsulot bo‘lib, har bir tonna guruchga taxminan 0,23 t qobiq to‘g‘ri keladi [2]. U lignotsellyulozali material: tsellyuloza 25–35%, gemitsellyuloza 18–21%, lignin 26–31%, kremnezyom (SiO_2) 15–17%, namlik 5–10% [2]. Qobiq ochiq havoda yondirilganda ikki xil kul hosil qiladi: oq (WRHA) va qora (BRHA). Ularning tarkibi keskin farq qiladi (1-jadval): oq kulda SiO_2 92,2%, qora kulda 53,9%, qizdirishdagi yo‘qotish (LOI) esa mos ravishda 1,62% va 44,48% [2].

1-jadval

Guruch qobig‘i va uning kuli hamda UzGTL mineral fraksiyasi uchun aniqlanishi kerak bo‘lgan ko‘rsatkichlar

Ko‘rsatkich	RH	WRHA	BRHA	UzGTL mineral fraksiyasi
SiO_2, %	15–17	92,2	53,9	XRF (eritilgan tabletka)
Al_2O_3, %	—	0,025	0,023	XRF
CaO, %	—	0,360	0,120	XRF
Fe_2O_3, %	—	0,041	0,022	XRF (temirli fazalar uchun XRD ham)
K_2O, %	—	0,690	0,950	XRF
LOI, %	—	1,62	44,48	LOI (950–1000 °C)
Zarracha o‘lchami, μm	26,64	6,60	19,50	PSD (lazer difraksiyasi)
Solishtirma sirt, m^2/g	0,92	1,40	26,80	BET
Zichlik, g/sm^3	1,00	2,20	1,80	Geliy piknometriyasi

Izoh: *sharh matnida oq kulda “taxminan 95 % silika” deyilgan, jadvalda esa 92,2 %; bu maqolada jadval qiymati olindi.*

Bu jadvaldan ikki xulosa chiqadi. Birinchidan, bir xil chiqindidan termik ishlov sharoitiga qarab mutlaqo boshqa to‘ldirgich olinadi: qora kulda ko‘p uglerod bor, solishtirma sirt esa 19 barobar katta (26,80 va 1,40 m^2/g). Bu UzGTL ikkilamchi oqimini ham xuddi shunday, kelib chiqishi va termik tarixi bilan birga tavsiflash zarurligini ko‘rsatadi. Ikkinchidan, RH kulidan olingan silika tijorat silikaga nisbatan mayda (4,27 va 6,61 μm), lekin solishtirma sirti ancha kichik (131,35 va 511,97 m^2/g) va zichroq (0,677 va 0,319 g/sm^3); shu sababli LDPE plyonkasida antiblok sifatida 2000–3000 ppm kerak bo‘lgan, tijorat silika uchun esa 500–1500 ppm yetgan [2]. Demak, zarracha o‘lchamining o‘zi yetarli emas, PSD va BET birga o‘lchanishi kerak, bu rejalashtirilgan tavsiflash protokolidagi yondashuvga mos keladi.

UzGTL mineral fraksiyasi bilan o‘xshashlik va farq:

- **O‘xshashlik:** agar mineral fraksiya silikat yoki oksid asosli bo‘lsa, uning sirti ham qutbli (gidroksil guruhlari bor) va qutbsiz poliolefin bilan adgeziyasi kuchsiz bo‘lishi kutiladi. RH kompozitlarida shunday muammo kuzatilgan: qutbli to‘ldirgich va qutbsiz matritsa orasida bo‘shliqlar paydo bo‘ladi va zarrachalar aglomeratlanadi [2, 17].

- **Farq:** RH organik (lignotsellyuloza, namlik 5–10 %), UzGTL fraksiyasi esa noorganik bo‘lishi mumkin. Shuning uchun tolaning nisbati (aspekt koeffitsienti) bilan bog‘liq effektlar, masalan Ismail va boshq. WRHA modulini oshishini uning yuqori aspekt nisbatiga bog‘lagan [11], UzGTL uchun ko‘chirilmaydi.

- **Noma’lum:** UzGTL fraksiyasida Al_2O_3, temir oksidlari yoki katalizator qoldiqlari bo‘lishi mumkin (4-bo‘lim). Analogiya faqat XRF/XRD natijalari SiO2-ning ustunligini ko‘rsatsa qo‘llanadi (H0 sharti, 5-bo‘lim).

Boshqa sohalar: dielektrik va akustik qo‘llanilish. Sarlavhadagi “kompleks xossalar” faqat mexanik xossalarni bildirmaydi. Tuhkala va boshq. polimer–keramika kompozitlarida to‘ldirgichni tanlash uchun aralashtirish qoidalarini qo‘llagan [4]. Looyenga formulasi effektiv dielektrik singdiruvchanlikni to‘ldirgichning hajmiy ulushi f orqali beradi:

$$\varepsilon_{eff}^{1/3} = (1 - f)\cdot\varepsilon_m^{1/3} + f\cdot\varepsilon_f^{1/3} \quad (1)$$

bunda ε_m va ε_f — matritsa va to‘ldirgichning singdiruvchanligi [4]. Ishdagi kirish qiymatlari (PTFE matritsa 2,1; SiO_2 3,9) bilan f = 0,55 da $\varepsilon_{eff} \approx$ 3,0 chiqadi va bu ishdagi natijaga mos keladi; f = 0,30 da ≈ 2,56. Bu UzGTL ma’lumoti emas, faqat formula ishlashining namunasi. Ishdan uch tajriba xulosasi muhim: (a) past singdiruvchanlikli to‘ldirgich (SiO_2) ε_{eff} = 3 da Al2O3-ga nisbatan ancha kichik dielektrik yo‘qotish bergan ($2{,}5\cdot10^{-4}$ va $1{,}2\cdot10^{-3}$), garchi kattaroq ulush (0,55 va 0,19) talab qilgan bo‘lsa ham; (b) juda yuqori ulush moslashuvchanlik va chidamlilikni yomonlashtirishi mumkin; (c) kukun to‘ldirgichning xossalari namlik yutilishi va qo‘shimchalar tufayli sezilarli o‘zgaradi [4]. Oxirgi xulosa UzGTL fraksiyasini quritilgan holda saqlash

va tavsiflash zarurligini tasdiqlaydi.

Rus va boshq. yog‘och kukuni va chiqindi shina rezinasidan iborat gibrid to‘ldirgichni (2,5–10 mas. %) chiqindi pishirish yog‘idan olingan bio-polimer ko‘pikka qo‘shib, ovoz yutish koeffitsientini 0,963 gacha yetkazgan [5]. Bu tizim (poliuretan ko‘pik) poliolefin kompozitiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘xshamaydi; u faqat chiqindi to‘ldirgichlar mexanikadan tashqari funksional xossalar uchun ham ishlatilishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Coupling agent va processing aid tajribasi (pe, pp, pvx). HDPE/guruch qobig‘i. Panthapulakkal va boshq. HDPE/RH (32,5 : 65 mas. %) profillarida to‘rt xil coupling agent (2,5 mas. %) ni sinagan [8]. Coupling agentsiz namunada cho‘zilishdagi mustahkamlik 13,5 MPa, egilishdagi mustahkamlik 33,5 MPa bo‘lgan; coupling agentlar ularni sezilarli oshirgan (2-jadval, 1-rasm). Eng yaxshisi glisidilmetakrilatli (EGMA1) bo‘lgan: cho‘zilishda 22,5 MPa (+66,7%), egilishda 49,6 MPa (+48,1%). Coupling agentlar suv shimuvchanlikka va issiqlik deformatsiyasiga chidamlilikni oshirgan, lekin ekstruziya tezligini sezilarli kamaytirgan [8].

2-jadval

HDPE/RH (32,5 : 65 mas. %) da coupling agentlar ta’siri

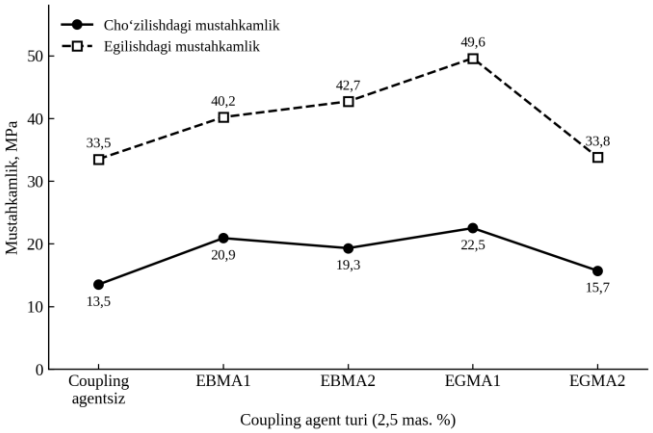
Coupling agent (2,5 %)	Tarkibi	Cho‘zilish, MPa	Δ, %	Egilish, MPa	Δ, %
Yo‘q	—	13,5	—	33,5	—
EBMA1	butilakrilat 6 %, maleik angidrid 3,1 %; M = 120 000	20,9	+54,8	40,2	+20,0
EBMA2	butilakrilat 17,7 %, maleik angidrid 3,1 %; M = 120 000	19,3	+43,0	42,7	+27,5
EGMA1	glisidilmetakrilat 8 %; M = 100 000	22,5	+66,7	49,6	+48,1
EGMA2	metilakrilat 15 %, glisidilmetakrilat 9 %	15,7	+16,3	33,8	+0,9

$$\Delta = (P_c - P_0) / P_0 \times 100\ \% \qquad (2)$$

bunda P_c — coupling agentli, P_0 — coupling agentsiz namunaning ko‘rsatkichi.

Ikkinchi ishda [9] processing aid kiritilgan. Terpolimer coupling agent cho‘zilish va egilishdagi mustahkamlikni hamda suv shimuvchanlikka bardoshlikni oshirgan, ammo qayta ishlash tezligini keskin kamaytirgan.

Mustapa va boshq. ishida 30 mas. % RH li PP-ga 4 mas. % MAPP qo‘shilganda egilishdagi mustahkamlik 35% oshgan, ammo egilish moduli va zarba mustahkamligi kamaygan; 20 mas. % etilen–1-oktan kopolimeri (EOC) zarba mustahkamligini oshirgan, lekin egilish modulini pasaytirgan [12]. Premalal va boshq. RH kukuni va talk bilan to‘ldirilgan PP-ni solishtirgan: talkli kompozitlar oson qayta ishlangan va mustahkamroq bo‘lgan, RH kukunli namunalarda qutbli to‘ldirgich va qutbsiz matritsa orasida bo‘shliqlar hamda aglomeratlar kuzatilgan [17]. Ismail va boshq. umumiy 40 mas. % to‘ldirgichli PP/silika/WRHA gibridida WRHA ulushi ortishi bilan modul oshganini, silika ulushi ortishi bilan esa cho‘zilishdagi mustahkamlik va uzayish ortganini, silikaning PP bilan adgeziyasi WRHA nikidan yaxshi ekanini topgan [11].



1-rasm. HDPE/RH kompozitlarining mustahkamligi (Arjmandi [2] sharhidagi 6-jadval ma’lumotlari asosida chiziqli grafik shaklida qayta chizilgan).

PVX. Ahmad va boshq. zarba modifikatorli PVX-U-ga 10–40 phr RH qo‘shganlar: RH ulushi ortishi bilan egilish va cho‘zilish moduli oshgan, egilishdagi mustahkamlik 20 phr gacha oshgan, cho‘zilishdagi va zarba mustahkamligi esa kamaygan; 8 phr akril zarba modifikatori va 20 phr RH bikrlik va qayishqoqlik muvozanati uchun eng yaxshisi bo‘lgan [13]. Hassan va Sivaneswaran ABS bilan modifikatsiyalangan PVX-U-da 10 phr RHA suyuqlanish vaqtini qisqartirgan va suyuqlanish momentini oshirgan, 20 phr-da esa oxirgi moment to‘ldirilmagan namunadan past bo‘lgan; sirkonat bilan ishlangan namunalarda suyuqlanish vaqti uzoqroq, moment past bo‘lgan [14]. Chand va Jhod PVX/RH kukunida cho‘zilishdagi mustahkamlik 33,9 dan 19,5 MPa gacha kamayganini, MAPP bilan ishlangan RH

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

mustahkamlikni oshirganini ko‘rsatgan [15]; Chand va boshq. mustahkamlik va tribologik xossalar uchun optimal ulush 10 mas. % ekanini topgan [16].

Xorijiy olimlar tomonidan olingan natijalar umumlashtirilgan holda 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

RH bilan to‘ldirilgan poliolefin va PVX-da coupling agent / processing aid tajribasi va UzGTL uchun ahamiyati

Tizim	Manba	Kuzatilgan ta’sir	UzGTL uchun ahamiyati
HDPE/RH (65 %)	Panthapulakkal [8]	Coupling agent mustahkamlikni oshirgan (+16…+67 %), ekstruziya tezligini kamaytirgan	H1: coupling agent
HDPE/RH (65 %)	Panthapulakkal [9]	Processing aid tezlikni oshirgan, mustahkamlik va suv bardoshligini kamaytirgan; optimum 0,73 : 0,59	H2, H3: FT-wax processing aid sifatida
HDPE/RH	Rahman [10]	Oqim tezligi RH ulushi bilan kamaygan; quyi chegara 4 g/10 daq.; yirik zarracha (250–500 μm) mos	MFR maqsad mezoni; zarracha o‘lchami
PP/RH	Mustapa [12]	4 % MAPP: egilishdagi mustahkamlik +35 %, modul va zarba kamaygan	H1: mustahkamlik va zarba orasidagi kelishuv
PP/silika/WRHA	Ismail [11]	Silika PP bilan WRHA-dan yaxshi adgeziya bergan; modul WRHA ulushi bilan oshgan	Silikaga o‘xshash mineral uchun H0
PVX-U/RH	Ahmad [13]	Egilishda mustahkamlik 20 phr gacha oshgan; cho‘zilish va zarba kamaygan; 8 phr modifikator + 20 phr RH muvozanat	H4
PVX-U/RHA	Hassan [14]	10 phr-da suyuqlanish vaqti qisqa, moment yuqori; 20 phr-da moment past	H4: qayta ishlash
PVX/RH	Chand [15, 16]	Cho‘zilishda mustahkamlik 33,9 → 19,5 MPa; MAPP yaxshilagan; optimum 10 mas. %	H4: ulush
rHDPE/rPET/RH	Chen [18]	E-GMA suv shimuvchanlikni va diffuziya koeffitsientini kamaytirgan	H1: suv shimuvchanlik

Bu ma’lumotlarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri solishtirib bo‘lmaydi: turli mualliflar RH-ning turli ulushi (10 phr-dan 65 mas. % gacha), turli o‘lcham va turli ishlov bilan ishlagan. Shuningdek, [9] da “processing aid” umumiy qo‘shimcha sifatida ko‘rsatilgan; uning FT-waxga o‘xshashligi tasdiqlanmagan. Shuning uchun quyida bu tajriba gipoteza sifatida ishlatiladi, isbot sifatida emas. Sharhning umumiy xulosasi ham shuni ko‘rsatadi: coupling agent/kompatibilizator odatda ≈5 mas. % dan oshmagan miqdorda ishlatilgan, hozirgacha bitta polimer matritsa ko‘proq o‘rganilgan [2].

UzGTL chiqindisining kelib chiqishi va tavsiflash usullari:

Slurry-fazali FT sintezida wax va katalizator. Sarkar va boshq. ishida temir katalizator (~55 g) 150 °C-da eritilgan Polywax 3000 (310 g)ga solinib, taxminan 15 mas. % qattiq moddali suspenziya hosil qilingan; sintez 1 L CSTR reaktorida 270 °C, 175 psig, H_2/CO = 0,7 da o‘tkazilgan [3]. Mahsulotlar rewax, wax, moy va suvli fraksiyalarga ajratilgan; reaktordagi wax (rewax) 0,5 μm filtrli quvur orqali chiqarilgan, katalizator/wax suspenziyasi namunalari esa alohida quvur orqali olingan; wax faol katalizatorni havoda oksidlanishdan himoya qilgan [3]. Demak, slurry-fazali jarayonlarda wax va katalizator qattiq zarrachalari bir muhitda uchraydi, va “katalizator mayda zarrachalari bor wax” ikkilamchi oqimi bo‘lishi mumkin. Bu taxmin: UzGTL-da reaktor turi, katalizator, waxni filtrlash va ajratish sxemasi korxonadan aniqlanishi shart.

4-jadval

Temir fazalari, 300 K

Namuna	Sintez vaqti	Temirning fazaviy tarkibi, %
Rb-siz (S1)	0 (24 soat CO-dan keyin)	85 χ-Fe_5C_2; 15 superparamagnit (20 K-da Fe_3O_4)
Rb-siz (S3)	481,6 soat	93 Fe_3O_4; qolgani karbid
5RbC (S4)	0 (24 soat CO-dan keyin)	73 Fe_3O_4; 15 χ-Fe_5C_2; 12 superparamagnit
5RbC (S6)	361,7 soat	13 χ-Fe_5C_2; 82 ε′-$Fe_{2,2}C$; 5 superparamagnit

Muhim cheklov. Sarkar ishi laboratoriya miqyosidagi Rb bilan promotirlangan temir katalizator (Fe : Si = 100 : 4,6, K_2CO_3 va Cu qo‘shilgan) haqida [3]. UzGTL-da aynan qanday katalizator ishlatilishi bu manbadan bilinmaydi; boshqa turdagi (masalan, kobaltli) katalizatorlar uchun alohida manbalar kerak. Shuning uchun quyidagi tahlil UzGTL katalizatori temir asosli bo‘lsa qo‘llanadigan misol sifatida o‘qilishi lozim.

Temir fazalari va ularning o‘zgarishi. Mössbauer spektroskopiyasi katalizator tarkibidagi temir fazalarini (magnetit Fe_3O_4, χ-Fe_5C_2, ε′-$Fe_{2,2}C$) aniqlagan [3]. Rb-siz katalizatorda CO-ning konversiyasi 300 soatda 85% dan 10% gacha, 5RbC katalizatorda 600 soatda taxminan 48% dan 25% gacha kamaygan (kuniga 3,12% va 0,97%); karbid

miqdori faollikka mos kelgan [3]. 4-jadvaldagi namunalar fazalar sintez davomida qanday o‘zgarishini ko‘rsatadi.

XANES o‘lchashlari Rb-ning oksidlangan (+1) holatda ekanini va uning birikmasi Rb2CO3-ga o‘xshashligini ko‘rsatgan [3]. Xulosa: agar katalizator temir asosli bo‘lsa, ishlatilgan material kremnezyomli RHA-dan farqli o‘laroq temir oksidlari/karbidlari, ishqoriy karbonatlar va silika aralashmasi bo‘lishi mumkin. Bunday material rangli, magnit xossali va kimyoviy faol bo‘lishi kutiladi, bu polimerdagi adgeziyaga va termik barqarorlikka ta’sir qilishi mumkin (taxmin).

Tavsiflash usullari: Sarkar va UzGTL protokoli.

5-jadval

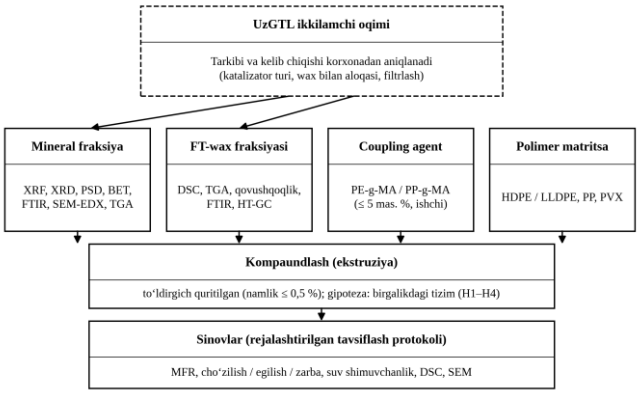
Sarkar ishidagi usullar va rejalashtirilgan protokol bilan solishtirish

Usul [3]	Nimani aniqlaydi	Rejalashtirilgan protokoldagi analogi	Izoh
Mössbauer (300 va 20 K)	Temir fazalari: oksid, karbid, superparamagnit	XRD (faza), XRF (Fe miqdori)	Maxsus qurilma; XRD-ni alternativa sifatida qo‘llash mumkin
XANES / EXAFS (Fe va Rb K-chegarasi)	Oksidlanish holati, koordinatsiya	FTIR, XRD; yuvilish sinovi	Sinxrotron talab qilinadi; odatda mavzudan tashqari
CSTR sinovi, GC	Katalitik faollik, mahsulot tarkibi	HT-GC (wax tarkibi)	Wax tavsifi uchun kerak
Namuna: katalizator/wax suspenziyasi	Wax himoyalovchi qatlam	Namuna pasporti, xavfsizlik skrining	Faol material havoda reaksiyaga kirishishi mumkin; korxona xavfsizlik ma’lumotiga qarab ishlanadi

Amaliy tavsiya: birinchi bosqichda XRF, XRD, PSD, BET va TGA kifoya qiladi; ular temir fazalari, kremnezyom va uglerod ulushini baholash imkonini beradi. Og‘ir metallar uchun EN 12457-2 bo‘yicha yuvilish sinovi majburiy. Mössbauer va XANES faqat aniq javob talab qilinsa (masalan, magnetit va karbidni ajratish) ko‘rib chiqiladi.

Mineral to‘ldirgich, ft-wax va coupling agent birgalikdagi tizimi. Yuqoridagi tahlil asosida 6-jadvaldagi shart va gipotezalar shakllantirildi. Ularning har biri tajribada rad etilishi mumkin bo‘lgan shaklda yozilgan; tizim tuzilmasi 2-rasmda keltirilgan.

Taklif etilgan tajriba sxemasi. 0-bosqich: rejalashtirilgan protokol bo‘yicha mineral fraksiya va wax tavsifi (H0 tekshiruvi va xavfsizlik skrining). 1-bosqich: HDPE yoki LLDPE matritsada mineral to‘ldirgich ulushini bir darajada (ishchi qiymat: 20 mas. %) ushlab, coupling agent (0; 2,5; 5 mas. %) va FT-wax (0; 2,5; 5; 10 mas. %)ning ikki omilli to‘liq faktorial tajribasi. Har bir kombinatsiya uchun MFR, cho‘zilish, egilish, zarba, suv shimuvchanlik, DSC (kristallilik) va sinish yuzasi SEM-si o‘lchanadi; natijalar tavsiflash protokolidagi statistik qoidalar ($n \geq 5$, ANOVA, $\alpha=0,05$) bilan qayta ishlanadi. 2-bosqich: PP va PVX (H4). Diapazonlar RH adabiyotiga [2, 8, 9] tayanadi va pilot sinovda aniqlashtiriladi.



2-rasm. UzGTL mineral fraksiyasi, FT-wax va coupling agentning birgalikdagi tizimi (taklif etilgan sxema).

6-jadval

Shart va gipotezalar

№	Gipoteza	Asos	Tekshirish va rad etish mezoni
H0	UzGTL mineral fraksiyasi silikat/oksid asosli va sirti qutbli bo‘lsa, RH kuli/silika analogiyalari qo‘llanadi (shart)	[2, 11]	XRF: SiO_2 ustun; XRD; BET. SiO_2 ustun bo‘lmasa (masalan, temirli fazalar ko‘p) H1–H4 qayta ko‘riladi
H1	Poliolefinda coupling agent (≤5 mas. %) kompatibilizatorsiz namunaga nisbatan cho‘zilish va egilishdagi mustahkamlikni oshiradi, suv shimuvchanlikni kamaytiradi	[2, 8, 12, 18]	Cho‘zilish/egilish: ortish $p < 0,05$ (ANOVA, $n \geq 5$); ISO 62. Ortmasa rad etiladi
H2	FT-wax erish oqimini (MFR) oshiradi, bunda mustahkamlik/bikrlik pasayishi va suv shimuvchanlik ortishi mumkin	[1, 6, 7, 9]	MFR (ISO 1133-1) ortishi; mexanik va W o‘zgarishi. MFR o‘zgarmasa rad etiladi
H3	Coupling agent : FT-waxnisbatida MFR va mustahkamlik ishchi maqsad qiymatlaridan past tushmaydigan “optimum oyna” mavjud; 0,73 : 0,59 [9] faqat boshlang‘ich reper	[9]	Ikki omilli tajriba (qarang 5.1); oyna topilmasa rad etiladi
H4	PVX-da past ulush (≈10 phr/mas. %) eng yaxshi muvozanat beradi; zarba modifikatori yoki kompatibilizator bilan yuqori ulushda ham muvozanatga erishish mumkin	[13–16]	Ulush qatori 0–30; cho‘zilish, zarba, suyuqlanish momenti; monoton pasayish bo‘lsa modifikatorga o‘tiladi

Xulosa. Guruch qobig‘i bilan to‘ldirilgan polimerlar bo‘yicha adabiyot coupling agent va processing aid orasida aniq kelishuv borligini

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ko‘rsatadi: coupling agent mustahkamlikni oshiradi, lekin ekstruziya tezligini pasaytiradi, processing aid esa tezlikni oshiradi, lekin mustahkamlik va suv bardoshligini kamaytirishi mumkin. HDPE/RH tizimida optimal nisbat 0,73 : 0,59 bo‘lgan [2, 9]. Sharh mualliflari polimer aralashmalari va ikkilamchi to‘ldirgichlar kam o‘rganilganini ta’kidlagan [2]; bu UzGTL mineral fraksiyasi va FT-waxni birgalikda o‘rganish uchun ilmiy bo‘shliqni ko‘rsatadi.

RH kuli bilan mineral fraksiya orasidagi analogiya faqat fraksiya silikat asosli bo‘lsagina o‘rinli; buni XRF va XRD aniqlaydi. Agar UzGTL ikkilamchi oqimi temir asosli katalizator qoldig‘ini o‘z ichiga olsa [3], u RHA-dan sezilarli farq qilishi mumkin va xavfsizlik (og‘ir metallar, yuvilish) alohida baholanishi kerak.

Maqolada bitta shart (H0) va to‘rtta tekshiriladigan gipoteza (H1–H4) shakllantirildi hamda ikki omilli tajriba sxemasi taklif etildi. Keyingi qadamlar: (1) korxonadan chiqindi oqimining kelib chiqishi va katalizator turi haqida ma’lumot olish; (2) rejalashtirilgan protokol bo‘yicha tavsiflash (XRF, XRD, PSD, BET, TGA); (3) H1–H3-ni HDPE/LLDPE-da, so‘ng H4-ni PP va PVX-da tajribada tekshirish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Ismatov, B. A., & Lutfullayev, S. Sh. (2026). “Uzbekistan GTL” MChJ texnologik chiqindilarini modifikatsiya qilish orqali kompleks xossalarga ega bo‘lgan polimer kompozitsion materiallar olish va qo‘llash. Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences, 6(6), 360–375.
[2] Arjmandi, R., Hassan, A., Majeed, K., & Zakaria, Z. (2015). Rice husk filled polymer composites. International Journal of Polymer Science, Article ID 501471.
[3] Sarkar, A., Jacobs, G., Ji, Y., Hamdeh, H. H., & Davis, B. H. (2008). Fischer–Tropsch synthesis: Characterization of Rb promoted iron catalyst. Catalysis Letters, 121, 1–11. https://doi.org/10.1007/s10562-007-9288-1
[4] Tuhkala, M., Juuti, J., Teirikangas, M., & Jantunen, H. (2015). Polymer-ceramic composite filler selection using mixing rules. Journal of Applied Physics, 117, 064103. https://doi.org/10.1063/1.4908012
[5] Rus, A. Z. M., Azahari, M. S. M., Kormin, S., Soon, L. B., Zaliran, M. T., & Sadrina, M. F. L. (2017). Hybrid waste filler filled bio-polymer foam composites for sound absorbent materials. AIP Conference Proceedings, 1877, 060004. https://doi.org/10.1063/1.4999883
[6] Mhlabeni, T., Ngobese, C., Ramjee, S., & Focke, W. (2024). Rheological characterization of linear low-density polyethylene–Fischer–Tropsch wax blends. Journal of Vinyl and Additive Technology, 29(4), 698–708. https://doi.org/10.1002/vnl.21984
[7] Mhlabeni, T., Ramjee, S., López, J., Díaz-Díaz, A.-M., Artiaga, R., & Focke, W. (2024). Thermal and rheological properties of Fischer–Tropsch wax/high-flow LLDPE blends. Macromolecular Materials and Engineering, 309(8), 2300125. https://doi.org/10.1002/mame.202300125
[8] Panthapulakkal, S., Sain, M., & Law, S. (2005). Effect of coupling agents on rice-husk-filled HDPE extruded profiles. Polymer International, 54(1), 137–142.
[9] Panthapulakkal, S., Law, S., & Sain, M. (2005). Enhancement of processability of rice husk filled high-density polyethylene composite profiles. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 18(5), 445–458.
[10] Rahman, W. A. W. A., Isa, N. M., Rahmat, A. R., Adenan, N., & Ali, R. R. (2010). Rice husk/high density polyethylene bio-composite: Effect of rice husk filler size and composition on injection molding processability with respect to impact property. Advanced Materials Research, 83–86, 367–374.
[11] Ismail, H., Hong, H. B., Ping, C. Y., & Abdul Khalil, H. P. S. (2003). Polypropylene/silica/rice husk ash hybrid composites: A study on the mechanical, water absorption and morphological properties. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 16(2), 121–137.

[12] Mustapa, M. S. E., Hassan, A., & Rahmat, A. R. (2005). Preliminary study on the mechanical properties of polypropylene rice husk composites. In Proceedings of the Simposium Polimer Kebangsaan (pp. 185–191).
[13] Ahmad, M., Rahmat, A. R., & Hassan, A. (2010). Mechanical properties of unplasticised PVC (PVC-U) containing rice husk and an impact modifier. Polymers & Polymer Composites, 18(9), 527–536.
[14] Hassan, A., & Sivaneswaran, K. (2002). The effect of rice husk ash fillers on processability of ABS impact modified PVC-U. In Proceedings of the 3rd National Symposium on Polymeric Materials (pp. 174–179).
[15] Chand, N., & Jhod, B. D. (2008). Mechanical, electrical, and thermal properties of maleic anhydride modified rice husk filled PVC composites. BioResources, 3(4), 1228–1243.
[16] Chand, N., Sharma, P., & Fahim, M. (2010). Tribology of maleic anhydride modified rice-husk filled polyvinylchloride. Wear, 269(11–12), 847–853.
[17] Premalal, H. G. B., Ismail, H., & Baharin, A. (2002). Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites. Polymer Testing, 21(7), 833–839.
[18] Chen, R. S., Ab Ghani, M. H., Salleh, M. N., Ahmad, S., & Tarawneh, M. A. (2015). Mechanical, water absorption, and morphology of recycled polymer blend rice husk flour biocomposites. Journal of Applied Polymer Science, 132(8), 1–12.

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

Lutfullayev, S. Sh., Ismatov, B. A., & Raxmatov, M. I. (2026). “Uzbekistan GTL” MChJ texnologik chiqindilarini poliolefinlar uchun qo‘shimcha sifatida qo‘llash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.18

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

KIMYOVIY TEXNOLOGIYA VA QURILISH
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО
CHEMICAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

UO‘K: 620.9:004.89 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.19

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

INTEGRATSIYALASHGAN ENERGETIKA MODELLARI UCHUN MA’LUMOTLARNI TEKSHIRISH VA UYG‘UNLASHTIRISH: NASA POWER VA ERA5 MA’LUMOTLARI MISOLIDA



Abduraximov Shohzod Abduaxad o‘g‘li
O‘qituvchi, Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: shaxzodbek@internet.ru
ORCID ID: 0009-0003-2444-5995
Science ID: MQD-0725-0004

Annotatsiya. *Maqolada qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini uzoq muddatli modellashtirishda turli manbalardan olinadigan meteorologik ma’lumotlarni tekshirish, standartlashtirish va o‘zaro uyg‘unlashtirish masalalari tadqiq etilgan. Ma’lumotlarni dastlabki sifat nazoratidan o‘tkazish, o‘lchov birliklarini standartlashtirish, vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish, fazoviy moslashtirish hamda RMSE, MAE va Bias ko‘rsatkichlari asosida statistik baholashni o‘z ichiga oluvchi metodologik ketma-ketlik taklif qilingan. Tadqiqotda 2026-yil avgust oyida Toshkent, Samarqand, Buxoro, Qarshi va Navoiy shaharlari bo‘yicha NASA POWER va ERA5 ma’lumotlarining quyosh radiatsiyasi, havo harorati va shamol tezligi ko‘rsatkichlari taqqoslangan. Quyosh radiatsiyasi bo‘yicha nisbiy o‘rtacha mutlaq farq 2,79–3,82% oralig‘ida bo‘lib, ikki manba o‘rtasida nisbatan yuqori moslik aniqlangan. Harorat bo‘yicha RMSE 1,03–3,06 °C, shamol tezligi bo‘yicha esa 0,84–1,91 m/s oralig‘ida qayd etilgan. Natijalar turli meteorologik parametrlarni yagona aniqlik darajasida qabul qilish mumkin emasligini va integratsiyalashgan energetika modellariga kiritishdan oldin har bir parametrni alohida tekshirish zarurligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan yondashuv keyinchalik milliy kuzatuv ma’lumotlarini xalqaro ma’lumotlar bilan uyg‘unlashtirish va yagona ishonchli ma’lumotlar to‘plamini shakllantirish uchun metodologik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.*

Kalit so‘zlar: *integratsiyalashgan energetika modeli, qayta tiklanuvchi energetika, NASA POWER, ERA5, ma’lumotlarni tekshirish, ma’lumotlarni uyg‘unlashtirish, quyosh radiatsiyasi, havo harorati, shamol tezligi, RMSE, MAE, Bias, fazoviy-vaqtinchalik ma’lumotlar.*

Received: 29.09.2026	Accepted: 08.10.2026	Issue publication: 10.10.2026

ВАЛИДАЦИЯ И ГАРМОНИЗАЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ: НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ NASA POWER И ERA5

Абдурахимов Шохзод Абдуахад угли
Преподаватель, Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы вопросы проверки, стандартизации и гармонизации метеорологических данных из различных источников, используемых при долгосрочном моделировании систем возобновляемой энергетики. Предложена методологическая последовательность, включающая первичный контроль качества данных, стандартизацию единиц измерения, временную синхронизацию, пространственное согласование и статистическую оценку с использованием показателей RMSE, MAE и Bias. На примере данных NASA POWER и ERA5 за август 2026 года проведено сопоставление солнечной радиации, температуры воздуха и скорости ветра для Ташкента, Самарканда, Бухары, Карши и Навои. Относительное среднее абсолютное расхождение по солнечной радиации составило 2,79–3,82%, что свидетельствует о сравнительно высокой согласованности двух источников. Значения RMSE для температуры воздуха находились в пределах 1,03–3,06 °C, а для скорости ветра — 0,84–1,91 м/с. Полученные результаты показывают, что степень согласованности источников зависит от конкретного метеорологического параметра, поэтому перед использованием данных в интегрированных энергетических моделях необходима их отдельная проверка и статистическая оценка. Предложенный подход может служить методологической основой для последующего сопоставления и гармонизации международных данных с национальными наблюдениями.*

Ключевые слова: *интегрированные энергетические модели, возобновляемая энергетика, NASA POWER, ERA5, валидация данных, гармонизация данных, солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветра, RMSE, MAE, Bias, пространственно-временные данные.*

DATA VALIDATION AND HARMONIZATION FOR INTEGRATED ENERGY MODELS: A CASE STUDY USING NASA POWER AND ERA5 DATA

Abduraximov Shohzod Abduaxad ugli
Lecturer, Karshi State University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The article investigates the validation, standardization, and harmonization of meteorological data from different sources for long-term modeling of renewable energy systems. A methodological workflow is proposed that includes preliminary quality control, unit standardization, temporal synchronization, spatial matching, and statistical assessment using RMSE, MAE, and Bias. NASA POWER and ERA5 data for August 2026 were compared for Tashkent, Samarkand, Bukhara, Karshi, and Navoi using three key parameters: solar radiation, air temperature, and wind speed. The relative mean absolute difference for solar radiation ranged from 2.79% to 3.82%, indicating relatively close agreement between the two data sources. RMSE values ranged from 1.03 to 3.06 °C for air temperature and from 0.84 to 1.91 m/s for wind speed. The results demonstrate that agreement between data sources varies considerably by meteorological parameter and that each parameter should therefore be validated separately before being incorporated into integrated energy models. The proposed approach provides a methodological basis for the subsequent comparison and harmonization of international datasets with national observations and for the development of a consistent input dataset for renewable energy modeling.*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Keywords: *integrated energy models, renewable energy, NASA POWER, ERA5, data validation, data harmonization, solar radiation, air temperature, wind speed, RMSE, MAE, Bias, spatio-temporal data.*

Kirish. Energetika tizimlarini karbonsizlashtirish va raqamlashtirish jarayonlarining jadallashuvi qayta tiklanuvchi energiya manbalarini uzoq muddatli rejalashtirish va energetika tizimlarini rivojlantirish modellariga samarali integratsiya qilishni talab etmoqda. Bunday sharoitda energetika tizimining kelajakdagi holatini baholash, ishlab chiqarish quvvatlariga bo‘lgan ehtiyojni aniqlash va turli rivojlanish ssenariylarini shakllantirishda integratsiyalashgan energetika modellaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. TIMES, LEAP kabi uzoq muddatli energetika rejalashtirish modellari hamda ma’lumotlarga asoslangan zamonaviy hisoblash yondashuvlarining ishonchliligi, avvalo, ularning kirish ma’lumotlarining sifati va izchilligiga bog‘liq.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari, xususan, quyosh energetikasini modellashtirishda meteorologik va energetik ma’lumotlarning aniqligi alohida ahamiyatga ega. Quyosh radiatsiyasi, harorat, shamol tezligi, ishlab chiqarish quvvati va boshqa ko‘rsatkichlar turli manbalardan olinishi mumkin. Biroq ushbu ma’lumotlar manbalari o‘rtasida o‘lchov birliklari, vaqt oralig‘i, fazoviy rezolyutsiya va kuzatuv sharoitlari bo‘yicha farqlar mavjud. Natijada bir xil hudud yoki vaqt oralig‘i uchun olingan qiymatlar o‘zaro mos kelmasligi mumkin.

Mazkur muammo rivojlanayotgan mamlakatlar, jumladan, O‘zbekiston energetika tizimi uchun ham dolzarbdir. Milliy energetika va meteorologik kuzatuvlar ko‘pincha muayyan stansiyalar yoki hududlar bilan chegaralangan bo‘lsa, xalqaro ochiq ma’lumotlar bazalari kengroq hududlarni qamrab oluvchi panjarali yoki qayta tahlil qilingan ma’lumotlarni taqdim etadi. Tadqiqotda ko‘rib chiqilayotgan milliy ma’lumotlar bilan IRENA, IEA va Copernicus ERA5 kabi xalqaro ma’lumotlar manbalari o‘rtasidagi farqlar ayniqsa fazoviy va vaqtinchalik o‘lchamlarda namoyon bo‘lishi mumkin.

Ma’lumotlarni bevosita birlashtirish esa energetika modellarining kirish parametrlarida qo‘shimcha noaniqliklarni yuzaga keltirishi mumkin. Masalan, xalqaro ma’lumotlarning keng fazoviy panjarada shakllantirilishi mahalliy hududlardagi mikroiqlim xususiyatlarini to‘liq aks ettirmasligi mumkin. Shu bilan birga, mahalliy kuzatuvlar qatoridagi vaqtinchalik uzilishlar yoki yetishmayotgan qiymatlar uzoq muddatli vaqt qatorlarini shakllantirishni qiyinlashtiradi. Shuning uchun turli manbalardan olingan ma’lumotlarni yagona ma’lumotlar to‘plamiga kiritishdan oldin ularni tekshirish, vaqt va fazoviy jihatdan moslashtirish hamda yagona standartga keltirish zarur.

Mavjud yondashuvlarda qayta tiklanuvchi energetika resurslarini baholashda meteorologik ma’lumotlar, sun’iy yo‘ldosh kuzatuvlari va qayta tahlil ma’lumotlaridan foydalanish keng tarqalgan. Biroq mahalliy stansiyalardan olingan real kuzatuvlar bilan xalqaro panjarali ma’lumotlar o‘rtasidagi nomuvofiqliklarni bir nechta ketma-ket bosqichlarda tekshirish va uyg‘unlashtirish masalasi, ayniqsa O‘zbekiston sharoitida, qo‘shimcha metodologik yondashuvni talab etadi. Shu jihatdan, turli manbalardagi ma’lumotlarni yagona algoritmik jarayon asosida tekshirish va moslashtirish energetika modellarining ishonchli kirish parametrlarini shakllantirishning muhim sharti hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini uzoq muddatli modellashtirishda foydalaniladigan milliy va xalqaro ma’lumotlar o‘rtasidagi nomuvofiqliklarni aniqlash, ularni miqdoriy jihatdan baholash hamda integratsiyalashgan energetika modellarida foydalanish uchun ma’lumotlarni tekshirish va uyg‘unlashtirish metodologiyasini taklif etishdan iborat.

Belgilangan maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

1. O‘zbekiston hududlaridagi qayta tiklanuvchi energetika obyektlari va meteorologik kuzatuvlarga oid milliy ma’lumotlar bilan xalqaro ochiq ma’lumotlar manbalarining asosiy xususiyatlarini taqqoslash;
2. turli ma’lumot manbalari o‘rtasidagi o‘lchov birliklari, vaqt rezolyutsiyasi, fazoviy joylashuv va ma’lumotlarning to‘liqligi bilan bog‘liq nomuvofiqliklarni aniqlash;
3. ma’lumotlarni dastlabki tekshirish, vaqt

bo‘yicha sinxronlashtirish va fazoviy moslashtirishning ketma-ket bosqichlarini ishlab chiqish;

4. uyg‘unlashtirilgan ma’lumotlar to‘plamining sifatini xatolik ko‘rsatkichlari asosida baholash va uning uzoq muddatli energetika modellarining kirish parametrlarini shakllantirishdagi amaliy ahamiyatini aniqlash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi turli manbalardan olingan milliy va xalqaro energetika ma’lumotlarini alohida qo‘llash o‘rniga, ularni ketma-ket tekshirish, vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish va fazoviy moslashtirish orqali yagona integratsiyalashgan ma’lumotlar to‘plamiga keltirishga asoslangan metodologik yondashuvni shakllantirish bilan belgilanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundan iboratki, taklif etilayotgan yondashuv mahalliy kuzatuv ma’lumotlaridagi yetishmayotgan yoki uzilib qolgan qiymatlarni xalqaro ma’lumotlar bilan solishtirish va to‘ldirish, turli rezolyutsiyadagi ma’lumotlarni yagona formatga keltirish hamda qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini uzoq muddatli rejalashtirishda foydalanish mumkin bo‘lgan izchil ma’lumotlar to‘plamini shakllantirish imkonini beradi.

Shunday qilib, tadqiqotning asosiy e’tibori ma’lumotlarni oddiy birlashtirishga emas, balki ularni integratsiyalashgan energetika modellarida foydalanishdan oldin sifat jihatidan tekshirish va o‘zaro uyg‘unlashtirishga qaratilgan.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini uzoq muddatli rejalashtirishda ma’lumotlarning ishonchliligi va o‘zaro mosligi model natijalarining aniqligini belgilovchi muhim omillardan biridir. Quyosh energetikasi resurslarini baholashda yer usti meteorologik kuzatuvlari, sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari va qayta tahlil (reanalysis) ma’lumotlaridan foydalanish keng tarqalgan. Biroq turli manbalardan olingan ma’lumotlar bir xil hudud va vaqt oralig‘ini ifodalagan taqdirda ham, ularning fazoviy va vaqt rezolyutsiyasi, o‘lchash sharoitlari hamda hisoblash usullari farq qilishi mumkin.

Urraca va boshqalar [1] ERA5 va COSMO-REA6 qayta tahlil ma’lumotlaridagi global gorizontal quyosh nurlanishi qiymatlarini yer usti va sun’iy yo‘ldosh kuzatuvlari bilan taqqoslagan. Ushbu tadqiqot qayta tahlil ma’lumotlarini amaliy energetika tadqiqotlarida qo‘llashdan oldin ularni mustaqil kuzatuvlar bilan baholash zarurligini ko‘rsatadi. Pfenninger va Staffell [3] uzoq muddatli fotovoltaik ishlab chiqarish qatorlarini shakllantirishda tekshirilgan soatlik qayta tahlil va sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlaridan foydalanish imkoniyatlarini ko‘rsatgan. Mazkur ishlar turli ma’lumot manbalarini birgalikda qo‘llash imkoniyatini tasdiqlasa-da, ularni muayyan hudud sharoitiga moslashtirish masalasi alohida metodologik yondashuvni talab qiladi.

Integratsiyalashgan energetika modellarida ma’lumotlarni standartlashtirish va yagona tizimga keltirish masalasi ham muhim hisoblanadi. Howells va boshqalar [4] tomonidan taklif etilgan OSeMOSYS ochiq kodli energetika modellashtirish tizimi turli texnologiyalar va energetika resurslarini yagona model doirasida ifodalash imkonini beradi. Bunday modellar uchun kirish ma’lumotlarining birliklari, vaqt qadamlarining mosligi va hududiy ko‘rsatkichlarning izchilligi muhim shartlardan biridir.

Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarning katta qismi alohida ma’lumot manbasining aniqligini baholash yoki qayta tahlil ma’lumotlarini kuzatuvlar bilan taqqoslashga qaratilgan. Turli manbalardan olingan ma’lumotlarni bir vaqtning o‘zida sifat nazorati, vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish, fazoviy moslashtirish va yakuniy statistik baholash bosqichlaridan o‘tkazib, integratsiyalashgan energetika modeli uchun yagona ma’lumotlar to‘plamiga aylantirish masalasi esa mazkur tadqiqotning asosiy yo‘nalishini tashkil etadi.

Tadqiqot ma’lumotlari. Tadqiqotda qayta tiklanuvchi energetika, xususan, quyosh energetikasi obyektlariga tegishli milliy ma’lumotlar hamda xalqaro ochiq ma’lumotlardan foydalanish konsepsiyasi qabul qilindi. Milliy ma’lumotlar mahalliy kuzatuvlar va energetika obyektlarining ishlab chiqarish ko‘rsatkichlarini, xalqaro ma’lumotlar esa keng hududni qamrab oluvchi meteorologik va qayta tahlil ma’lumotlarini ifodalaydi.

Taqqoslashda quyosh radiatsiyasi, ishlab chiqarish quvvati, vaqt ko‘rsatkichi va hududiy koordinatalar asosiy parametrlar sifatida qabul qilindi. Ma’lumotlarning o‘zaro mosligini baholashda ularning o‘lchov birligi, vaqt rezolyutsiyasi,

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

fazoviy rezolyutsiyasi va kuzatuv davri alohida tekshirildi.

Tadqiqotning hududiy qismi beshta turli iqlimiy sharoitga ega hududdagi quyosh energetikasi klasterlari misolida shakllantirildi. Hududlar bo‘yicha ma’lumotlarni bir xil metodologiya asosida qayta ishlash turli geografik sharoitlarda taklif etilayotgan yondashuvni taqqoslash imkonini beradi.

Ma’lumotlarni dastlabki tekshirish. Ma’lumotlarni integratsiyalashdan oldin dastlabki sifat nazorati amalga oshirildi. Ushbu bosqichda yetishmayotgan qiymatlar, takroriy kuzatuvlar, fizik jihatdan mumkin bo‘lmagan qiymatlar va vaqt qatoridagi uzilishlar aniqlanadi.

Har bir kuzatuv uchun ma’lumot manbasi, vaqt tamg‘asi, geografik koordinata, o‘lchov birligi va qiymatning mavjudligi tekshirildi. Anomaliyalar aniqlanganda ularning manbasi alohida ko‘rib chiqildi va texnik xatolik bilan tabiiy o‘zgarish o‘rtasidagi farq saqlandi. Bu yondashuv real ekstremal qiymatlarni noto‘g‘ri ravishda ma’lumot xatosi sifatida chiqarib tashlashning oldini oladi.

O‘lchov birliklarini standartlashtirish. Turli manbalarda bir xil fizik kattalik turli birliklarda berilishi mumkinligi sababli barcha ma’lumotlar yagona o‘lchov tizimiga keltirildi. Standartlashtirishdan keyin faqat mazmunan bir xil fizik kattaliklar o‘zaro taqqoslandi.

Ishlab chiqarish ma’lumotlari uchun quvvat va energiya tushunchalari alohida ajratildi. Quvvat vaqtning muayyan nuqtasidagi yoki intervaldagi ishlab chiqarish imkoniyatini, energiya esa ma’lum vaqt davomida ishlab chiqarilgan miqdorni ifodalashi hisobga olindi. Shu sababli birliklarni almashtirish vaqt intervali bilan birgalikda amalga oshirildi.

Vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish. Milliy va xalqaro ma’lumotlar turli vaqt rezolyutsiyasida taqdim etilishi mumkin. Shu sababli vaqt qatorlari yagona vaqt shkalasiga keltirildi. Bunda kuzatuvlarning boshlanish va tugash vaqti, vaqt oralig‘i hamda vaqt tamg‘alarining mosligi tekshirildi.

Agar bir manbada soatlik, ikkinchisida esa kunlik yoki oylik ma’lumot mavjud bo‘lsa, yuqori chastotali ma’lumotni tegishli agregatsiya qoidalari asosida moslashtirish amalga oshirildi. Bunda fizik mazmunga qarab o‘rtacha, yig‘indi yoki boshqa mos statistik operator tanlanadi. Ma’lumotlarni vaqt bo‘yicha moslashtirishdan asosiy maqsad turli manbalardagi bir xil vaqt oralig‘iga tegishli qiymatlarni bevosita taqqoslash imkonini yaratishdan iborat.

Fazoviy moslashtirish. Milliy meteorologik kuzatuvlar odatda muayyan geografik nuqtadagi stansiya ma’lumotlarini ifodalasa, xalqaro qayta tahlil ma’lumotlari fazoviy panjara ko‘rinishida beriladi. Shu sababli ikkala manbaning geografik joylashuvi bir xil koordinata tizimida ifodalandi va xalqaro ma’lumotlar mahalliy kuzatuv nuqtalariga moslashtirildi.

Fazoviy moslashtirishning asosiy vazifasi keng hudud uchun hisoblangan xalqaro qiymatlarni mahalliy kuzatuv sharoitiga imkon qadar yaqinlashtirishdan iborat. Bunda interpolatsiya yoki eng yaqin panjara nuqtasini tanlash kabi usullardan ma’lumotlarning fazoviy tuzilishiga mos ravishda foydalanish mumkin.

Milliy va xalqaro ma’lumotlarni o‘zaro tekshirish. Moslashtirilgan ma’lumotlar juftligi asosida milliy va xalqaro manbalar o‘rtasidagi tafovut miqdoriy baholandi. Nisbiy tafovut quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$D_i = \frac{|X_{N,i} - X_{I,i}|}{|X_{I,i}|} \times 100\% \quad (1)$$

bu yerda $(X_{N,i})$ — milliy ma’lumotning (i)-kuzatuvdagi qiymati, $(X_{I,i})$ — xalqaro ma’lumotning mos qiymati, (D_i) esa ular o‘rtasidagi nisbiy tafovutni ifodalaydi.

Ushbu ko‘rsatkich hududlar va vaqt oralig‘i bo‘yicha ma’lumotlar nomuvofiqligining dastlabki darajasini aniqlash uchun ishlatildi.

Ma’lumotlar sifatini statistik baholash. Uyg‘unlashtirish jarayonining samaradorligini baholash uchun xatolik ko‘rsatkichlaridan foydalanildi. Asosiy ko‘rsatkichlardan biri o‘rtacha kvadratik xatolik bo‘lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$RMSE = \sqrt{(1/n)\Sigma_{\text{i}}^{=1\text{n}}(X_{\text{i}} - \hat{X_{\text{i}}})^2} \quad (2)$$

Bu yerda (X_i) — kuzatilgan yoki tayanch qiymat, $(\widehat{X_i})$ — taqqoslanayotgan qiymat, (n) — kuzatuvlar soni.

Mazkur ko‘rsatkichlar uyg‘unlashtirishdan oldingi va keyingi ma’lumotlar holatini taqqoslash imkonini beradi. RMSE va MAE qiymatlarining kamayishi ma’lumotlar o‘rtasidagi umumiy tafovutning qisqarganligini, Bias qiymatining nolga yaqinlashishi esa sistematik og‘ishning

kamayganligini ko‘rsatadi.

Uyg‘unlashtirishning yakuniy bosqichi. Yuqoridagi bosqichlardan o‘tgan ma’lumotlar yagona integratsiyalashgan ma’lumotlar to‘plamiga birlashtirildi. Bunda milliy kuzatuvlar asosiy mahalliy tayanch sifatida, xalqaro ma’lumotlar esa hududiy qamrovni kengaytirish va vaqt qatorlaridagi uzilishlarni aniqlash hamda tiklash uchun qo‘shimcha axborot manbai sifatida qaraldi.

Shunday qilib, taklif etilayotgan metodologiya quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

ma’lumotlarni yig‘ish → dastlabki sifat nazorati → o‘lchov birliklarini standartlashtirish → vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish → fazoviy moslashtirish → o‘zaro tekshirish → statistik baholash → uyg‘unlashtirilgan ma’lumotlar to‘plamini shakllantirish.

Mazkur ketma-ketlikning asosiy afzalligi shundan iboratki, turli manbalardan olingan ma’lumotlar bevosita aralashtirilmaydi, balki har bir integratsiya bosqichida ularning mosligi alohida tekshiriladi. Natijada uzoq muddatli energetika modellariga uzatiladigan kirish parametrlarining izchilligini oshirish uchun metodologik asos yaratiladi.

1-jadval

Milliy va xalqaro energetika ma'lumotlari xususiyatlari hamda ularni uyg'unlashtirishdagi asosiy vazifalar

Ma’lumot turi	Milliy ma’lumotlar	Xalqaro ma’lumotlar	Asosiy nomuvofiqlik	Uyg‘unlashtirish usuli
Quyosh radiatsiyasi	Mahalliy meteorologik stansiyalarning nuqtaviy kuzatuvlari	ERA5 kabi panjarali qayta tahlil ma’lumotlari	Fazoviy rezolyutsiya farqi	Fazoviy moslashtirish va interpolatsiya
Quyosh radiatsiyasi vaqti qatori	Mahalliy stansiyalarning soatlik yoki kunlik kuzatuvlari	Soatlik yoki boshqa vaqt qadamidagi qayta tahlil ma’lumotlari	Vaqt rezolyutsiyasi farqi	Vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish
Elektr energiyasi ishlab chiqarishi	Energetika obyektlarining mahalliy ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari	Xalqaro statistik yoki modellashtirilgan ma’lumotlar	O‘lchov birligi va agregatsiya darajasi	Birliklarni standartlashtirish va vaqt bo‘yicha agregatsiya
Hududiy iqlim ko‘rsatkichlari	Mahalliy stansiyalardagi harorat, shamol va boshqa kuzatuvlar	Keng hududni qamrab oluvchi qayta tahlil ma’lumotlari	Hududiy masshtab farqi	Fazoviy moslashtirish va masshtablash
Vaqt qatorlarining to‘liqligi	Mahalliy kuzatuvlarda vaqtinchalik uzilishlar bo‘lishi mumkin	Uzoq muddatli uzluksiz qayta tahlil qatorlari	Yetishmayotgan qiymatlar	Xalqaro ma’lumotlar bilan o‘zaro tekshirish va tiklash
Ma’lumot sifati	Real kuzatuvlarga asoslangan	Qayta tahlil yoki hisoblangan qiymatlar	O‘lchash va hisoblash xatolari	Statistik taqqoslash va sifat nazorati

Turli hududlarda joylashgan meteorologik stansiyalar ma’lumotlarini yagona integratsiyalashgan modelga kiritishdan oldin ularning sifati dastlabki nazoratdan o‘tkazildi. Bunda anomal va nomuvofiq qiymatlar aniqlanib, keyingi bosqichda xalqaro panjarali ma’lumotlar mahalliy stansiyalarning geografik koordinatalariga moslashtirildi. Shu tariqa turli manbalardan olingan ma’lumotlarni yagona fazoviy-vaqtinchalik formatda taqqoslash imkoniyati yaratildi.

Natijalar. Tadqiqotning mazkur bosqichida O‘zbekistonning Toshkent, Samarqand, Buxoro, Qarshi va Navoiy shaharlari bo‘yicha 2026-yil avgust oyiga tegishli NASA POWER va ERA5 kunlik ma’lumotlari o‘zaro taqqoslandi. Tahlil uchun uchta asosiy meteorologik ko‘rsatkich — quyosh radiatsiyasi, 2 m balandlikdagi havo harorati va 10 m balandlikdagi shamol tezligi tanlandi. Har bir hudud bo‘yicha 31 kunlik ma’lumotlar shakllantirilib, jami 155 ta moslashtirilgan kunlik kuzatuv juftligi tahlil qilindi.

Ma’lumotlarni taqqoslashdan oldin ularning sana va hudud bo‘yicha mosligi ta’minlandi. Quyosh radiatsiyasi ko‘rsatkichlari yagona o‘lchov birligiga keltirildi. Xususan, NASA POWER ma’lumotlari ERA5 ma’lumotlari bilan bir xil formatga o‘tkazilib, MJ/m²/kun ko‘rinishida ifodalandi. Shundan so‘ng ikki ma’lumot manbasi o‘rtasidagi tafovutlar RMSE, MAE va Bias statistik ko‘rsatkichlari yordamida baholandi.

Quyosh radiatsiyasi ma’lumotlarini taqqoslash. Tahlil natijalari NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari bo‘yicha kunlik quyosh radiatsiyasi qiymatlari barcha besh hududda bir-biriga nisbatan yaqin ekanligini ko‘rsatdi. NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha qiymatlar 24,26–25,23 MJ/m²/kun, ERA5 bo‘yicha esa 24,71–25,74 MJ/m²/kun oralig‘ida qayd etildi.

Toshkent shahrida NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha quyosh radiatsiyasi 24,26 MJ/m²/kun, ERA5 bo‘yicha esa 24,71 MJ/m²/kunni tashkil etdi. Ushbu hudud uchun RMSE 1,54 MJ/m²/kun, MAE 0,64 MJ/m²/kun va Bias −0,45 MJ/m²/kun bo‘ldi.

Samarqandda o‘rtacha qiymatlar mos ravishda 25,23 va 25,39 MJ/m²/kunni tashkil etdi. RMSE 0,86 MJ/m²/kun, MAE 0,72 MJ/m²/kun, Bias esa −0,17 MJ/m²/kun miqdorida aniqlandi. Besh hudud orasida ikki manba bo‘yicha o‘rtacha qiymatlar o‘rtasidagi eng kichik tafovut aynan Samarqandda kuzatildi.

Buxoro shahrida NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha qiymat 24,57 MJ/m²/kun, ERA5 bo‘yicha esa 25,31 MJ/m²/kunni tashkil etdi. Mazkur hududda RMSE 0,79 MJ/m²/kun, MAE 0,73 MJ/m²/kun va Bias −0,73 MJ/m²/kun bo‘ldi.

Qarshi shahrida NASA POWER bo‘yicha

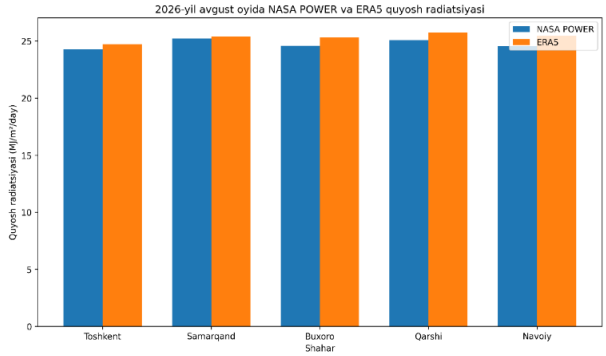
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

o‘rtacha qiymat 25,08 MJ/m²/kun, ERA5 bo‘yicha esa 25,74 MJ/m²/kunni tashkil etdi. RMSE 0,74 MJ/m²/kun, MAE 0,72 MJ/m²/kun va Bias −0,66 MJ/m²/kun miqdorida qayd etildi. Besh hudud ichida quyosh radiatsiyasi bo‘yicha eng kichik RMSE qiymati Qarshi shahrida aniqlandi.

Navoiy shahrida NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha quyosh radiatsiyasi 24,53 MJ/m²/kun, ERA5 bo‘yicha esa 25,46 MJ/m²/kunni tashkil etdi. RMSE 1,01 MJ/m²/kun, MAE 0,97 MJ/m²/kun va Bias −0,93 MJ/m²/kun bo‘ldi. Shu sababli o‘rtacha qiymatlar o‘rtasidagi eng katta tafovut Navoiy shahrida kuzatildi.

Umuman olganda, barcha hududlarda Bias ko‘rsatkichining manfiy qiymatga ega bo‘lishi NASA POWER ma’lumotlaridagi quyosh radiatsiyasi qiymatlari ERA5 ma’lumotlariga nisbatan biroz past baholanganini ko‘rsatadi. Nisbiy o‘rtacha mutlaq farq 2,79–3,82 % oralig‘ida bo‘lib, bu ikki ma’lumot manbasi o‘rtasida quyosh radiatsiyasi bo‘yicha nisbatan yuqori darajadagi moslik mavjudligini ko‘rsatadi.

1-rasmda Toshkent, Samarqand, Buxoro, Qarshi va Navoiy shaharlari bo‘yicha NASA POWER hamda ERA5 ma’lumotlarining o‘rtacha kunlik quyosh radiatsiyasi qiymatlari taqqoslangan. **5A-rasmda** esa kunlik kuzatuvlar asosida ikki ma’lumot manbasi o‘rtasidagi moslik grafik ko‘rinishda aks ettirilgan.



1-rasm. O‘zbekistonning beshta shahrida NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari bo‘yicha o‘rtacha kunlik quyosh radiatsiyasining taqqoslanishi.

Havo harorati ma’lumotlarini taqqoslash. Havo harorati bo‘yicha NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari o‘rtasida quyosh radiatsiyasiga nisbatan kattaroq farqlar kuzatildi. Besh hudud bo‘yicha NASA POWER ma’lumotlaridagi o‘rtacha harorat 28,89–33,82 °C, ERA5 ma’lumotlaridagi o‘rtacha harorat esa 27,15–32,34°C oralig‘ida bo‘ldi.

Toshkentda NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha harorat 29,70 °C, ERA5 bo‘yicha 27,15°Cni tashkil etdi. RMSE 2,69 °C, MAE 2,56°C va Bias +2,56 °C bo‘ldi.

Samarqandda NASA POWER va ERA5 o‘rtacha qiymatlari mos ravishda 28,89 va 28,18 °Cni tashkil etdi. RMSE 1,03 °C, MAE 0,86 °C va Bias +0,71 °C bo‘ldi. Bu natija besh hudud ichida harorat ko‘rsatkichi bo‘yicha eng kichik tafovut Samarqandda kuzatilganini ko‘rsatadi.

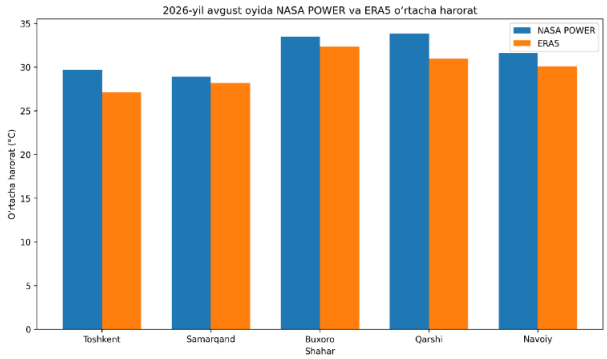
Buxoroda o‘rtacha harorat NASA POWER bo‘yicha 33,47 °C, ERA5 bo‘yicha 32,34 °C bo‘lib, RMSE 1,24 °C, MAE 1,13 °C va Bias +1,13 °Cni tashkil etdi.

Qarshida NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha harorat 33,82 °C, ERA5 bo‘yicha 30,95 °C bo‘ldi. RMSE 3,06 °C, MAE 2,87 °C va Bias +2,87 °Cni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar besh hudud ichida harorat bo‘yicha eng katta tafovut Qarshida yuzaga kelganini ko‘rsatadi.

Navoiyda NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha harorat 31,60 °C, ERA5 bo‘yicha 30,09 °C bo‘lib, RMSE 1,66 °C, MAE 1,51 °C va Bias +1,51 °Cni tashkil etdi.

Barcha hududlarda Bias qiymatining musbat bo‘lishi NASA POWER ma’lumotlarida o‘rtacha harorat ERA5 ma’lumotlariga nisbatan yuqoriroq ekanligini ko‘rsatadi. Eng kichik farq Samarqandda, eng katta farq esa Qarshida kuzatildi.

2-rasmda shaharlar kesimida NASA POWER va ERA5 bo‘yicha o‘rtacha harorat qiymatlari, **5B-rasmda** esa kunlik qiymatlar o‘rtasidagi moslik ko‘rsatilgan.



2-rasm. O‘zbekistonning beshta shahrida NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari bo‘yicha o‘rtacha havo haroratining taqqoslanishi.

Shamol tezligi ma’lumotlarini taqqoslash. 10 metr balandlikdagi shamol tezligi bo‘yicha ham ikki ma’lumot manbasi o‘rtasida hududlarga qarab turlicha tafovutlar aniqlandi. NASA POWER ma’lumotlarida o‘rtacha shamol tezligi 3,07–5,36 m/s, ERA5 ma’lumotlarida esa 1,90–4,55 m/s oralig‘ida bo‘ldi

Toshkentda NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha shamol tezligi 3,07 m/s, ERA5 bo‘yicha 1,90 m/sni tashkil etdi. RMSE 1,23 m/s, MAE 1,18 m/s va Bias +1,18 m/s bo‘ldi.

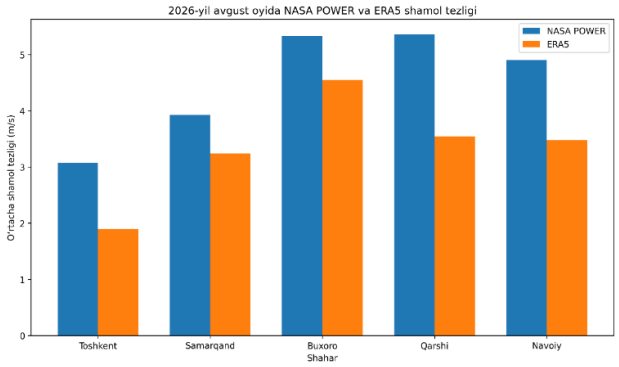
Samarqandda o‘rtacha qiymatlar NASA POWER bo‘yicha 3,93 m/s, ERA5 bo‘yicha 3,24 m/sni tashkil etdi. RMSE 0,84 m/s, MAE 0,69 m/s va Bias +0,69 m/s bo‘ldi. Mazkur hududda shamol tezligi bo‘yicha ikki manba o‘rtasidagi tafovut eng kichik bo‘ldi.

Buxoroda NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha shamol tezligi 5,33 m/s, ERA5 bo‘yicha 4,55 m/sni tashkil etdi. RMSE 1,02 m/s, MAE 0,84 m/s va Bias +0,78 m/s bo‘ldi.

Qarshida NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha shamol tezligi 5,36 m/s, ERA5 bo‘yicha 3,54 m/sni tashkil etdi. RMSE 1,91 m/s, MAE 1,82 m/s va Bias +1,82 m/s bo‘ldi. Bu besh hudud ichidagi eng katta tafovutdir.

Navoiyda NASA POWER bo‘yicha o‘rtacha shamol tezligi 4,90 m/s, ERA5 bo‘yicha 3,47 m/sni tashkil etdi. RMSE 1,52 m/s, MAE 1,43 m/s va Bias +1,43 m/s bo‘ldi.

Shamol tezligi bo‘yicha barcha hududlarda Bias musbat qiymatga ega bo‘lib, NASA POWER ma’lumotlarida shamol tezligi ERA5 ma’lumotlariga nisbatan yuqoriroq baholanganini ko‘rsatadi. Eng kichik tafovut Samarqandda, eng katta tafovut esa Qarshida kuzatildi.



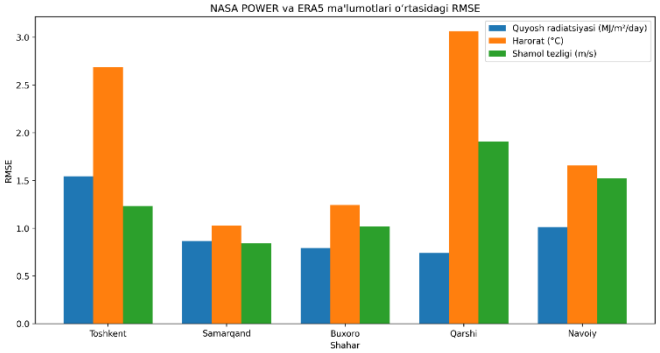
3-rasm. O‘zbekistonning beshta shahrida NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari bo‘yicha o‘rtacha shamol tezligining taqqoslanishi.

3-rasmda besh shahar bo‘yicha o‘rtacha shamol tezligi, **5C-rasmda** esa NASA POWER va ERA5 kunlik qiymatlarining o‘zaro mosligi ko‘rsatilgan.

Umumiy natijalarni baholash. Olingan natijalar uchta asosiy meteorologik ko‘rsatkich bo‘yicha ma’lumot manbalari o‘rtasidagi moslik bir xil emasligini ko‘rsatdi. Quyosh radiatsiyasi bo‘yicha ikki manba o‘rtasidagi tafovut nisbatan kichik bo‘lib, barcha hududlarda nisbiy o‘rtacha mutlaq farq 4% dan past bo‘ldi. Shu sababli mazkur ko‘rsatkich integratsiyalashgan energetika model-larida boshlang‘ich ma’lumot sifatida nisbatan barqaror foydalanish imkoniyatiga ega.

Harorat bo‘yicha farqlar kattaroq bo‘lib, RMSE 1,03–3,06 °C oralig‘ida qayd etildi. Shamol tezligi bo‘yicha RMSE 0,84–1,91 m/s oralig‘ida bo‘ldi. Har ikkala ko‘rsatkichda ham NASA POWER qiymatlari ERA5 qiymatlaridan yuqoriroq bo‘lish tendensiyasi kuzatildi.

4-rasmda uchta ko‘rsatkich bo‘yicha RMSE qiymatlari shaharlar kesimida keltirilgan. Bunda turli ko‘rsatkichlarning o‘lchov birliklari turlicha ekanligi sababli RMSE qiymatlarini parametrlararo mutlaq aniqlik reytingi sifatida talqin qilish emas, balki har bir parametr bo‘yicha manbalar o‘rtasidagi tafovutni alohida baholash maqsadga muvofiq.

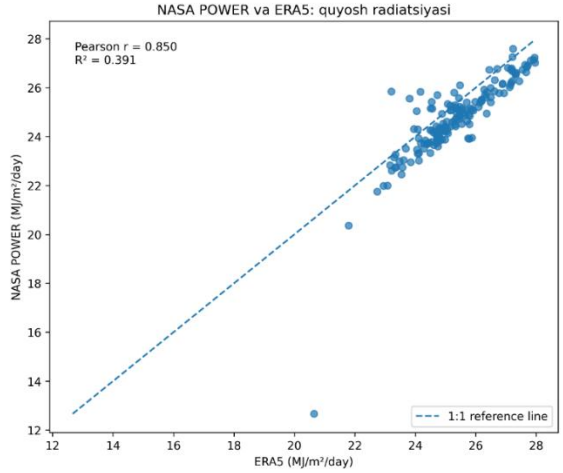


4-rasm. NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari o‘rtasidagi RMSE qiymatlarining hududlar bo‘yicha taqqoslanishi.

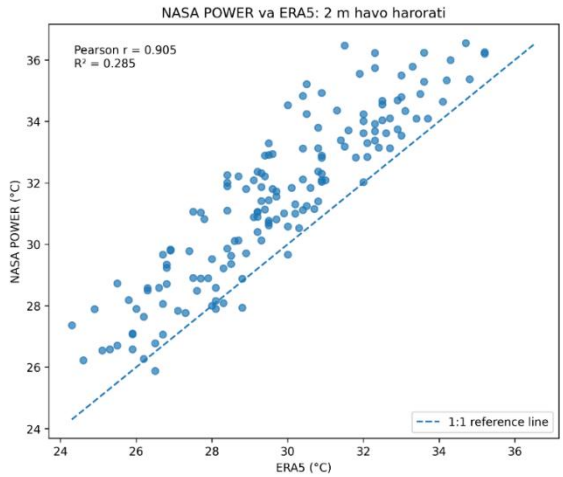
Natijalarning umumiy tahlili shuni ko‘rsatadiki, ma’lumotlarni integratsiyalashdan oldin faqat bitta xalqaro manbaga tayanish yetarli emas. Turli manbalardan olingan ma’lumotlarni birlik, vaqt, hudud va statistik ko‘rsatkichlar bo‘yicha tekshirish ularning keyingi energetik modellashtirishdagi qo‘llanish ishonchliligini oshiradi. Mazkur natijalar keyingi bosqichda milliy

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

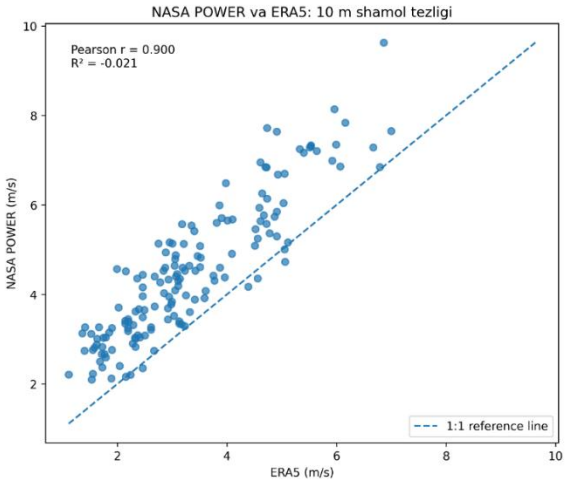
kuzatuv ma’lumotlarini ushbu xalqaro ma’lumotlar bilan taqqoslash va uyg‘unlashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.



5A-rasm. Quyosh radiatsiyasi.



5B-rasm. Havo harorati.



5C-rasm. Shamol tezligi.

5-rasm. NASA POWER va ERA5 ma’lumotlarining kunlik qiymatlari o‘rtasidagi bog‘liqlik: (a) quyosh radiatsiyasi; (b) havo harorati; (c) shamol tezligi.

Muhokama. Tadqiqot natijalari qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini modellashtirishda turli ma’lumot manbalaridan foydalanish imkoniyati mavjudligini, biroq ularni bevosita birlashtirish har doim ham to‘g‘ri natija bermasligini ko‘rsatdi. NASA POWER va ERA5 ma’lumotlarini beshta hudud bo‘yicha taqqoslash natijasida uchta asosiy ko‘rsatkich — quyosh radiatsiyasi, havo harorati va shamol tezligi — bo‘yicha ma’lumotlar o‘rtasida ma’lum tafovutlar mavjudligi aniqlandi. Shu sababli integrat-siyalashgan energetika modelini shakllantirishdan oldin ma’lumotlarni tekshirish va uyg‘unlashtirish alohida bosqich sifatida qaralishi kerak.

Ma’lumotlar manbalari o‘rtasidagi tafovutlarning sabablari. Quyosh radiatsiyasi bo‘yicha NASA POWER va ERA5 natijalari bir-biriga nisbatan yaqin bo‘ldi. Besh hududda nisbiy o‘rtacha mutlaq farq 2,79–3,82% oralig‘ida shakllandi. Bu natija quyosh radiatsiyasi bo‘yicha ikki manbadan foydalanishda ma’lumotlarni bir xil o‘lchov birligiga keltirish va vaqt bo‘yicha moslashtirish muhim ekanligini ko‘rsatadi.

Biroq harorat va shamol tezligi bo‘yicha tafovutlar kattaroq bo‘ldi. Masalan, harorat bo‘yicha RMSE Samarqandda 1,03 °C bo‘lgan bo‘lsa, Qarshida 3,06 °Cni tashkil etdi. Shamol tezligi bo‘yicha esa RMSE Samarqandda 0,84 m/s, Qarshida 1,91 m/s bo‘ldi. Ushbu hududiy farqlarni ma’lumot manbalarining fazoviy va vaqt bo‘yicha xususiyatlari bilan bog‘liq holda ko‘rib chiqish mumkin.

NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari bir xil turdagi manba emas. Biri ma’lum parametrlarni global ma’lumotlar va modellashtirish asosida taqdim etsa, ERA5 qayta tahlil (reanalysis) ma’lumotlar tizimiga asoslanadi. Shuning uchun ularning qiymatlari bir xil bo‘lishi shart emas. Bundan tashqari, alohida meteorologik ko‘rsatkichlarning hududiy o‘zgaruvchanligi, relyef va mahalliy sharoitlar ham ikki manba o‘rtasidagi tafovutga ta’sir qilishi mumkin.

Integratsiyalashgan model uchun asosiy ma’lumot muammolari. Tadqiqot davomida ma’lumotlarni integratsiyalashda bir nechta muhim

muammolar ajratildi.

Birinchi muammo — o‘lchov birliklarining farqlanishi. Bir xil nomdagi ko‘rsatkich turli manbalarda turli birliklarda berilishi mumkin. Quyosh radiatsiyasi bo‘yicha ushbu masala amaliy hisoblash jarayonida ham kuzatildi. Shu sababli ma’lumotlarni birlashtirishdan oldin barcha parametrlarning fizik mazmuni va o‘lchov birligi tekshirilishi kerak.

Ikkinchi muammo — vaqt oralig‘ining mos kelmasligi. Mahalliy kuzatuvlar soatlik yoki kunlik shaklda, xalqaro ma’lumotlar esa boshqa vaqt oralig‘ida taqdim etilishi mumkin. Agar vaqt oralig‘i bir xil qilinmasa, o‘rtacha qiymatlarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqqoslash noto‘g‘ri xulosaga olib kelishi mumkin. Shu sababli vaqt belgilarini yagona formatga keltirish va zarur hollarda ma’lumotlarni bir xil davrga agregatsiya qilish talab etiladi.

Uchinchi muammo — fazoviy moslik. Mahalliy meteorologik kuzatuv odatda ma’lum bir nuqtada amalga oshiriladi, xalqaro qayta tahlil ma’lumotlari esa fazoviy panjara asosida shakllantiriladi. Shuning uchun bunday ma’lumotlarni birlashtirishda koordinatalarni tekshirish va tegishli hududga mos keluvchi panjara nuqtasini tanlash zarur.

To‘rtinchi muammo — ma’lumotlarning to‘liqligi va sifati. Mahalliy ma’lumotlar qatorida ayrim kunlar yoki vaqt oralig‘lari bo‘yicha qiymatlar yetishmasligi mumkin. Xalqaro ma’lumotlar esa uzluksizroq vaqt qatorini taqdim etishi mumkin. Bunday holatda yetishmayotgan qiymatlarni avtomatik ravishda almashtirishdan oldin ularning sababi aniqlanishi va muqobil manba bilan tekshirilishi kerak.

Beshinchi muammo — turli manbalarning o‘ziga xos metodologiyasi. Ma’lumotlar manbasi o‘zgarganda, qiymatlarning hosil qilinish usuli ham o‘zgarishi mumkin. Shu sababli faqat raqamlarning o‘zini emas, balki ularning kelib chiqish manbasi, hisoblash yoki kuzatish usuli va vaqt oralig‘ini ham qayd etish zarur.

Aniqlangan muammolarni bartaraf etish yondashuvi. Yuqoridagi muammolarni hisobga olgan holda tadqiqotda ma’lumotlarni uyg‘unlashtirishning ketma-ketligi taklif qilindi. Dastlab ma’lumot manbasi, sana, koordinata, o‘lchov birligi va parametr nomi tekshiriladi. Keyingi bosqichda ma’lumotlar yagona birlik va vaqt formatiga keltiriladi. Shundan so‘ng fazoviy moslashtirish amalga oshiriladi.

Moslashtirilgan ma’lumotlar keyingi bosqichda o‘zaro statistik jihatdan taqqoslanadi. Bunda RMSE va MAE qiymatlarining kamayishi ma’lumotlar o‘rtasidagi farqning kichrayishini, Bias qiymatining nolga yaqinlashishi esa tizimli og‘ishning kamayishini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv ma’lumotlarni faqat vizual taqqoslash bilan cheklanmasdan, ularning mosligini son jihatdan baholash imkonini beradi.

Muhim jihati shundaki, bir manbani ikkinchisiga avtomatik ravishda almashtirish emas, balki ularning o‘zaro farqini aniqlash va model uchun qaysi ma’lumotdan qanday sharoitda foydalanish mumkinligini belgilash maqsadga muvofiqdir. Masalan, quyosh radiatsiyasi bo‘yicha mazkur tadqiqotda ikki manba o‘rtasidagi tafovut nisbatan kichik bo‘lgan bo‘lsa, harorat va shamol tezligida hududlar bo‘yicha kattaroq tafovutlar kuzatildi. Demak, barcha parametrlar uchun yagona “tuzatish” usulidan foydalanish o‘rniga parametrga mos yondashuv talab etiladi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati. Olingan natijalar qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini rejalashtirish va modellashtirishda ma’lumotlarni oldindan tekshirish zarurligini ko‘rsatadi. Ayniqsa, quyosh va shamol energetikasining ishlab chiqarish salohiyatini baholashda meteorologik ma’lumotlarning sifati yakuniy model natijalariga ta’sir qilishi mumkin.

Taklif etilgan yondashuv milliy kuzatuv ma’lumotlari yetarli bo‘lmagan holatlarda xalqaro ma’lumotlardan foydalanish imkoniyatini saqlab qoladi. Bunda xalqaro ma’lumotlarni bevosita milliy ma’lumotlarning o‘rniga qo‘yish emas, balki ularni milliy kuzatuvlar bilan tekshirish, moslashtirish va zarur hollarda tuzatish muhim hisoblanadi.

Shuningdek, ma’lumotlarni uyg‘unlashtirish jarayonining bosqichma-bosqich tashkil etilishi keyinchalik energetika ishlab chiqarishi, elektr energiyasi iste’moli, o‘rnatilgan quvvat va iqtisodiy ko‘rsatkichlar kabi boshqa ma’lumotlarni ham yagona integratsiyalashgan modelga kiritish imkonini beradi. Shu jihatdan, tadqiqotda ishlab chiqilgan yondashuv faqat meteorologik ma’lumotlar bilan cheklanmay, turli xil milliy va xalqaro ma’lumotlarni birlashtirish uchun umumiy

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

metodik asos sifatida qo‘llanishi mumkin.

Tadqiqot cheklovlari. Mazkur tadqiqotda NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari 2026-yil avgust oyining 31 kunlik davri bo‘yicha taqqoslandi. Shuning uchun olingan natijalarni uzoq muddatli iqlimiy xulosalar yoki butun yil uchun umumlashtirish ehtiyotkorlik bilan amalga oshirilishi kerak.

Bundan tashqari, hozirgi bosqichda milliy meteorologik kuzatuv ma’lumotlari xalqaro ma’lumotlar bilan to‘liq birlashtirilmagan. Shu sababli ushbu natijalar hozircha xalqaro ma’lumot manbalarining o‘zaro mosligini baholash bosqichini ifodalaydi. Keyingi tadqiqot bosqichida milliy kuzatuv ma’lumotlarini qo‘shish orqali NASA POWER va ERA5 ma’lumotlarining real kuzatuvlarga nisbatan mosligi ham baholanishi lozim.

Shunday qilib, tadqiqot natijalari integratsiyalashgan energetika modellarining ishonchliligi faqat model algoritmiga emas, balki modelga kiritiladigan ma’lumotlarning sifati, mosligi va kelib chiqish manbasiga ham bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Xulosa. O‘tkazilgan tadqiqot integratsiyalashgan energetika modellarini shakllantirishda turli manbalardan olinadigan ma’lumotlarni oldindan tekshirish va o‘zaro uyg‘unlashtirish zarurligini ko‘rsatdi. Qayta tiklanuvchi energetika tizimlari uchun ma’lumotlarning miqdori bilan bir qatorda, ularning fizik mazmuni, o‘lchov birligi, vaqt oralig‘i, hududiy mosligi va kelib chiqish manbasini hisobga olish muhim hisoblanadi.

2026-yil avgust oyi uchun Toshkent, Samarqand, Buxoro, Qarshi va Navoiy shaharlari bo‘yicha NASA POWER hamda ERA5 ma’lumotlarining taqqoslanishi uchta asosiy ko‘rsatkich — quyosh radiatsiyasi, havo harorati va shamol tezligi — bo‘yicha manbalar o‘rtasidagi farqlar mavjudligini ko‘rsatdi. Quyosh radiatsiyasi bo‘yicha nisbiy o‘rtacha mutlaq farq 2,79–3,82% oralig‘ida bo‘lib, ikki ma’lumot manbasi o‘rtasida nisbatan yuqori darajadagi yaqinlik kuzatildi. Eng past RMSE Qarshi shahrida 0,74 MJ/m²/kun, eng yuqori RMSE esa Toshkentda 1,54 MJ/m²/kunni tashkil etdi.

Harorat bo‘yicha RMSE qiymatlari 1,03–3,06°C oralig‘ida bo‘ldi. Samarqandda eng kichik, Qarshida esa eng katta tafovut qayd etildi. Shamol tezligi bo‘yicha RMSE 0,84–1,91 m/s oralig‘ida shakllanib, yana Samarqandda eng kichik, Qarshida esa eng katta tafovut kuzatildi. Mazkur natijalar turli meteorologik parametrlarni bir xil darajada ishonchli deb qabul qilish mumkin emasligini va har bir parametr bo‘yicha alohida tekshiruv zarurligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, ma’lumotlarni integratsiyalash jarayonida quyidagi ketma-ketlikdan foydalanish maqsadga muvofiq: ma’lumotlarni yig‘ish, dastlabki sifat nazorati, o‘lchov birliklarini standartlashtirish, vaqt bo‘yicha moslashtirish, fazoviy moslashtirish, manbalararo taqqoslash va statistik baholash. Bunday yondashuv turli manbalardan olingan ma’lumotlarni shunchaki birlashtirish o‘rniga, ularning o‘zaro mosligini oldindan aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundan iboratki, taklif etilgan yondashuv qayta tiklanuvchi energetika obyektlarini rejalashtirish va baholashda xalqaro ma’lumotlardan foydalanish bilan birga, ularni mahalliy ma’lumotlar bilan tekshirish imkonini beradi. Bu, ayniqsa, milliy kuzatuv ma’lumotlari vaqt yoki hudud bo‘yicha yetarli bo‘lmagan holatlarda muhimdir.

Shu bilan birga, mazkur tadqiqotning hozirgi bosqichi xalqaro ma’lumotlarning o‘zaro taqqoslanishi bilan chegaralangan. Keyingi bosqichda O‘zbekiston hududlaridagi milliy meteorologik kuzatuvlar va energetika ko‘rsatkichlarini NASA POWER hamda ERA5 ma’lumotlari bilan birgalikda tahlil qilish rejalashtiriladi. Bunda manbalararo farqlarni aniqlash bilan bir qatorda, milliy ma’lumotlarning ishonchliligini baholash, zarur hollarda tuzatish koeffitsiyentlarini ishlab chiqish va integratsiyalashgan energetika modeli uchun yagona moslashtirilgan ma’lumotlar to‘plamini shakllantirish masalalari ko‘rib chiqiladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini modellashtirishda ma’lumotlarni tekshirish va uyg‘unlashtirish yordamchi texnik jarayon emas, balki modelning ishonchliligini belgilovchi muhim metodologik bosqich ekanligini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Urraca, J., Huld, T., Gracia-Amillo, A. M., Martinez-Rubio, A., Valanzasca, P., & Dunlop, E. D. (2018). Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using ground and satellite-based data. Solar Energy, 164, 339–354. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.059

[2] Khodayar, M., & Wang, J. (2018). Spatio-temporal graph routing for solar power forecasting. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 10(2), 714–724. https://doi.org/10.1109/TSTE.2018.2844102

[3] Pfenninger, S., & Staffell, I. (2016). Long-term patterns of European photovoltaic output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. Energy, 114, 1251–1265. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.060

[4] Howells, M., Rogner, H., Strachan, N., Heaps, C., Huntington, H., Kypreos, S., Hughes, A., Silveira, S., DeCarolis, J., Bazilian, M., & Roehrl, R. A. (2011). OSeMOSYS: The open source energy modeling system: An introduction to its ethos, structure and development. Energy Policy, 39(10), 5850–5870. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.033

[5] Karatayev, M., & Clarke, M. L. (2016). A review of current energy systems and green energy potential in Kazakhstan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52, 110–125. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.087

[6] Staffell, I., Pfenninger, S. (2016). Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. Energy, 114, 1224–1239. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068

[7] Pfenninger, S. (2017). Dealing with multiple decades of hourly wind and PV time series in energy models: A comparison of methods to reduce time resolution and the planning implications of inter-annual variability. Applied Energy, 197, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.051

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

Abduraximov, S. A. o‘g‘li. (2026). Integratsiyalashgan energetika modellari uchun ma’lumotlarni tekshirish va uyg‘unlashtirish: NASA POWER va ERA5 ma’lumotlari misolida. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.19

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 547.32/661.725.82

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.20

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ИЗУЧЕНИЕ ИК-СПЕКТРА И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИНТЕЗИРОВАННОГО СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА ДЛЯ БЕТОНА





Бердиев Санжар Алланазарович
Доктор технических наук (DSc), старший научный сотрудник, Ташкентский научно-исследовательский институт химической технологии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: sanjarberdiev75@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-1516-2840
Science ID: DQD-0425-0006

Камалов Ботир Сатвалдиевич
Независимый соискатель, Ташкентский научно-исследовательский институт химической технологии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: botirkamalov26@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-1233-121X
Science ID: MFR-0425-0016

Аннотация. *В статье исследованы химическая структура, ИК-спектральные характеристики и влияние синтезированного на основе побочного продукта пиролиза суперпластификатора на реологические свойства цементных систем. В качестве основного сырья использовано пиролизное масло с содержанием нафталина не менее 85%. Методом ИК-спектроскопии установлено наличие в синтезированном продукте характерных сульфофункциональных групп. Реологические свойства цементных смесей оценивали методом мини-конуса. Установлено, что введение суперпластификатора в количестве 0,2–1,0% способствует повышению растекаемости цементного теста и снижению водопотребности на 15–20%. При этом чрезмерное содержание добавки может отрицательно влиять на реологические характеристики цементной системы. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования продуктов пиролиза в качестве доступного сырья для получения эффективных суперпластифицирующих добавок для цементных и бетонных материалов.*

Ключевые слова: *пиролизное масло, суперпластификатор, ИК-спектроскопия, нафталин, цемент, бетон, реологические свойства, растекаемость, водоцементное отношение, водопотребность.*

Received: 25.09.2026 | Accepted: 09.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

BETON UCHUN SINTEZ QILINGAN SUPERPLASTIFIKATORNING IQ-SPEKTRI VA KIMYOVIY XOSSALARINI O‘RGANISH

Berdiyev Sanjar Allanazarovich
Texnika fanlari doktori (DSc), katta ilmiy xodim, Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, O‘zbekiston

Kamalov Botir Satvaldiyevich
Mustaqil izlanuvchi, Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Maqolada piroliz jarayonining ikkilamchi mahsuloti asosida sintez qilingan superplastifikatorning kimyoviy tuzilishi, IQ-spektroskopik xususiyatlari hamda sement tizimlarining reologik ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganilgan. Superplastifikator olish uchun asosiy xomashyo sifatida tarkibida kamida 85 % naftalin bo‘lgan piroliz moyidan foydalanilgan. IQ-spektroskopik tahlil natijasida sintezlangan mahsulot tarkibida sulfofunksional guruhlar mavjudligi aniqlangan. Sement qorishmalarining reologik xossalari mini-konus usulida baholanib, superplastifikator miqdorining orti-*

shi sement xamirining yoyiluvchanligini sezilarli oshirishi ko‘rsatilgan. Qo‘shimchaning 0,2–1,0 % miqdorda kiritilishi plastifikatsion samarani yaxshilagan, suvga bo‘lgan talab esa 15–20 % gacha kamaygan. Shu bilan birga, superplastifikatorning ortiqcha miqdori sement xamirining reologik xossalariga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkinligi aniqlangan. Olingan natijalar piroliz mahsulotlaridan samarali foydalanish asosida beton va sement tizimlari uchun mahalliy superplastifikatsiyalovchi qo‘shimchalar ishlab chiqarish istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi.
Kalit so‘zlar: *piroliz moyi, superplastifikator, IQ-spektroskopiya, naftalin, sement, beton, reologik xossalar, yoyiluvchanlik, suv-sement nisbati, suvga talab.*

STUDY OF THE IR SPECTRUM AND CHEMICAL PROPERTIES OF A SYNTHESIZED SUPERPLASTICIZER FOR CONCRETE

Berdiyev Sanjar Allanazarovich
Doctor of Technical Sciences (DSc), Senior Researcher, Tashkent Research Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

Kamalov Botir Satvaldiyevich
Independent Researcher, Tashkent Research Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article investigates the chemical structure, IR-spectral characteristics, and effects of a superplasticizer synthesized from a pyrolysis by-product on the rheological properties of cement systems. Pyrolysis oil containing at least 85% naphthalene was used as the main raw material. IR spectroscopy revealed characteristic sulfonic functional groups in the synthesized product. The rheological properties of cement mixtures were evaluated using the mini-cone method. The results showed that the addition of 0.2–1.0% superplasticizer improved the flowability of cement paste and reduced water demand by approximately 15–20%. Excessive addition, however, may adversely affect the rheological properties of the cement system. The obtained results indicate that pyrolysis products can be considered a promising raw material for the production of effective superplasticizing additives for cement and concrete materials.*
Keywords: *pyrolysis oil, superplasticizer, IR spectroscopy, naphthalene, cement, concrete, rheological properties, flowability, water-cement ratio, water demand.*

Введите. В настоящее время применение химических добавок, особенно высокоэффективных суперпластификаторов, является одним из основных направлений повышения технологических и эксплуатационных свойств цементных и бетонных материалов. Суперпластификаторы способны снижать степень агрегации цементных частиц, повышать текучесть цементного теста и обеспечивать необходимую консистенцию при снижении расхода воды. В связи с этим изучение механизма адсорбционного и электрокинетического действия суперпластификаторов представляет значительный научно-практический интерес для регулирования реологических свойств цементных систем.

Одной из актуальных задач современного материаловедения является поиск доступных и экологически рациональных источников сырья для получения эффективных пластифицирующих добавок. Особый интерес представляют побочные продукты пиролиза, в частности тяжелые пиролизные масла, содержащие значительное количество ароматических углеводородов и нафталиновых соединений. Их химическая структура создает предпосылки для использования таких продуктов в качестве исходного сырья при синтезе функциональных соединений, в том числе суперпластификаторов. Переработка пиролизных продуктов позволяет одновременно решать задачу рационального использования промышленных отходов и получать востребованные химические материалы.

В этой связи представляет интерес получение суперпластификатора на основе местного пиролизного сырья, установление его химической структуры методом ИК-спектроскопии и оценка влияния полученной добавки на реологические свойства цементного теста. В настоящей работе исследован суперпластификатор, синтезированный с

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

использованием пиролизного масла с высоким содержанием нафталина, определены характерные функциональные группы и изучено его влияние на растекаемость цементного теста и водопотребность цементной системы. Целью исследования является научное обоснование возможности эффективной переработки побочных продуктов пиролиза в функциональную пластифицирующую добавку для цементных материалов.

Обзор литературы и методы. Механизм действия суперпластификаторов рассматривается многими авторами. Показано, что разжижение суспензий обеспечивается многими факторами. Адсорбируясь на поверхности частиц дисперсной фазы, молекулы суперпластификатора снижают поверхностное натяжение на границе твердое тело- раствор, что способствует уменьшению тенденции частиц к агрегации, при этом наблюдается пептизация частиц и высокоовозбуждение иммобилизованной воды, и увеличение подвижности суспензий. В процессе пластификации суспензий важную роль играет увеличение электрокинетического потенциала частиц дисперсной фазы, образование адсорбционно-сольватных слоев на поверхности частиц, создание структурно-механического барьера и развитие других факторов агрегативной устойчивости [1]. Предел текучести и пластическая вязкость определяются по реологической кривой, как отрезок на оси сдвигающего напряжения. Реологические свойства минеральных дисперсных систем в большей мере зависят от наличия и качества прослоек среды между частицами. Через эти прослойки действуют силы притяжения между частицами, зависящие от расстояния между частицами, зависящие от расстояния между ними, которые обусловлены Ван Дер-Ваальсовыми и водородными связями. Значит, увеличивая или уменьшая толщину прослоек среды в местах контакта частиц или изменяя их гидродинамические свойства, применяя пластифицирующие добавки, можно регулировать в широких пределах структуры материала [2]. Для реальных дисперсных систем обычно агрегативная устойчивость обеспечивается несколькими факторами одновременно. От прочности индивидуального контакта между частицами зависят предельное динамическое напряжение сдвига и силы межслоевого пластического трения, поэтому для регулирования реологических свойств суспензий первоначально необходимо изменить соотношение между силами притяжения и отталкивания. Свойства дисперсий тесно связаны с устойчивостью. Размеры частиц дисперсной фазы водных минеральных суспензий, применяемых в промышленности, колеблются от одного до нескольких сотен до нескольких тысяч. Устойчивость для гидрофильных коллоидов определяется тремя составляющими расклинивающего давления: электростатической, молекулярной и структурной. Часто устойчивость коллоидных систем характеризуется структурными силами, которые определяются особой структурой граничных слоев воды. Вряди работ утверждается, что определяющую роль в агрегативной устойчивости водных суспензий отводится граничным слоям. При этом основополагающая роль гидратации адсорбированного слоя ПАВ в обеспечении стабильности водных дисперсий отмечается как для неиногенных ПАВ, так и для полиэлектролитов [3]. Анализ полученных результатов: при изучении оптимальных технологических параметров производства и фракционирования нафталина и их производных, выборе методов переработки отходов пиролиза, определении химического состава тяжелого пиролизного масла были подготовлены катализаторы для использования в процессе и изучены их различные составы. Тяжелое пиролизное масло состоит из смеси двух или более циклических конденсированных алкильных и алкенильных ароматических углеводородов, их олигомеров и пределенного количества асфалтенов и других высокомолекулярных соединений [4]. Рассмотрен состав и объёмы нафталинсодержащих продуктов тяжёлых смол пиролиза. Проанализированы пути их использования в промышленности разных стран. Отмечено перспективное направление использования тяжёлых масла пиролиза синтез суперпластификаторов для бетонных смесей. Проведенный краткий обзор путей переработки тяжёлой смолы пиролиза

показывает, что в настоящее время разработано большое число способов рационального использования смол пиролиза. При этом ряд способов уже внедрён в химической промышленности, а ряд из них прошел опытно-промышленные и лабораторные испытания. Однако поиски методов использования ТСП, не требующих больших энергетических затрат и сложного оборудования, всё ещё остаются актуальными и на сегодняшний день [5]. В области температур разрушения граничных слоев воды за счет теплового движения, наблюдается резкое изменение агрегативной устойчивости и реологических параметров дисперсий. В последние годы в строительной практике при изготовлении бетонов нового поколения все большее применение находят высокоэффективные поликарбоксилатные суперпластификаторы. В зарубежной литературе суперпластификаторы этой группы получили название «суперпластификаторы». Данный вид пластификаторов более эффективен, что выражается в сравнительно низких оптимальных дозировках (0,2%), низкой чувствительности к виду и составу цемента, в длительном сохранении бетонными смесями первоначальной консистенции, в их повышенной связности, не расслаиваемости, низких и сверхнизких водоцементных отношениях (0.2%).

Часть эксперимента. На первой стадии реакции пиролизное масло сульфируют б-нафталинсульфокислотой с концентрированной H_2SO_4. Пиролизное масло смешивают с серной кислотой при 160°C и охлаждают до 100°C после кипячения в течение двух часов. Это метилирование в основном проводят при 130°C для ускорения реакции. На практике в основном работают с небольшими количествами формальдегида (соотношение нафталин: моль формальдегида ≈ 1:1,3). Конденсат смолы, полученный в виде кислоты, затем нейтрализуют NaOH. pH синтезированного суперпластификатора колебался от 6,5 до 7,5. ИК-спектральный анализ синтезированного суперпластификатора учился. Исследованы ИК-спектры пиролизного масла и синтезированного суперпластификатора.

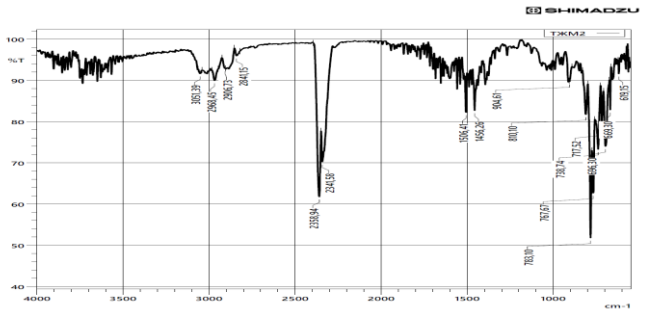


Рис.1. ИК-спектр пиролизного масла.

С увеличением числа ароматических колец увеличивается число полос поглощения в более низкочастотной части ИК-спектра. Вы можете увидеть это в ИК-спектрах нафталина. Полоса около 3051,39 $см^{-1}$ в спектре обусловлена валентными колебаниями связей С-Н в молекуле нафталина. Интенсивное поле при 783,10 $см^{-1}$ было вызвано колебаниями нафталинового кольца в плоскости, отличной от плоскости кольца. Площади поглощения бензольного кольца поглощаются в следующих областях 1456,26 и 1506,41 $см^{-1}$, а присутствие -С-С-, т.е. полиэтилена, обнаружено в области 738,74 $см^{-1}$.

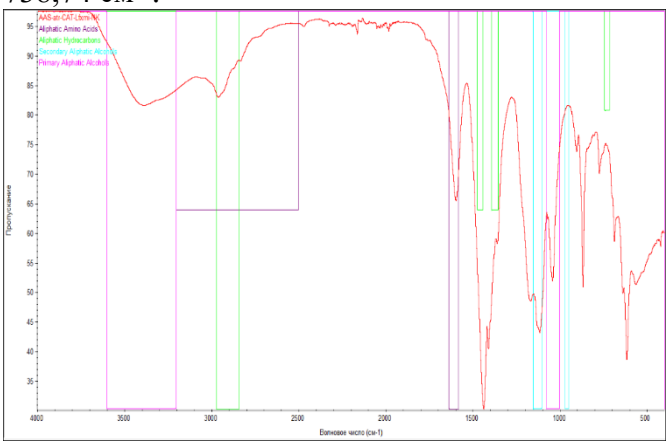


Рис.2. ИК-спектр синтезированного суперпластификатора

Исходя из ИК-спектра, можно сказать, что полученный суперпластификатор имеет в основном следующие функциональные группы: Новые полосы поглощения в области 1166,14 $см^{-1}$ показывают, что функциональная группа SO_2-OH изменила свою структуру на химическую связь R-SO_2-OH. ИК-спектр содержит линии поглощения для асимметричных валентных колебаний в области -1040,14 $см^{-1}$ и характерные линии поглощения

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

для симметричных валентных колебаний в области 772,10-614,31 см$^{-1}$. Это говорит о том, что синтезированный суперпластификатор имеет функциональную группу – сульфокислоту. Вещество, используемое в качестве сырья для производства суперпластификатора, имеет в своем составе функциональные группы (C-S). Это означает, что используемое сырье тоже поверхностно- активное вещество, но проведенные эксперименты показывают, что использованное сырье не влияет на реологические свойства бетонной смеси.

Реологические свойства цементных смесей определяли с помощью мини-конуса в соответствии со стандартом ГОСТ 310.3-76.

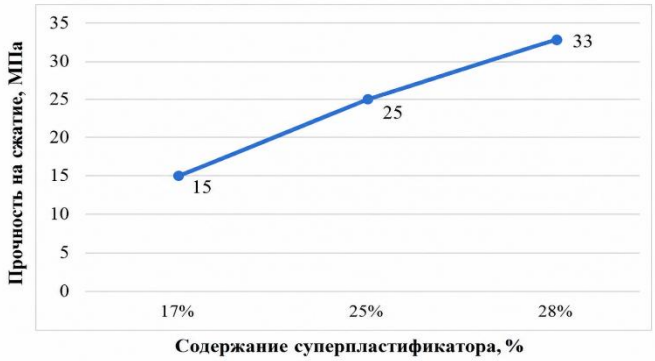


Рис.3. Распространение цементного раствора с добавлением суперпластификатора.

Массовая доля суперпластификатора варьировалась в диапазоне от 15 до 30 %. Полученные результаты показали, что при использовании суперпластификатора в виде 30%-ного раствора пластифицирующий эффект достигает максимального значения, при этом расплыв цементного раствора составил 33 см. При введении 25%-ного раствора суперпластификатора в цементное тесто подвижность составила 26 см, тогда как при использовании 17%-ного раствора суперпластификатора наблюдалось наименьшее пластифицирующее действие, а показатель подвижности составил 15 см.

Таким образом, установлено, что применение синтезированного нами суперпластификатора в виде 30%-ного раствора обеспечивает наиболее выраженный пластифицирующий эффект и позволяет получить максимальную подвижность цементной системы.

Таблица 1.

Обрабатываемость цементного раствора с добавлением суперпластификатора

№	Содержание цемента	Добавка к цементной смеси %	Соотношение «вода/цемент»	Читаемость, см	Средняя плотность, г/см³
1	100	-	0.43	7	1.950
2	100	0.2	0.42	9	1.965
3	100	0.5	0.42	13	1.980
4	100	1	0.42	18	2000
5	100	1.5	0.42	16	1.990

Как видно из данных, представленных в таблице 1, с увеличением содержания суперпластификатора повышается расплыв цементного теста. В экспериментах использовался цемент марки ПЦ 400 Д20. Расплыв цементного теста определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 26798.1-96.

Однако введение поликарбоксилатного суперпластификатора в количестве более 1 % оказывает отрицательное влияние на реологические свойства цементного теста. Таким образом, суперпластифицирующие добавки, полученные на основе макромономеров и мономеров, обеспечивают положительный пластифицирующий эффект. Вместе с тем они имеют определённые ограничения, в связи с чем рекомендуется применять полученные суперпластифицирующие добавки в количестве 0,1-1,5 % от массы цемента.

На рис.4. показана зависимость поверхностного натяжения от концентрации суперпластификатора.

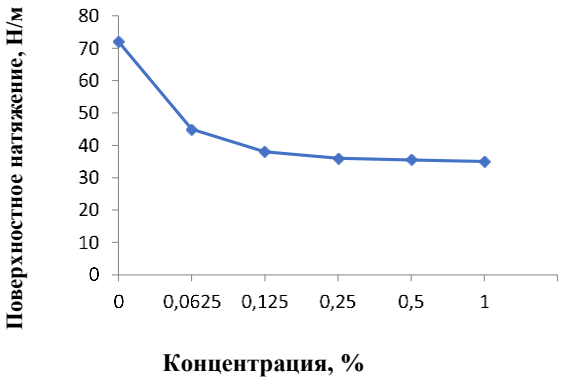


Рис.4. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации.

Поверхностное натяжения определено по сталагмометрическим методом. Как видно на рис.4. с увеличением концентрации

суперпластификатора поверхностное натяжение раствора уменьшается. Таким образом, пластифицирующие добавки способны резко изменять реологические свойства дисперсных систем. Также отметим, что с увеличением содержания добавок вязкость уменьшается и принимает низкое постоянное значение. На реологические свойства минеральных суспензий большое влияние оказывает молекулярная масса пластификаторов. Подвижность бетонной смеси зависит от молекулярной массы соединений. Так при постоянном водосодержании более длительное сохранение подвижности во времени характерно для полимеров, тогда как олигомеры не изменяют или несколько ускоряют процесс схватывания. На реологические свойства минеральных суспензий влияют разжижающие добавки, действие которых основано на ионообменных процессах, протекающих на поверхности минеральных частиц. На реологические свойства дисперсных систем влияет концентрация, вид и число полярных групп в молекуле суперпластификатора, длины гидрофобного радикала и других параметров суперпластификатора. Изменение свойств таких систем обусловлено наличием в молекуле суперпластификатора реакционноспособной группы и гидрофобного радикала. При этом возникает энергетически наиболее выгодное состояние системы.

Выводю Полученный суперпластификатор позволяет снизить водопотребность на 15–20% и при этом не снижает прочность цементного камня. Напротив, этот показатель, как видно из результатов опытов, несколько увеличился. На основании этих данных можно утверждать, что введение полученных суперпластификаторов в цементное тесто обладает экономической и экологической эффективностью, не снижая физико-механических свойств цементного камня.

Водоцементное отношение играет важную роль при изучении влияния суперпластификаторов на физико-механические свойства цементного камня. Основная функция суперпластификатора в производстве цементного камня — снижение водоцементного отношения при одновременном получении цементного теста нормальной плотности. Во многих случаях такое снижение приводит к увеличению прочности цементного камня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Ковалев, Я., и др. (2002). Активационные технологии дорожных композиционных материалов.
[2] Слюсарь, А. А. (2006). Физико-химические основы производства строительных материалов: Учебное пособие. Изд-во БГТУ.
[3] Пименов, Г. Г., & Скирда, В. Д. (б. д.). Изучение методом ЯМР кинетики адсорбции пористыми стеклами бутана и гексана из паровой фазы. № 6, 820–824.
[4] Зиядуллаева, К. Х., & Нурмонов, С. Е. (2021). Технологические основы приготовления и изучение свойств катализаторов при получении фталевого ангидрида на основе нафталина. Universum: Технические науки, 8(89), 37.
[5] Шведов, А. П., Якубовский, С. Ф., & Зубова, А. В. (2007). Расширение сырьевой базы для производства суперпластификаторов. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, 68–72.
[6] Karimov, M. U., Djalilov, A. T., & Samigov, N. A. (2012). Learning IR-spectra of synthesized superplasticizer. Uzbek Chemical Journal, (4), 19–22.

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

Бердиев, С. А., & Камалов, Б. С. (2026). Изучение ИК-спектра и химических свойств синтезированного суперпластификатора для бетона. Саноатда рақамли технологиялар, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.20

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 544.332:547.759

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.21

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

METALLOPORFIRINLARNING SUVSIZ ERITMALARDA TERMOKIMYOVIY ERISH ENTALPIYASI





Sayitova Nodira Normurod qizi
Assistent, Toshkent davlat agrar universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0008-9184-7261
Science ID: MJZ-0226-0022

Tangyarikov Normurod Sayitovich
Professor, Jizzax politexnika instituti, Jizzax, O‘zbekiston
E-mail: normurod63@mail.ru
ORCID ID: 0009-0001-0898-8928
Science ID: MJZ-0226-0022

Annotatsiya. *Maqolada xlorofill (a), uning ligandi hamda Cu(II), Ni(II), Co(II), Zn(II), Cd(II), Fe(III) va Mn(III) ionlari bilan hosil qilgan metall analoglarining turli tabiatdagi suvsiz organik erituvchilarda erishi va solvatlanish jarayonlari termokimyoviy jihatdan o‘rganilgan. Tajribalar 298,15 K haroratda kalorimetrik usul yordamida olib borilib, inert aproton erituvchilar — CCl_4, C_6H_6 va $C_6H_5NO_2$, proton-donor $CHCl_3$ hamda proton-akseptor DMFA, piridin va piperidindagi erish entalpiyalarining standart qiymatlari aniqlangan. Tajriba natijalari o‘rganilgan konsentratsiyalar oralig‘ida erish entalpiyasining porfirin konsentratsiyasiga sezilarli bog‘liq emasligini ko‘rsatgan. Benzol standart erituvchi sifatida qabul qilinib, undan boshqa erituvchilarga o‘tish entalpiyalari hisoblangan. Metall ionlari bilan kompleks hosil bo‘lishi porfirin makrotsikllarining kristall panjarasi va solvatlanish xususiyatlariga ta’sir qilishi aniqlangan. Xloroform xlorofill ligandi va uning metall komplekslari uchun eng samarali erituvchilardan biri bo‘lib, bu holat vodorod bog‘lari va spetsifik solvatlanish bilan izohlangan. Olingan natijalar metalloporfirinlarning turli donor-akseptor xususiyatga ega erituvchilardagi energetik holatini baholash va ularning solvatlanish qonuniyatlarini aniqlash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *metalloporfirin, xlorofill, feoforbid, ligand, erish entalpiyasi, termokimyo, kalorimetriya, solvatlanish, organik erituvchilar, xloroform, benzol, uglerod tetraklorid, piridin, piperidin, metall komplekslari.*

Received: 16.09.2026 | Accepted: 09.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ЭНТАЛЬПИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ МЕТАЛЛОПОРФИРИНОВ В БЕЗВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Сайитова Нодира Нормурод кизи
Ассистент, Ташкентский государственный аграрный университет, Ташкент, Узбекистан

Тангяриков Нормурод Сайитович
Профессор, Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

Аннотация. *В статье представлены результаты термохимического исследования растворения и сольватации хлорофилла (а), его лиганда и металлоаналогов с Cu(II), Ni(II), Co(II), Zn(II), Cd(II), Fe(III) и Mn(III) в безводных органических растворителях различной природы. Калориметрические измерения проведены при 298,15 К в инертных апротонных растворителях CCl_4, C_6H_6 и $C_6H_5NO_2$, протонодонорном $CHCl_3$, а также протоноакцепторных ДМФА, пиридине и пиперидине. Получены стандартные значения энтальпии растворения исследуемых соединений. Установлено, что в исследованном диапазоне концентраций энтальпия растворения*

практически не зависит от концентрации порфирина. С использованием бензола в качестве стандартного растворителя рассчитаны энтальпии переноса соединений в другие растворители. Показано, что комплексообразование с ионами металлов влияет на энергетическое состояние кристаллической решётки и характер сольватации порфириновых макроциклов. Наиболее выраженное сольватирующее действие для хлорофилльных лигандов и их металлокомплексов проявляет хлороформ, что связано с образованием водородных связей и специфическими взаимодействиями растворитель–растворённое вещество. Полученные данные позволяют установить основные закономерности сольватации металлопорфиринов в средах с различными донорно-акцепторными свойствами.

Ключевые слова: *металлопорфирины, хлорофилл, феофорбид, лиганд, энтальпия растворения, термохимия, калориметрия, сольватация, органические растворители, хлороформ, бензол, четыреххлористый углерод, пиридин, пиперидин, металлокомплексы.*

THERMOCHEMICAL DISSOLUTION ENTHALPY OF METALLOPORPHYRINS IN ANHYDROUS SOLUTIONS

Sayitova Nodira Normurod kizi
Assistant, Tashkent State Agrarian University, Tashkent, Uzbekistan

Tangyarikov Normurod Sayitovich
Professor, Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

Abstract. *The article presents a thermochemical study of the dissolution and solvation of chlorophyll (a), its ligand, and its metal analogues containing Cu(II), Ni(II), Co(II), Zn(II), Cd(II), Fe(III), and Mn(III) in anhydrous organic solvents of different chemical nature. Calorimetric measurements were carried out at 298.15 K in inert aprotic solvents, including CCl_4, C_6H_6, and $C_6H_5NO_2$, the proton-donor solvent $CHCl_3$, and proton-acceptor solvents such as DMF, pyridine, and piperidine. Standard dissolution enthalpies of the investigated compounds were determined. The experimental results showed that, within the investigated concentration range, the dissolution enthalpy is essentially independent of porphyrin concentration. Benzene was used as a reference solvent to calculate transfer enthalpies to other solvents. Metal complex formation was found to affect both the crystal-lattice energetics and solvation behavior of the porphyrin macrocycles. Chloroform exhibited particularly strong solvating ability toward chlorophyll ligands and their metal complexes, which was attributed to hydrogen bonding and specific solute–solvent interactions. The obtained data provide a basis for identifying the main thermodynamic regularities governing the solvation of metalloporphyrins in solvents with different donor–acceptor properties.*

Keywords: *metalloporphyrins, chlorophyll, pheophorbide, ligand, dissolution enthalpy, thermochemistry, calorimetry, solvation, organic solvents, chloroform, benzene, carbon tetrachloride, pyridine, piperidine, metal complexes.*

Kirish. Ushbu ilmiy maqolada xlorofill(a) metall analoglarining koordinatalanmagan erituvchilarda (C_6H_6, CCl_4, $CHCl_3$) erishi va solvatlanishining termokimyosi, $C_6H_5NO_2$) xlorofill-ligand va uning metal analoglarini mis, nikel, rux, kadmiy, kobalt, marganes, temir bilan neytral to‘rtxlorli uglerod va benzol, protonodonor xloroform, elektronodonor piridin, piperidin va dimetilformamid bilan termokimyoviy (kalori-metriya) tadqiqotlari natijalari tahlil qilingan.

Fotosintez jarayonida yorug‘lik energiyasini konvertatsiya qilish bo‘yicha O‘zbekiston ilmiy dasturida [1-2] asosiy vazifalardan biri tirik o‘simlik hujayralari va fotosintetik bakteriyalarning fotosintetik apparati reaksiya markazining tuzilishini o‘rganishdir. Bu muammoni hal qilish dastlab eritma sharoitida amalga oshirilishi mumkin bo‘lgan xlorofil molekulalarining mos keladigan muhitini modellashtirmasdan imkonsizdir. Shu tarzda, xlorofillning donor-akseptor muhit bilan o‘zaro ta’sirining tabiatini kuzatish mumkin, bu turli elektron va proton tabiatiga ega individual organik erituvchilardan boshlab va xlorofill reaksiya markazining solvat muhiti tarkibini

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

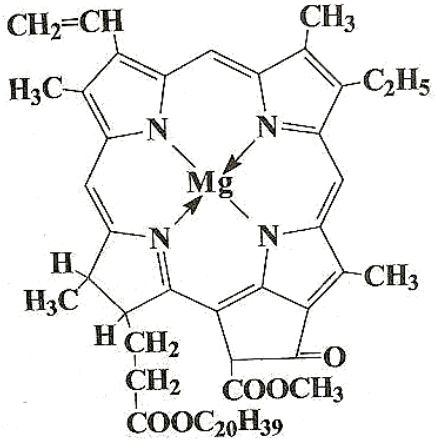
modellashtiradigan ko‘p komponentli xlorofill eritmalari bilan yakunlanadi. Avvalo, solvatatsiya energetikasini o‘rganish va xlorofillning muhit bilan o‘zaro ta’sirini, shuningdek, o‘zaro ta’sirning mumkin bo‘lgan lokalizatsiya markazlarini baholash, shuningdek, metallarning xlorofill ligandi bilan kimyoviy bog‘lanish turining solvatatsiyaga ta’sirini ilmiy o‘rganish uchun zarur.

Metodologiya. Xlorofill analog porfirin-larining erishi va solvatsiya jarayonlarining termodinamikasi porfirin molekulasining solvatsiya qobig‘ining xususiyatlarini o‘rganish, ya’ni porfirin-erituvchi tizimidagi o‘zaro ta’sirning asosiy omillarini aniqlash uchun katta qiziqish uyg‘otadi [3-4]. Biz olgan eksperimental ma’lumotlar shu qo‘yilgan savollarga ba’zi javoblarni olish imkonini beradi.

Xlorofill va uning analoglarining bir qator alohida organik erituvchilarda erishi entalpiyalari bo‘yicha tajriba natijalarini tahlil qilishni boshlashdan oldin, keling, xlorofill molekulasining tuzilishini va uning eritilishining mumkin bo‘lgan markazlarini batafsil ko‘rib chiqaylik.

Fotosintez jarayonida kimyoviy transfor-matsiyalarning asosiy markazi xlorofill ligandi (feofitin) bilan Mg^{2+} kompleksidir.

Xlorofill ligandi (I formula) magniyning yetarlicha kuchli ion-kovalent bog‘lanishi uchun juda mos koordinatsiya markaziga 4ta N_4 ega. Xlorofillning siklopentan halqasi (V) porfirinning elektron tuzilishini shunday yo‘nalishda o‘zgartirish uchun zarurki, u ko‘rinadigan spektrning qizil mintaqasida (662-720 nm) yorug'likni maksimal darajada yutadi va keto-enol transformatsiyasi tufayli π-tizim tuzilishini o‘zgartirish imkoniyatini yaratadi: -CH3-C=O C=C-OH halqada (V).



1-rasm Xlorofill-liggant.

Ikkinchisi xlorofilning barcha xususiyatlariga ta’sir qiladi. Siklopentan halqasi xlorofilning fotosintetik apparatning oqsil-lipid tuzilishiga qo‘shilishi uchun qo‘shimcha imkoniyatlar yaratadi va bu molekula va H_2O dan CO_2 ga elektron uzatish zanjirining alohida komponentlari o‘rtasidagi turli xil koordinatsion bog‘lanishlar sonini ko‘paytiradi.

Ko‘rinishidan, xlorofildagi vinil (2-holatda) va alkil guruhlari (1,3,4,5,8-holatlar) MgN_4 koordinatsion birligining holatiga kuchli ta’sir ko‘rsatadi, Mg^{2+} ning porfiringa qo‘shilish tezligini va Mg^{2+} ning koordinatsion qobiliyatini tartibga soladi, shuningdek, xlorofilning solvatsiyasi xususiyatiga ta’sir qiladi [1-2-5].

Xlorofill ligand molekulasida, (IV) siklda gidrogenlangan pirrol qo‘shaloq bog‘lanishidan tashqari, yana ikkita muhim strukturaviy element paydo bo‘ladi: metilkarboksil bilan almashtirilgan siklopentanon halqasi (V) (10-holatda) va yuqori to‘yinmagan spirt, fitol $C_{20}H_{39}OH$ bilan efirlangan propion kislotasi CH_2CH_2COOH qoldig‘i (7-holatda) (I formulasiga qarang).

Natijalar. Ushbu ishda, 298.15 K da kalorimetrik usul yordamida, biz birinchi marta xlorofill (a), uning ligandi va xlorofill va feoforbidning yettita metall analoglari Cu (II), Ni (II), Co (II), Zn (II), Cd (II), Fe (III), Mn (III) bilan erishi entalpiyalarining o‘zgarishining standart qiymatlarini ($\Delta H^0_{o‘tkazish}$) turli tabiatdagi bir qator individual organik erituvchilarda (inert aproton CCl_4, C_6H_6, $C_6H_5NO_2$; proton-donor – $CHCl_3$ va proton-akseptor DMF, C_6H_5N, $C_5H_{10}NH$) oldik. ($\Delta H^0_{o‘tkazish}$) haqidagi ma’lumotlardan (1-jadvallar) benzoldan erituvchilarga o‘tish entalpiyalari $\Delta H^0_{o‘tkazish}$ (2-jadvallar) hisoblab chiqildi. Benzolni standart erituvchi sifatida tanlash, qoida tariqasida, o‘rganilayotgan obyektlarning geksan, siklogeksan, CCl_4 va boshqalarda yetarlicha eruvchan emasligi bilan bog‘liq edi.

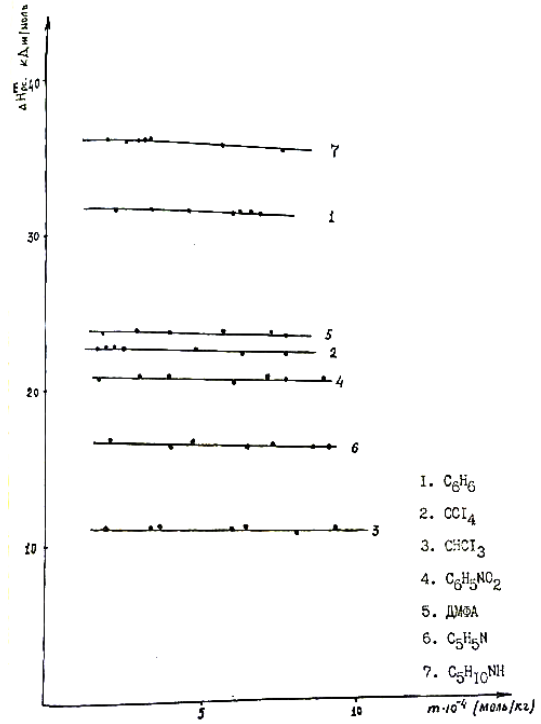
$\Delta H^0_{o‘tkazish}$, xlorofill ligand (a), va ularning 7 ta kompleksining erish entalpiyasining konsentratsiyaga bog‘liqligini o‘rganish natijalari shuni ko‘rsatdiki, ishchi konsentratsiyalar oralig‘ida, $10^{-5} \cdot 10^{-3}$ mol/kg, erish entalpiyasi porfirin konsentratsiyasiga bog‘liq emas (2-rasm). Shunga asoslanib, erish entalpiyasining standart qiymati $\Delta H^0_{o‘tkazish}$ ning bir qator (kamida beshta) eksperimental qiymatlarining o‘rtacha qiymati sifatida qabul qilinadi.

Xlorofill ligandi uchun $\Delta H_{o'tkazish}$ qiymat-lari [6-8] da olingan. Biz ushbu ma'lumotlarni tahlil qildik va to‘ldirdik.

Ishda xlorofill ligandlarining koordinatsion to‘yingan va to‘yinmagan komplekslari o‘rganil-ganligi sababli, bu ikki guruh erituvchilar uchun termodinamik ma’lumotlarni alohida ko‘rib chiqish mantiqan to‘g‘ri keladi.

Xlorofill (a) metall analoglarining koordinatalanmagan erituvchilarda (C_6H_6, CCl_4, $CHCl_3$) erishi va solvatlanishining termokimyosi, $C_6H_5NO_2$) 2-jadvallarda xlorofill ligandi, va uning komplekslarining barcha o‘tish entalpiyalari ($\Delta H^0_{o'tkazish}$) manfiy ekanligi ko‘rsatilgan. Natijada, benzol bu makrosikllarni o‘rganilgan barcha erituvchilarga qaraganda kamroq eritadi, ya'ni ushbu tajribalar seriyasida benzolni inert standart erituvchi sifatida tanlash to‘g‘ri ekanligini ko‘rsatadi. Keling, o‘rganilgan makrosikllarning benzoldan ma’lum bir erituvchiga o‘tish entalpiyalariga asoslanib, ularning solvatsiya xususiyatlarini ko‘rib chiqaylik.

Xlorofill ligandlari benzolda eng kam eriydi. Jarayon endotermikdir. Katta fitol qoldig’ining (-$C_{20}H_{39}$) mavjudligi barcha erituvchilarda - aproton (qutbli va qutbsiz), erishini oldini oladi.



2-rasm. Organik erituvchilarda eritilganda entalpiyaning (H merish) o‘zgarishining H_2Xl (a) konsentratsiyasiga (10^{-4} mol/kg) bog‘liqligi.

Proton qabul qiluvchi va proton donor qiluvchi. Xlorofill(a) ligandi $H_2Xl(a)$ va beofitol ligandining erish entalpiyalaridagi farq 10.15 kJ/mol ni tashkil qiladi. Ko‘rinishidan, fitol qoldig‘i makrotsiklning o‘ziga qaraganda ancha qiyinroq eritiladi va bu ta’sir kristall panjaraning bo‘shashishi va deformatsiya komponentining hissasidan ustun turadi.

1-jadvaldagi ma’lumotlardan ko‘rinib turibdiki, xlorofill ligandining erishining endotermikligi ($\Delta H_{o'tkazish}$) $CHCI_3 > C_6H_5NO_2 > CCl_4 > C_6H_6$ qatorida oshadi.

1-jadval

Xlorofill ligandi(a) va uning komplekslarining koordinatalanmagan erituvchilarda erish entalpiyalari ($\Delta H^0_{o'tkazish}$) (kJ/mol)

Porfirinlar	Erituvchilar			
	C_6H_6	CCl_4	$CHCl_3$	$C_6H_5NO_2$
$H_2Xl(a)$	30.6 0.5±	22.5 0.4±	1.3 0.1±	20.3 0.5±
Cu Xl(a)	19.8 0.3±	11.8 0.4±	-8.4 0.4±	11.9 0.4±
Ni Xl(a)	16.1 0.5±	7.7 0.5±	-14.7 0.4±	-
Co Xl(a)	16.6 0.9±	11.2 0.8±	-15.3 0.3±	-
Zn Xl(a)	14.4 0.5±	6.4 0.2±	-15.6 0.5±	-
Cd Xl(a)	16.7 0.3±	7.0 0.3±	-21.5 0.5±	-
Mg Xl(a)	22.9 0.4±	-	-17.2 0.1±	-
AcFe Xl(a)	7.5 0.4±	2.3 0.4±	-30.0 0.5±	-
AcMn Xl(a)	-35.9 0.4±	-	-68.6 0.3±	-

Fitolsiz birikmalar uchun ham shunga o‘xshash holat kuzatiladi. 1-jadvalda ko‘rinib turibdiki, xlorofill ligandlarining metallar bilan komplekslanishi deyarli barcha hollarda ularning benzolda erishi endotermikligini pasaytiradi, ya’ni, kristall panjaralarining energiyasini kamaytiradi. Uglerod tetraxloridi dagi erish jarayoniga o‘xshash.

2-jadval

Xlorofill ligandi(a) va uning komplekslarining benzoldan koordinatalanmagan erituvchilarga o‘tish entalpiyalari ($\Delta H^0_{o'tkazish}$) (kJ/mol)

Porfirinlar	Erituvchilar		
	CCl_4	$CHCl_3$	C_6H5NO_2
$H_2Xl(a)$	-8.1	-29.3	-10.3
Cu Xl(a)	-8.0	-28.2	-7.9
Ni Xl(a)	-8.4	-30.8	-
Co Xl(a)	-5.4	-29.9	-
Zn Xl(a)	-8.0	-30.0	-
Cd Xl(a)	-9.7	-40.2	-
Mg Xl(a)	-	-40.1	-
AcFe Xl(a)	-6.2	-37.5	-
AcMn Xl(a)	-	-32.7	-

Xlorofor xlorofill ligandlarining eng samarali erituvchisidir. $H_2Xl(a)$ unda salbiy emas, balki deyarli nolga teng issiqlik effekti bilan eriydi, fitolsiz ligand esa ekzotermik effekt bilan eriydi. $CHCl_3$ ning xlorofill ligandlariga yuqori yaqinligi erituvchi va porfirinning psevdoalkil

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

o‘rinbosarlarining kislorod atomlari va makrohalqaning uchlamchi azot atomlari o‘rtasida vodorod bog'lanishlarining hosil bo‘lishi bilan bog‘liq (kuchli o‘ziga xos solvotatsiya).

Benzol va uglerod tetraxlorididagi porfirinlar ($\Delta H^0_{o‘tkazish}$) va metall komplekslarining erish entalpiyalari bo‘yicha olingan ma’lumotlardan (1-jadval) ko‘rinib turibdiki, kompleks hosil bo‘lish barcha hollarda molekulaning kristall panjarasining bo‘shashishiga olib keladi, chunki erish entalpiyalari 7 ga kamayadi. Xlorofill uchun 30 kJ/mol va feoforbid uchun 212 kJ/mol [9].

$\Delta H_{o‘tkazish}$ dan ko‘rinib turibdiki (2-jadval), CCl_4 xlorofill tipidagi molekulalar bilan benzolga qaraganda ancha kuchliroq va ham ligandlar, ham metall komplekslari bilan deyarli bir xil tarzda o‘zaro ta’sir qiladi. Bu, bizning fikrimizcha, dipol-dipol (makrosiklik bog‘lanishlar u – CCl_4) o‘zaro ta’siri tufayli o‘rganilayotgan birikmalarning uglerod tetraklorid bilan universal solvatsiyasi foydasiga dalolat beradi, bu esa benzollar bilan π-π o‘zaro ta’siriga qaraganda biroz qulayroqdir. Xlorofill ligandidagi ko‘plab o‘rinbosarlar benzol bilan π-π o‘zaro ta’siri uchun ma’lum sterik to‘siqlar yaratadi deb taxmin qilish mumkin, holbuki bu dipol-dipol rejimida o‘zaro ta’sir qiluvchi CCl_4 bilan sodir bo‘lmaydi. Kompleks hosil bo‘lishi xlorofilga o‘xshash molekulalarning uglerod tetraklorid bilan solvatsiyasi shartlarini o‘zgartirmaydi (1-jadval).

Xloroform, qutb molekulasi va proton donori sifatida, xlorofill ligandini va uning barcha hosilalarini juda kuchli eritadi (2-jadval). Ularning $CHCl_3$ da o‘tkazilish entalpiyalari o‘rtacha CCl_4 ga qaraganda 20-30 kJ/mol yuqori. Ligand va Cu(II), Ni(II), Zn(II) va Co(II) ning kovalent komplekslarining eritishida hech qanday farq yo‘q.

Asosan M - N ion bog‘lanishlariga ega Cd(II) va Mg(II) komplekslarida va qisman Fe+.....00CCH_3 va M+…..X- ion bog‘lanishlariga ega Fe(III) komplekslarida (Cl-, CH_3COO- va boshqalar X- vazifasini bajarishi mumkin), o‘tkazuvchanlik ekzotermikligi 10 kJ/mol ga oshadi. Natijada, benzol va uglerod tetrakloridiga nisbatan xloroform bilan eng kuchli solvatsiya markazlari alkilkarboksil guruhlarining kislorod atomlari va siklopentanon halqasining (V) karbonilidir (I formulaga qarang), shuningdek, yuqori qutbli M+X-, M+N- ion bog‘lanishlaridir. H_2Xl (a) va MXl (M=Zn, Co, Ni, Cu) o‘tkazilishining bir xil entalpiyalari bizga makrosiklik effekt =N- ligandining uchlamchi azot atomlarining solvatsiyasiga xalaqit beradi degan xulosaga kelishga imkon beradi.

Xulosa. Ushbu ilmiy ishda takomillashtirilgan usullar yordamida, xlorofil guruhi porfirin ligandlarining va Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Cd(II), Fe(III), Mn(III) va xlorofill (jami 8 ta birikma) bilan komplekslari sintez qilindi. Olingan barcha birikmalar yuqori aniqlikda aniqlandi spektral darajada tozalandi. O'rganilgan porfirinlar va ularning komplekslarining elektron yutilish spektrlari yozib olindi va turli tabiatdagi bir qator organik erituvchilarda miqdoriy qayta ishlandi. Olingan natijalarga asoslanib, porfirinlar va ularning komplekslarining solvatatsiya energiyasining asosiy qonuniyatlari aniqlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Асқаров, Қ. А., Холмуродова, Д. К., & Тангяриқов, Н. С. (2014). Пилла қурти чиқиндиларидан хлорофилл, металлопорфиринлар, биологик ва каталитик фаол моддалар олишнинг илмий асослари. Тошкент.
[2] Березин, Б. Д. (1978). Координационные соединения порфиринов и фталоцианина. Наука.
[3] Sayitova, N. N., Ibragimova, K. S., Tangyarikov, N. S., & Turabdjanov, S. M. (2024). Pilla qurti chiqindilaridan metalloporfirinlar olish ularning modifikatsiyasi, fizik-kimyoviy va katalitik xossalarini ilmiy asoslash. Toshkent.
[4] Сайитова, Н. Н., Ибрагимова, К. С., & Тангяриков, Н. С. (2024). Термохимия растворения и спектральные характеристики металлоаналогов хлорофилла в органических растворителях. Тошкент.
[5] Tangyarikov, N. S., & Husenov, A. O‘. (2025). Pilla qurti chiqitlarining umumiy xossalari va elementlar tarkibini ilmiy asoslash. Jizzax.

[6] Аскаров, К. А., Березин, Б. Д., Евстигнеева, Р. П., и др. (1987). Порфирины: Структура, свойства, синтез. Наука.
[7] Аскаров, К. А., Березин, Б. Д., Быстрицкая, Е. В., и др. (1987). Порфирины: Спектроскопия, электрохимия, применение. Наука.
[8] Тангяриков, Н. С. (1990). Термохимия растворения и спектральные характеристики аналогов хлорофилла в неводных растворителях [Диссертация кандидата химических наук]. ИХНР АН СССР.
[9] Тангяриков, Н. С., Березин, М. В., Вьюгин, А. И., & Крестов, Г. А. (1990). Термодинамика растворов пирропорфирина и его металлокомплексов. In Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции «Термодинамика органических соединений» (p. 204). Минск.
[10] Тангяриков, Н. С. (1990). Термохимия растворения и спектральные характеристики аналогов хлорофилла в неводных растворителях [Автореферат диссертации кандидата химических наук]. ИХНР АН СССР.

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

Sayitova, N. N. qizi, & Tangyarikov, N. S. (2026). Metalloporfirinlarning suvsiz eritmalarda termokimyoviy erish entalpiyasi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.21

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 544.47

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.22

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

PROPANDAN AROMATIK UGLEVODORODLAR OLISH UCHUN TANLANGAN MODIFIKATSIYALANGAN KATALIZATORLARNING TEKSTUR VA FIZIK-KIMYOVIY XUSUSIYATLARI



Nomozova Sadoqat Iskandar qizi
Dotsent, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0002-9974-4992
Science ID: FQD-1026-0001

Annotatsiya. *Maqolada propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aylantirish uchun nanoo‘lchamdagi rux, sirkoniy va molibden bilan modifikatsiyalangan mezog‘ovakli yuqori kremniyli seolit katalizatorlarini sintez qilish hamda ularning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o‘rganish natijalari keltirilgan. Katalizatorlarning kislotalilik xossalari ammiakning harorat-dasturlashtirilgan desorbsiyasi usuli orqali, teksturaviy ko‘rsatkichlari esa solishtirma sirt maydoni va g‘ovak hajmi bo‘yicha baholangan. Propanni aromatlash jarayonidan keyin katalizator yuzasida hosil bo‘lgan koksning tabiati derivatografik va termogravimetrik usullar yordamida tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari tarkibida 1 % Zn saqlovchi katalizatorning yuqori aromatlash faolligiga ega ekanligini ko‘rsatgan. Rux miqdorining ortishi bilan katalizatorlarning solishtirma sirt maydoni va umumiy g‘ovak hajmining kamayishi kuzatilgan. Shuningdek, sintez jarayonida uglerod kukunining ikkilamchi shablon sifatida qo‘llanilishi koks hosil bo‘lishini kamaytirishi aniqlangan. Uglerod kukunining 1,0 % miqdori maqbul deb baholangan, uning miqdorini oshirish esa katalizatorning aromatlash faolligini pasaytirgan. Olingan natijalar propanni aromatik uglevodorodlarga samarali konversiyalash uchun modifikatsiyalangan mezog‘ovakli seolit katalizatorlarining tarkibi va teksturaviy xossalarini boshqarish muhimligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *propan, aromatik uglevodorodlar, katalitik aromatlash, yuqori kremniyli seolit, mezog‘ovak, katalizator, rux, sirkoniy, molibden, kislotalilik, teksturaviy xususiyatlar, koks hosil bo‘lishi, termogravimetrik tahlil.*

Received: 29.09.2026 | Accepted: 09.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ТЕКСТУРНЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ПРОПАНА

Номозова Садокат Искандар кизи
Доцент, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье представлены результаты синтеза и исследования мезопористых высококремнистых цеолитных катализаторов, модифицированных наноразмерными цинком, цирконием и молибденом, предназначенных для каталитической ароматизации пропана. Кислотные свойства катализаторов изучены методом температурно-программированной десорбции аммиака, а текстурные характеристики оценены по удельной площади поверхности и объёму пор. Природа коксовых отложений, образующихся после каталитической реакции, исследована методами дериватографии и термогравиметрического анализа. Установлено, что катализатор, содержащий 1 % Zn, характеризуется наиболее высокой активностью в процессе ароматизации пропана. При увеличении содержания цинка наблюдается снижение удельной поверхности и общего объёма пор катализатора. Показано, что введение углеродного порошка на стадии синтеза способствует уменьшению коксообразования на поверхности катализатора. Оптимальное содержание углеродного порошка составляет 1,0 %, тогда как его дальнейшее увеличение приводит к снижению ароматизирующей активности. Полученные результаты подтверждают важную роль состава, кислотности и текстурных характеристик модифицированных цеолитных катализаторов в повышении эффективности превращения пропана в ароматические углеводороды.*

Ключевые слова: *пропан, ароматические углеводороды, каталитическая ароматизация, высококремнистый цеолит, мезопоры, катализатор, цинк, цирконий, молибден, кислотность, текстурные характеристики, коксообразование, термогравиметрический анализ.*

TEXTURAL AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MODIFIED CATALYSTS FOR THE PRODUCTION OF AROMATIC HYDROCARBONS FROM PROPANE

Nomozova Sadoqat Iskandar kizi
Associate Professor, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *The article presents the synthesis and physicochemical characterization of mesoporous high-silica zeolite catalysts modified with nanosized zinc, zirconium, and molybdenum for the catalytic aromatization of propane. The acidic properties of the catalysts were investigated by temperature-programmed ammonia desorption, while their textural characteristics were evaluated in terms of specific surface area and pore volume. The nature of coke deposits formed on the catalyst surface after the reaction was examined using derivatographic and thermogravimetric methods. The results showed that the catalyst containing 1% Zn exhibited the highest aromatization activity. Increasing the zinc content resulted in a decrease in specific surface area and total pore volume. The addition of carbon powder during catalyst synthesis was found to reduce coke formation, with 1.0% carbon identified as the optimal amount. A further increase in carbon content decreased the aromatization activity of the catalyst. The findings demonstrate that catalyst composition, acidity, and pore structure are key factors controlling the efficiency of propane conversion to aromatic hydrocarbons.*

Keywords: *propane, aromatic hydrocarbons, catalytic aromatization, high-silica zeolite, mesopores, catalyst, zinc, zirconium, molybdenum, acidity, textural properties, coke formation, thermogravimetric analysis.*

Kirish. Neft-kimyo sanoatining eng muhim xomashyosi bo‘lgan aromatik ya’ni benzol qatori uglevodorodlar asosan neftning neft fraksiyalarini piroliz, alkillash, reforming va gidro qayta ishlash jarayonlarida olinadi [1-3]. Neft-yo‘ldosh gazidan oqilona foydalanish muammosi butun dunyoda dolzarbdir va shuning uchun uni katalitik qayta ishlash jarayonlariga qiziqish doimiy ravishda oshib uglerodmoqda. Neft qazib olish jarayonida yer qa’ridan qazib olinadigan neft-yo‘ldosh gazidan foydalanishning mumkin bo‘lgan yo‘nalishlari keng. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolitlar asosida tayyorlangan propanni aromatik uglevodorod (ya’ni benzol qatori uglevodorod) larga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlar neftni qayta ishlash va neft-kimyo jarayonlarida tougleroda ko‘proq foydalanilmoqda, bu esa ularning fizik-kimyoviy xossalari uyg‘unligi bilan bog‘liqdir [4-8]. Biroq, mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolitlarning mikrog‘ovaklari tomonidan hosil bo‘lgan kichik va tor kanallar massa almashish jarayonlarini murakkablashtiradi va uglerod hosil bo‘lishiga yordam beradi va natijada vaqt o‘tishi bilan ularning faolligi tez pasayadi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolitga o‘xshash materiallarning fizik-kimyoviy va katalitik xususiyatlarini o‘rganishga bag‘ishlangan ilmiy nashrlar soni doimiy ravishda o‘sib uglerodmoqda, bu propanni aromatik uglevodorod (ya’ni benzol qatori uglevodorod) larga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlarning ushbu sinfining muhim rolini ta’kidlaydi [9-10].

Tajriba qismi. Nano o‘lchamdagi rux, sirkoniy va molibden kukunlari metall simni yuqori quvvatli elektr impulslari bilan sepish orqali olindi. Uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlar metallning nano kukunlari va katalitik faollikka ega bo‘lgan mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitni tegirmonda quruq mexanik maydalash so‘ngra tayyorlangan aralashmalarni 550 ^{0}C haroratda 3 soat davomida kuydirish yo‘li bilan tayyorlandi.

Uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun olingan katalizatorning kislotali xossalari ammiakning temperaturali dasturlashtirilgan desorbsiyasi (TPD) usuli bilan o‘rganildi. Kremniy manbai sifatida suyuq shisha ishlatilgan, reaksiya aralashmasiga Al^{3+}, Zn^{2+} va Zr^{4+} ionlari ularning suvda eruvchan nitrat tuzlari shaklida kiritilgan, tuzilish hosil qiluvchi komponent sifatida ammoniy bikarbonat tanlangan. Katalizatorlarni sintez qilish jarayonida ishlatiladigan SiO_2 og‘irligi bo‘yicha 1-1,5% mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolit qo‘shildi. Mikro- va mezog‘ovakli rux aluminiy silikatining sintezi mikrog‘ovakli mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolit sinteziga o‘xshaydi, ammo qo‘shimcha ravishda uglerod kukunidan reaksiya aralashmasiga 1,0-3,0% miqdorida qo‘shiladi.

Propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyalanishi atmosfera bosimida, 550 °C reaksiya haroratida va 250 s^{-1} hajmiy tezlikda oqim tipidagi sinov reaktorida o‘rganildi. Reaktorga yuklangan propanni aromatik uglevodorodlarga (ya’ni, benzol qatori uglevodorodlariga) katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizator hajmi 6,0 sm^3, zarrachalarining o‘lchami esa 0,5–1,0 mm ni tashkil etdi. Jarayon muayyan vaqt davomida uzluksiz amalga oshirildi va hosil bo‘lgan mahsulotlar barcha katalizatorlar uchun bir xil vaqt oralig‘ida tahlil qilindi. O‘rganilayotgan katalizatorlardagi kislotali markazlar konsentratsiyasi desorbsiya cho‘qqilarini qayd etish jarayonida desorbsiyalangan ammiak miqdori asosida aniqlandi hamda 1 g propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorga nisbatan mikromollarda ifodalandi.

Propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash jarayonida o‘rganilayotgan katalizator yuzasida hosil bo‘lgan kokslarning tabiati Q-1500 derivatografi yordamida o‘rganildi. Buning uchun uglevodorodlarni katalitik aromatlashda yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizator havoda qizdirildi. O‘lchov natijalarini keyinchalik qayta ishlash haroratni (T), katalizatorni qizdirish tezligini (V), katalizator massasining o‘zgarishini (TG) va termik effektlarni (DTA) qayd etish imkonini beruvchi “Tanaliz” dasturiy mahsuloti yordamida amalga oshirildi. Reaksiya mahsulotlari xromatografik usulda tahlil qilindi.

Natijalar va uning muhokamasi. Olingan uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlarning kislotalilik xossalarini o‘rganish natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Tarkibida rux saqlovchi mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolit uglevodorodlarni katalitik aromatlab, aromatik ya’ni benzol qatori uglevodorodlar olish uchun tanlangan katalizatorlarining tekstura xarakteristikalarini o‘rganish natijalari 2-jadvalda keltirilgan. Katalizator tarkibidagi rux miqdori ortishi bilan o‘ziga xos sirt maydoni va umumiy g‘ovak hajmining pasayishi kuzatiladi. Masalan, 2.0% Zn va Zr-Zr-YuKS uglevodorodlarni katalitik aromatlab, aromatik ya’ni benzol qatori

uglevodorodlar olish uchun tanlangan katalizatori uchun solishtirma sirt maydoni 332 m^2/g, 1% Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS katalizatori uchun esa 393 m^2/g. Olingan natijalar 1%Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS katalizatorida ruxning oz miqdori va 1.5% Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS uglevodorodlarni katalitik aromatlab, aromatik ya’ni benzol qatori uglevodorodlar olish uchun tanlangan katalizatorida sezilarli darajada yuqori bo‘lganligini ko‘rsatadigan elektron mikroskopiya ma’lumotlari bilan yaxshi mos keladi.

1-jadval

Zn-Mo tarkibidagi yuqori kremniyli seolitlarning kislotali xususiyatlari

Katalizator	T_{max}, °C		Kislotali markaz konsentratsiyalari, (mkmol/g)		
	T_1	T_2	**Kuchsiz kislotali markazlar**	**kuchli kislotali markazlar**	**umumiy kislotalilik**
H-YuKS	198	415	520	542	1042
2.0% Mo/YuKS	194	394	401	320	721
6.0% Mo/YuKS	188	390	330	198	528
0.5% Zn -6.0% Mo/YuKS	195	395	368	230	598
1.0% Zn -6.0% Mo/YuKS	200	405	340	205	545
1.5% Zn -6.0% Mo/YuKS	210	402	295	110	405

Uglevodorodlarni katalitik aromatlash orqali aromatik, ya’ni benzol qatori uglevodorodlarini olish uchun tarkibida 1% Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS tarkibli katalizator tanlandi. Mazkur katalizator boshqa uglevodorodlarni katalitik aromatlash orqali aromatik, ya’ni benzol qatori uglevodoridlarini olish uchun tanlangan katalizatorlarga nisbatan o‘rganilgan barcha harorat oralig‘ida eng yuqori aromatlash faolligini namoyon etdi.

2-jadval

Katalizatorlarining kislotalilik va teksturaviy xarakteristikalari

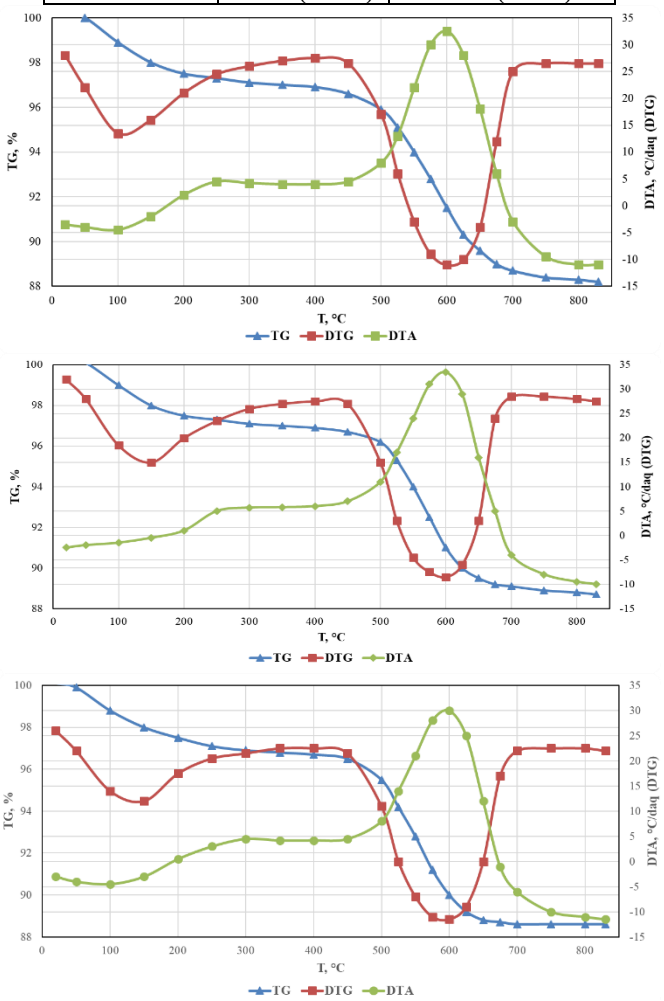
Katalizator	Tmaks, °C		Konsentratsiya,mk/mol			S_{ud}, m^2/g	V, sm^3/g	d,nm
	T_I	T_{II}	C_I	C_{II}	C_Σ			
1 % Zn-YuKS	220	450	530.1	295	825	393	0.25	2.85
1.5 % Zn-YuKS	210	430	490.3	230	720	360	0.22	2.94
2.0 % Zn-YuKS	170	420	395.2	187	580	332	0.19	3.01

Propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlashda o‘rganilayotgan propanni katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlarda hosil bo‘lgan kokslarini o‘rganish uchun termogravimetrik tadqiqotlar o‘tkazildi. 1-rasm va 3-jadvalda propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash jarayonida 6 soat davomida ishlagan rux aluminosilikatlarining differensial termik tahlili ma’lumotlari keltirilgan.

3-jadval

Propanni konversiyalash jarayonida 6 soat davomida ishlagan rux aluminosilikatlari massasining o‘zgarishi

Katalizator	Massaning o‘zgarishi, % (T, °C)	
	Suv	Koks
Zn-YuKS	−4.255 (112 °C)	−9.855 (611–655 °C)
Zn–YuKS-20	−4.350 (125 °C)	−8.750 (604 °C)
Zn–YuKS-30	−4.250 (123 °C)	−9.252 (604 °C)



1-rasm. Rux aluminosilikatlarining propan bilan 6 soat davomida ishlov berilgandan keyingi termogrammalari.

Texnik uglerod qo‘shilishi natijasida olingan rux aluminosilikatlarida koks miqdori kamayadi. Ushbu uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega katalizatorning DTG va DTA egri chiziqlarida aniq belgilangan past va yuqori haroratli cho‘qqilarning mavjud emasligi unda hosil bo‘lgan koksning juda bir xil ekanligini va asosan bitta shaklda mavjudligini ko‘rsatadi.

1,0% uglerod kukuni yordamida olingan katalizator biroz pastroq aromatlash faolligiga ega, biroq propanni aromatik, ya’ni benzol qatori uglevodorodlariga katalitik aromatlash uchun

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

tanlangan katalizatorning umumiy faolligi deyarli o‘zgarmaydi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolit sintezi jarayonida qo‘shilgan uglerod miqdori ortishi bilan propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorning aromatlash faolligi pasayadi.

Xulosa. Propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlashda o‘rganilayotgan katalizatorlarda hosil bo‘lgan koksni tadqiq etish maqsadida o‘tkazilgan termogravimetrik tadqiqotlar natijasida texnik uglerod qo‘shilishi bilan olingan katalizator tarkibidagi koks miqdori kamayishi aniqlandi. 1,0% uglerod kukuni yordamida olingan katalizator biroz pastroq aromatlash faolligiga ega, biroq propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorning umumiy faolligi deyarli o‘zgarmaydi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolit sintezi jarayonida qo‘shilgan uglerod miqdori ortishi bilan propanni aromatik uglevodorodlarga, ya’ni benzol qatori uglevodorodlariga, katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorning aromatlash faolligi pasayadi.

6 soat davomida propanni aromatlash jarayonida ishlagan, tarkibida Zn saqlovchi mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolitlarning termogrammalarida ikkita cho‘qqi kuzatilishi aniqlandi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolit sintezi jarayonida qo‘shiladigan uglerod kukunining eng maqbul konsentratsiyasi 1,0% ni tashkil qiladi. Bu, ko‘rinishidan, propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizator mikro- va mezog‘ovaklari hajmining hamda turli tabiatga ega faol markazlar sonining maqbul nisbatiga erishish bilan bog‘liq. Uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan, yuqori katalitik faollikka ega katalizatorlarni kuydirish orqali uglerod shabloni olib tashlanganidan so‘ng, ikkilamchi mezog‘ovak tizim hosil bo‘ladi va mezog‘ovaklar hajmi ortadi. Shunday qilib, rux aluminiy silikatini sintez qilish jarayonida texnik uglerodning ikkilamchi shablon sifatida qo‘shilishi uning kristallari morfologiyasida sezilarli o‘zgarishlarga olib kelmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Ахметов, А. Ф., & Каратун, О. Н. (2001). Модифицированные пентасилсодержащие катализаторы для ароматизации углеводородных газов. Химия и технология топлив и масел, (5), 33–36.
[2] Величкина, Л. М., Коробицына, Л. Л., Улзий, Б., Восмериков, А. В., & Туяа, М. (2013). Физико-химические и каталитические свойства железо- и индийсодержащих цеолитов. Нефтехимия, 53(2), 138–143.
[3] Восмерикова, Л. Н., Волынкина, А. Н., Восмериков, А. В., & Зайковский, В. И. (2015). Ароматизация этана и пропана на металлсодержащих цеолитах структурного типа ZSM-5. НефтеГазоХимия, (1), 37–41.
[4] Дергачев, А. А., & Лапидус, А. Л. (2008). Каталитическая ароматизация низших алканов. Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева), 52(4), 15–21.
[5] Козлов, А. М., Худяков, Д. С., Лапидус, А. Л., & Дергачёв, А. А. (2011). Ароматизация пропан-бутановой фракции на пентасиле, модифицированном солями цинка. Технологии нефти и газа, (1), 7–10.
[6] Лапидус, А. Л., & Дергачев, А. А. (2008). Превращения низкомолекулярных алифатических углеводородов на цеолитных катализаторах. Газохимия, (4), 16–20.
[7] Fang, Y., Su, X., Bai, X., Wu, W., Wang, G., Xiao, L., & Yu, A. (2017). Aromatization over nanosized Ga-containing ZSM-5 zeolites prepared by different methods: Effect of acidity of active Ga species on the catalytic performance. Journal of Energy Chemistry, 26(4), 768–775. https://doi.org/10.1016/j.jechem.2017.03.014

[8] Liu, Z., Wang, Y., & Xie, Z. (2012). Thoughts on the future development of zeolitic catalysts from an industrial point of view. Chinese Journal of Catalysis, 33(1), 22–38. https://doi.org/10.1016/S1872-2067(10)60299-9

[9] Rodrigues, V. de O., & Faro Júnior, A. C. (2012). On catalyst activation and reaction mechanisms in propane aromatization on Ga/HZSM5 catalysts. Applied Catalysis A: General, 435–436, 68–77. https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.05.036

[10] Tian, M., Zhao, T. Q., Chin, P. L., Liu, B. S., & Cheung, A. S.-C. (2014). Methane and propane co-conversion study over zinc, molybdenum and gallium modified HZSM-5 catalysts using time-of-flight mass-spectrometry. Chemical Physics Letters, 592, 36–40. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2013.12.001

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

Nomozova, S. I. (2026). Propandan aromatik uglevodorodlar olish uchun tanlangan modifikatsiyalangan katalizatorlarning tekstur va fizik-kimyoviy xususiyatlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.22

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 544.47

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.23

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

PROPANNI KATALITIK AROMATLASH JARAYONIDA MEZOG‘OVAKLI KATALIZATORLARNING DEZAKTIVLANISHI



Nomozova Sadoqat Iskandar qizi
Dotsent, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0002-9974-4992
Science ID: FQD-1026-0001

Annotatsiya. *Ushbu maqolada propanni katalitik aromatlash jarayonida H-MG‘S va sirkoniy bilan modifikatsiyalangan Zr/H-MG‘S mezog‘ovakli katalizatorlarining dezaktivlanish xususiyatlari tadqiq etilgan. Katalizatorlarning g‘ovakli tuzilishi past haroratli azot adsorbsiyasi, kislotalik xususiyatlari esa ammiakning harorat bo‘yicha dasturlangan desorbsiyasi usullari yordamida o‘rganilgan. Reaksiya davomida katalizator yuzasida hosil bo‘ladigan koks va uchuvchan bo‘lmagan organik birikmalarning element tarkibi Thermo Flash EA 1115 CHNS analizatori yordamida aniqlangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, dastlabki mezog‘ovakli sorbentlar yuqori kristallik darajasi, 0,3–0,5 mkm kristall o‘lchami va rivojlangan g‘ovakli tuzilishga ega ekanligi aniqlangan. Katalizatorlarning umumiy g‘ovak hajmi 0,21–0,28 sm³/g oralig‘ida bo‘lib, ularning sirtida Brønsted kislota markazlari mavjudligi ko‘rsatilgan. Sirkoniy bilan modifikatsiyalangan katalizatorlarda Brønsted kislota markazlaridan tashqari, uch turdagi sirkoniy tutuvchi markazlar mavjudligi qayd etilgan. Katalizatorlarning dezaktivlanishi koks hosil bo‘lishi va faol markazlarning bloklanishi bilan bog‘liq holda tahlil qilingan. Shuningdek, katalizatorlarning kislotalik xususiyatlari va faol markazlar tarkibida Si/Al hamda Zr/Al nisbatlarining ahamiyati muhokama qilingan.*

Kalit so‘zlar: *propan, katalitik aromatlash, katalizator dezaktivlanishi, koks hosil bo‘lishi, sirkoniy, mezog‘ovakli katalizator, Brønsted kislota markazlari, element tahlili.*

Received: 29.09.2026 | Accepted: 09.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ДЕЗАКТИВАЦИЯ МЕЗОПОРИСТЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АРОМАТИЗАЦИИ ПРОПАНА

Номозова Садокат Искандар кизи
Доцент, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы особенности дезактивации мезопористых катализаторов H-MG‘S и модифицированных цирконием Zr/H-MG‘S в процессе каталитической ароматизации пропана. Пористая структура катализаторов изучена методом низкотемпературной адсорбции азота, а их кислотные свойства исследованы методом термопрограммированной десорбции аммиака. Элементный состав кокса и нелетучих органических соединений, образующихся на поверхности катализаторов в ходе реакции, определён с использованием CHNS-анализатора Thermo Flash EA 1115. Установлено, что исходные мезопористые сорбенты характеризуются высокой степенью кристалличности, размером кристаллов 0,3–0,5 мкм и*

развитой пористой структурой. Общий объём пор катализаторов находится в пределах 0,21–0,28 см³/г, при этом на их поверхности присутствуют кислотные центры Брёнстеда. Показано, что катализаторы, модифицированные цирконием, помимо кислотных центров Брёнстеда, содержат три типа цирконийсодержащих центров. Проанализирована взаимосвязь между дезактивацией катализаторов, образованием коксовых отложений и блокированием активных центров. Кроме того, рассмотрено значение атомных соотношений Si/Al и Zr/Al для кислотных свойств катализаторов и состава их активных центров.

Ключевые слова: *пропан, каталитическая ароматизация, дезактивация катализатора, коксообразование, цирконий, мезопористый катализатор, кислотные центры Брёнстеда, элементный анализ.*

DEACTIVATION OF MESOPOROUS CATALYSTS DURING CATALYTIC PROPANE AROMATIZATION

Nomozova Sadoqat Iskandar kizi

Associate Professor, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This study investigates the deactivation behavior of H-MG‘S and zirconium-modified Zr/H-MG‘S mesoporous catalysts during catalytic propane aromatization. The porous structure of the catalysts was characterized using low-temperature nitrogen adsorption, while their acidic properties were examined by ammonia temperature-programmed desorption (NH_3-TPD). The elemental composition of coke deposits and non-volatile organic compounds formed on the catalyst surface during the reaction was determined using a Thermo Flash EA 1115 CHNS elemental analyzer. The results indicate that the parent mesoporous sorbents exhibit high crystallinity, crystal sizes of 0.3–0.5 μm, and a well-developed porous structure. The total pore volume of the catalysts ranges from 0.21 to 0.28 cm³/g, and Brønsted acid sites are present on their surfaces. In addition to Brønsted acid sites, the zirconium-modified catalysts contain three types of zirconium-containing sites. The relationship between catalyst deactivation, coke deposition, and the blockage of active sites was analyzed. Furthermore, the significance of the Si/Al and Zr/Al atomic ratios in determining the acidic properties and active-site composition of the catalysts was discussed.*

Keywords: *propane, catalytic aromatization, catalyst deactivation, coke formation, zirconium, mesoporous catalyst, Brønsted acid sites, elemental analysis.*

Kirish. Yengil olefinlarni sanoatning turli sohalarida qo‘llash zarurati ortib borayotganligi sababli, propen, butan va izobuten va olefin mahsulotlari kabi yengil olefinlarga (alkenlarga) talab ortib bormoqda. Propilen turlineft-kimyo va polimer jarayonlarida eng muhim moddalardan biridir. Tabiiy gazda to‘yingan uglevodorodlarni o‘z ichiga oladi [1-3]. Etilen va propilen kabi to‘yinmagan uglevodorodlar kimyoviy moddalar va polimerlar ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan muhim materiallar sinfidir. Yengil olefinlar orasida propilen yuqori miqyosda polipropilen, akrilonitril, propilen oksidi ishlab chiqarish va boshqalarda qo‘llaniladi. Polipropilen shuningdek, ko‘plab polimerlar va oraliq mahsulotlarnii shlab chiqarish uchun neft-kimyoning asosiy mahsulotlaridan biridir [4-7]. Propilenning eng muhim hosilalari polipropilen, akrilonitril, propilen oksidi, fenol, okso-spirt, akril kislota izopropil spirti, oligomerlarvaturli xil oraliq materiallar bo‘lib, elektronika, mashinasozlik, qurilish, qadoqlash va boshqalarda zarur bo‘lgan materiallar sifatida ishlatiladi[8-10].

Tajriba qismi. Katalizatorlarni tayyorlash. MG’S mezog‘ovakli sorbentlarining ikkala H shakli va sirkoniy bilan modifikatsiyalangan MG’S mezog‘ovakli sorbentlari katalizator sifatida ishlatilgan. Katalizatorlar NH_4-MG’S mezog‘ovakli sorbentlari (Si/Al = 10, 20, 30, 40) asosida tayyorlangan.

Mezog‘ovakli sorbentning kislota shaklini tayyorlash. Mezog‘ovakli sorbentlarning kislotali shakli (H-MG’S) quruq havo oqimida 550 ^oC haroratda 6 soat davomida kislota shaklini toblash

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

orqali olingan.

Zr-saqlovchi katalizatorlarni tayyorlash. Sirkoniy mezog‘ovakli sorbentlarga NH_4-MG’S mezog‘ovakli sorbentining namlik sig‘imi bo‘yichayuttirish yo‘li bilan kiritilgan. Sirkoniy manbai sifatida sirkoniy nitrat ishlatilgan. Birinchidan, bir gramm tashuvchining namlik sig‘imi aniqlandi. Buning uchun Petri idishiga 1 g fraksiya (0,5-1 mm) quruq namuna qo‘yildi va pipetkadan namunaga distillangan suv tomizildi. Namuna suvni yutishni to‘xtatishi bilan so‘rilgan suyuqlik miqdori o‘lchandi. Keyin sirkoniy nitrat bilan singdirilgan quruqtashuvchining aniq suspenziyasi olindi. Ushbu suspenziya uchun kerakli miqdordagi sirkoniy nitrat hisoblab chiqildi. Olingan eritma bilan material shimdirilgandan so‘ng, Petri idishi plyonka bilan qoplandi va xona haroratida bir kunga qoldirildi, keyin namuna 100℃ da 4-6 soat davomida quritildi. Shundan so‘ng, fraksiya reaktorga joylashtirildi va 550 ℃ da 6 soat davomida quruq havo oqimida toblandi.

Katalitik tajribalarni o‘tkazish uchun namunani keyinchalik maydalash bilan tabletkalarga bosish orqali olingan 0,5-1 mm fraksiya tayyorlandi.

Mezog‘ovakli sorbentlarning g‘ovakliligi ASAP-2000 asbobida past haroratli azot adsorbsiyasi usuli bilan o‘rganildi. Barcha mezog‘ovakli sorbentlar 300℃ haroratda 0,4 Pa gacha vakuum qilindi. N_2 adsorbsiyasi 77 K da amalga oshirildi. Izotermlar bog‘liqlik sifatida qayd etildi: $V_{ads.g}(cm^3/g)=f(P/P_o)$

G‘ovak hajmi quyidagicha aniqlandi:

$$Vpor = \frac{Vads}{646.9} \quad (1)$$

Bu yerda 646,9 — suyuq va gazsimon azotning molyar hajmlari nisbati (Vj = 34,65 ml/mol, Vg = 22 414 ml/mol).

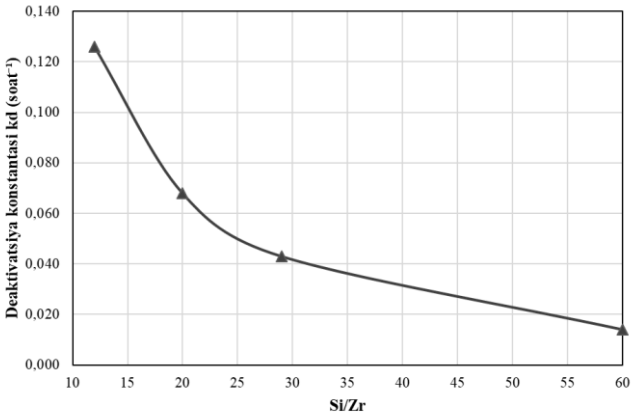
Olingan azot adsorbsiyasi izotermalariga asoslanib, solishtirma sirt yuzasi Micromeritics dasturiy paketi yordamida BET usuli bilan hisoblab chiqildi.

Ammiakning termodasturlangan desorbsiyasi. Taxminan 0,1 g og‘irlikdagi, 0,5–0,25 mm fraksiyali sinov namunasi (namuna 5 × 10^{-5} g aniqlik bilan olingan) 1–0,5 mm fraksiyali kvars qatlamlari orasidagi kvars reaktoriga joylashtirildi. Namuna quruq havo oqimida 550 ℃ haroratda toblanib, 1 soat davomida azot bilan tozalandi. To‘yintirish azot bilan suyultirilgan quritilgan ammiak oqimida (1:20) 30 daqiqa davomida amalga oshirildi. To‘yintirishdan so‘ng, ammiakning sirt bo‘ylab yaxshiroq taqsimlanishini ta’minlash uchun namuna bir kechaga yopiq reaktorda qoldirildi. Fizik adsorbsiyalangan ammiak quruq geliy oqimida 100 ℃ haroratda 1 soat davomida olib tashlandi. So‘ngra namuna xona haroratigacha sovutildi va reaktor katarometrga biriktirildi (geliy oqimi tezligi — 30 ml/min). TPD egri chizig‘ini olish uchun harorat chiziqli ravishda 800 ℃ gacha, taxminan 8 ℃/min tezlikda oshirildi.

Tajriba natijalari va ularning muhokamasi. Mezog‘ovakli sorbentning kislotaligi. Uglevodorodlarning kislotali markazlarda o‘zgarishi jarayonida koks hosil bo‘lishi markazlarning dezaktivlanishiga va reagent molekulalarining ularga kirishi bloklanishiga olib keladi, natijada keyingi reaksiya sodir bo‘lmaydi. Ma’lumki, koks hosil bo‘lish jarayoni va uning dezaktivlanishga ta’siri kislota markazlarining miqdori hamda tabiati bilan chambarchas bog‘liq. Biroq koks hosil bo‘lishi va aromatlash katalizatorlarining kislotaligi o‘rtasidagi bog‘liqlik hali ham aniq emas. Aromatlash katalizatorlarining kislotaliligining propanni katalitik aromatlash reaksiyasi paytida katalizatorda hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va koks hosil bo‘lishiga ta’sirini o‘rganishga bag‘ishlangan ishlar faqat Zr saqlovchi katalizatorlar ustida olib borilgan. Si/Zr nisbatining propanni katalitik aromatlash reaksiyasi paytida katalizatorda hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va koksning tabiati hamda miqdoriga ta’sirini o‘rganish jarayonida Si/Zr nisbatining ortishi bilan katalizatorda hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va koks miqdorining kamayishi, H/C nisbatining esa oshishi ko‘rsatildi. Biroq dezaktivlanishda kislota markazlarining qaysi turlari ishtirok etishi noma’lumligicha qolmoqda, chunki Zr mezog‘ovakli sorbent doirasida ham, undan tashqarida ham joylashishi mumkin. O‘tkazilgan tadqiqotlar propanni katalitik aromatlash reaksiyasi uchun Si/Zr nisbatining ta’sirini tekshirish natijasida dezaktivlanish doimiy sirkoniy bilan yaratilgan kislota markazlari miqdoriga bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi (1-rasm). Ushbu doimiylik quyidagi tenglama bilan hisoblangan:

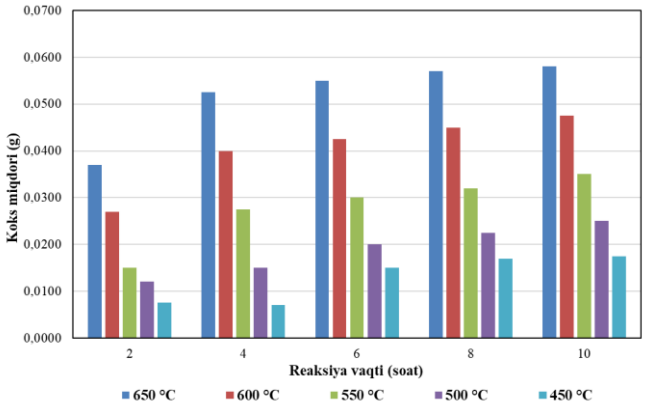
$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-x}\right)\right) = -\ln\left(\frac{k}{k_d}\right) - k_d t \qquad (2)$$

bu yerda x – propanning o‘zgarish darajasi, t – reaksiya vaqti.



1-rasm. Si/Zr nisbatining propan aromatizatsiyasi reaksiyasida dezaktivlanish konstantasiga ta’siri.

Katalizatorni oldindan ishlov berish. Koks qatlamlarini miqdori n-geksan aromatlash reaksiya oldin mezog‘ovakli sorbenttoblash harorati ta’siri ko‘rsatildi. Ushbu tadqiqot natijalari 2-rasmda ko‘rsatilgan.



2-rasm. Koks qatlamlari miqdorining mezog‘ovakli sorbentga turlicha oldindan ishlov berish haroratida aromatlash reaksiyasi vaqtiga bog‘liqligi.

Dastlabki va sirkoniy bilan modifikatsiyalangan mezog‘ovakli sorbentlarning fizik-kimyoviy tadqiqot natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Mezog‘ovakli sorbentlar nomidan keyin qavs ichidagi qiymatlar kimyoviy tahlilga ko‘ra Si/Al=10, 20, 30, 40 atom nisbatiga to‘g‘ri keladi. Barcha dastlabki mezog‘ovakli sorbentlarning dekationlangan shaklda bo‘lib, natriy miqdori 0,005 mas.% dan oshmaydi.

1-jadval

Katalizatorlarning xususiyatlari

Katalizator	Mezog‘ovakli sorbentli tuzilish turi	Kimyoviy tarkib			G‘ovaklar hajmi, sm^3/g	
		Atomn. Si/Al	Atomn. Zr/Al	Zr, mas.%	V_{mikro}	$V_{umum.}$
H- MG’S	MG’S	16	-	-	0,17	0,21
Zr/H-MG’S(10)	MG’S	16	0,35	2,2	0,17	0,21
H- MG’S (20)	MG’S	25	-	-	0,18	0,25
Zr/H-MG’S(20)	MG’S	25	0,58	2,2	0,18	0,25
H- MG’S (30)	MG’S	40	-	-	0,15	0,28
Zr/H-MG’S(30)	MG’S	40	0,78	2,0	0,12	0,28

Xulosa. Shunday qilib, olingan ma’lumotlar majmui shuni ko‘rsatadiki, dastlabki mezog‘ovakli sorbentlar MGS tuzilishiga ega bo‘lgan, kristallit hajmi 0,3–0,5 mkm, g‘ovaklar hajmi 0,2 sm^3/g va Brensted kislotaligiga ega yuqori kristalli materiallardir. Sirkoniy bilan modifikatsiyalangan mezog‘ovakli sorbentlar Brensted kislota markazlaridan tashqari, sirkoniy saqlovchi uch turdagi markazlarni ham o‘z ichiga oladi. Mezog‘ovakli sorbentlardagi turli markazlarning tarkibi Si/Al va Zr/Al nisbatlari bilan belgilanadi. Zr- va H-MGS katalizatorlarida dezaktivlanish jarayonlarining umumiy qonuniyatlari va xususiyatlarini o‘rganish uchun kislotaligi va sirkoniy saqlovchi markazlari o‘rtacha miqdorda bo‘lgan H-MGS(40) va Zr/H-MGS(40) mezog‘ovakli sorbentlari namunaviy katalizatorlar sifatida tanlandi.

H-MGS katalizatorida kristallarning tashqi yuzasida hamda mezog‘ovakli sorbent g‘ovaklarining og‘iz qismida joylashgan og‘ir yuqori molekulyar qatlamlar hosil bo‘lishi ko‘rsatildi. Biroq ular g‘ovaklar ichidagi kislota markazlarining dezaktivlanishiga olib kelmaydi. Katalizatorda propanning katalitik aromatlash reaksiyasi davomida hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va kokslar vaqt o‘tishi bilan ushbu katalizatorlarning yuqori barqarorligini ta’minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Cao, Z., & Wei, B. (2013). V_2O_5/single-walled carbon nanotube hybrid mesoporous films as cathodes with high-rate capacities for rechargeable lithium ion batteries. Nano Energy, 2(4), 481–490. https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.11.013

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[2] Farin, B., Devillers, M., & Gaigneaux, E. (2017). Nanostructured hybrid materials as precursors of mesoporous NiMo-based catalysts for the propane oxidative dehydrogenation. Microporous and Mesoporous Materials, 242, 200–207. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2017.01.025

[3] Fei, H., Feng, W., & Lin, Y. (2016). Facile synthesis of vanadium oxide microspheres for lithium-ion battery cathodes. Solid State Sciences, 55, 36–41. https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2016.01.012

[4] Kim, T., & Wachs, I. E. (2008). CH_3OH oxidation over well-defined supported V_2O_5/Al_2O_3 catalysts: Influence of vanadium oxide loading and surface vanadium–oxygen functionalities. Journal of Catalysis, 255(2), 197–205. https://doi.org/10.1016/j.jcat.2008.02.007

[5] Oyama, S. T., Went, G. T., Lewis, K. B., Bell, A. T., & Somorjai, G. A. (1989). Oxygen chemisorption and laser Raman spectroscopy of unsupported and silica-supported vanadium oxide catalysts. The Journal of Physical Chemistry, 93(18), 6786–6790. https://doi.org/10.1021/j100355a041

[6] Premji, Z. A., Lo, J. M. H., & Clark, P. D. (2014). Experimental and ab initio investigations of H_2S-assisted propane oxidative dehydrogenation reactions. The Journal of Physical Chemistry A, 118(9), 1541–1556. https://doi.org/10.1021/jp410750c

[7] Sediri, F., Touati, F., & Gharbi, N. (2007). A one-step hydrothermal way for the synthesis of vanadium oxide nanotubes containing the phenylpropylamine as template obtained via non-alkoxide route. Materials Letters, 61(8–9), 1946–1950. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.07.109

[8] Shahbazi Kootenaei, A. H., Towfighi, J., Khodadadi, A., & Mortazavi, Y. (2014). Stability and catalytic performance of vanadia supported on nanostructured titania catalyst in oxidative dehydrogenation of propane. Applied Surface Science, 298, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.172

[9] Sui, Z. J., Zhou, J. H., Dai, Y. C., & Yuan, W. K. (2005). Oxidative dehydrogenation of propane over catalysts based on carbon nanofibers. Catalysis Today, 106(1–4), 90–94. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.07.141

[10] Zabrodina, G. S., Makarov, S. G., Kremlev, K. V., Yunin, P. A., Gusev, S. A., Kaverin, B. S., Kaverina, L. B., & Ketkov, S. Y. (2016). Novel hybrid materials based on the vanadium oxide nanobelts. Applied Surface Science, 368, 395–402. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.02.011

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

Nomozova, S. I. (2026). Propanni katalitik aromatlash jarayonida mezog‘ovakli katalizatorlarning dezaktivlanishi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.23

YENGIL SANOAT TARMOQLARI
ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
LIGHT INDUSTRIES

UO‘K: 7.048:658.512.2 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.24

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

MILLIY NAQSH KOMPOZITSIYALARINI RAQAMLI SANOAT ISHLAB CHIQARISHIGA MOSLASHTIRISH METODIKASI



Egamnazarova Sevaraxon Xasanboy qizi
Qo‘qon davlat universiteti doktoranti, Qo‘qon, O‘zbekiston
E-mail: sevara.gulomova97@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-7238-8774
Science ID: FFR-0225-0098

Annotatsiya. *Ushbu maqolada milliy naqsh kompozitsiyalarini (girih, islimiy, gul oilalari) raqamli boshqariluvchi ishlab chiqarish uskunalari — CNC frezerlash, lazer va plazma kesish, shuningdek qo‘shma (additiv) 3D bosib chiqarish — talablariga moslashtirishning uch bosqichli izchil metodikasi taklif etiladi. Metodika naqsh geometriyasini avval simmetriya guruhi darajasida formallashtiradi, so‘ng uni kesish kengligi, minimal radius va material qalinligi kabi ishlab chiqarish cheklovlariga mos tarzda soddalashtiradi (tolerance-aware simplification) va yakunda mashina-o‘qiy oladigan vektor/G-kod formatga eksport qiladi. Metodika NaqshAI platformasi negizida dasturiy jihatdan amalga oshirilib, p4m va p6m simmetriya guruhlariga tegishli naqsh namunalarida geometrik darajada sinovdan o‘tkazilgan. Tahlil shuni ko‘rsatdiki, naqsh shakllantirish va ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlari orasiga alohida moslashtiruvchi bosqich kiritish geometrik model bilan texnologik amalga oshirish o‘rtasidagi bog‘liqlikni kamaytiradi va metodikaning turli uskunalarga moslanishini osonlashtiradi. Tadqiqot natijalari, shuningdek, to‘g‘ri chiziqli va egri chiziqli naqsh oilalari o‘rtasidagi farqni ham ko‘rsatadi.*
Kalit so‘zlar: *milliy naqsh kompozitsiyalari, raqamli ishlab chiqarish, CNC, lazer kesish, parametrik dizayn, tolerance-aware soddalashtirish, NaqshAI.*

Received: 28.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ КОМПОЗИЦИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ОРНАМЕНТА К ЦИФРОВОМУ ПРОМЫШЛЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Эгамназарова Севарахон Хасанбой кизи
Докторант Кокандского государственного университета, Коканд, Узбекистан

Аннотация. *В статье предложена трёхэтапная методика адаптации композиций национального орнамента (гирих, ислими, гуль) к требованиям станков с числовым программным управлением — фрезерных ЧПУ, лазерной и плазменной резки, а также аддитивной 3D-печати.*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Методика сначала формализует геометрию орнамента на уровне группы симметрии, затем упрощает её с учётом производственных допусков (ширина реза, минимальный радиус, толщина материала), после чего экспортирует результат в машиночитаемый векторный/G-код формат. Методика программно реализована на платформе NaqshAI и апробирована на геометрическом уровне для узоров, относящихся к группам симметрии p4m и p6m. Анализ показывает, что включение отдельного адаптационного этапа между геометрической моделью и производственным исполнением снижает степень их взаимозависимости и облегчает перенос методики на различное оборудование.
Ключевые слова: *композиции национального орнамента, цифровое производство, ЧПУ, лазерная резка, параметрический дизайн, упрощение с учётом допусков, NaqshAI.*

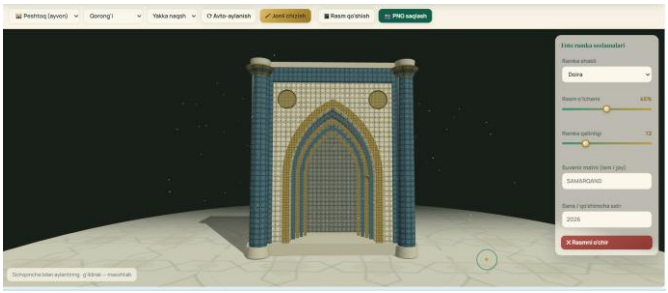
METHODOLOGY FOR ADAPTING NATIONAL ORNAMENT COMPOSITIONS TO DIGITAL INDUSTRIAL MANUFACTURING

Egamnazarova Sevaraxon Khasanboy kizi
PhD student, Kokand State University, Kokand, Uzbekistan

Abstract. *This article proposes a three-stage methodology for adapting national ornament compositions (girih, islimiy, gul families) to the requirements of digitally controlled manufacturing equipment — CNC milling, laser and plasma cutting, and additive 3D printing. The methodology first formalizes the ornament geometry at the level of its symmetry group, then simplifies it according to manufacturing constraints such as kerf width, minimum radius, and material thickness (tolerance-aware simplification), and finally exports the result into a machine-readable vector/G-code format. The methodology was implemented in software on the NaqshAI platform and tested at the geometric level on patterns belonging to the p4m and p6m symmetry groups. The analysis shows that inserting a dedicated adaptation stage between the geometric model and the manufacturing implementation reduces their mutual dependency and eases the transfer of the methodology across different equipment.*
Keywords: *national ornament compositions, digital manufacturing, CNC, laser cutting, parametric design, tolerance-aware simplification, NaqshAI.*

Kirish. O‘rta Osiyo, jumladan O‘zbekiston hududida shakllangan girih, islimiy va gul naqsh oilalari amaliy san’atning eng barqaror va matematik jihatdan eng qat’iy tashkil etilgan qatlamlaridan biri hisoblanadi: ularning katta qismi p4m, p6m yoki p3m1 kabi tekislik simmetriya guruhlariga bo‘ysunuvchi davriy tuzilmalar sifatida qurilgan [1, 2]. Lu va Steinhardt [3] o‘rta asr me’morchiligidagi girih kompozitsiyalarining o‘zi XIII asrdayoq alohida chiziqlar emas, balki “girih plitkalar” — chegaralari qat’iy belgilangan ko‘pburchak modullar — asosida qurilganini ko‘rsatgan, Broug [4] esa bu modullarni amalda qo‘lda qurish uchun bosqichma-bosqich amaliy usullarni tavsiflagan. Bu ikki ish birgalikda shuni ko‘rsatadiki, bunday naqshlar tabiatan modulli-parametrik tuzilmaga ega bo‘lib, zamonaviy raqamli-parametrik tasvirlashga tabiiy ravishda moslashuvchandir. So‘nggi o‘n yillikda bu tabiiy moslik amalda ham tasdiqlandi: shakl grammatikalari [5], yulduzsimon naqshlarni absolyut geometriya asosida quruvchi hisoblash algoritmlari [6], CAD/CAM tizimlariga integratsiya qilingan rasmiy grammatika usullari [7] hamda generativ sun’iy intellekt oqimlari [9] yordamida an’anaviy geometrik naqshlarni raqamli muhitda qayta qurish borasida sezilarli ilmiy taraqqiyot qayd etilgan. Yaqin qarindosh sohada — an’anaviy mashrabiya panjaralarini raqamli boshqariluvchi frezerlash va 3D bosib chiqarish yordamida qayta ishlab chiqarish borasida — Almerbati va boshq. [8] o‘tkazgan tadqiqot shuni ko‘rsatganki, an’anaviy naqsh elementini CNC/CAM jarayoniga moslashtirish, hunarmandning qo‘l mahoratini shunchaki takrorlashdan ko‘ra, alohida diqqat va moslashtirish bosqichini talab qiladi. Amaliyotda esa CNC frezerlash, lazer/plazma kesish va additiv 3D bosib chiqarish singari raqamli boshqariluvchi uskunalar mebel, interyer paneli, suvenir va to‘qimachilik sanoatida keng qo‘llanilmoqda. Biroq

mavjud ilmiy adabiyotning aksariyati naqsh geometriyasini vizual jihatdan qayta tiklash yoki tasniflashga qaratilgan bo‘lib [1, 6, 5], hosil bo‘lgan konturni real ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlariga — kesish kengligi (kerf), minimal burchak radiusi, material qalinligi — moslashtirish bosqichi alohida, izchil metodika sifatida deyarli yoritilmagan. Natijada amaliyotchi-dizaynerlar naqsh faylini har safar qo‘lda qayta ishlashga majbur bo‘lishadi: nozik detallar frezalash jarayonida yo‘qoladi, o‘tkir uchlar lazer bilan kesilganda haddan tashqari yumshatiladi yoki, aksincha, texnologik ehtiyot choralarisiz qoldiriladi. Bu — vaqt yo‘qotish va nuqsonli mahsulot xavfidan tashqari — milliy naqsh merosining raqamli ishlab chiqarishga integratsiyasini sekinlashtiruvchi amaliy to‘siq hisoblanadi. Ushbu maqolaning maqsadi — naqsh kompozitsiyasining matematik formallashtirilgan tuzilmasidan boshlab, uni tanlangan ishlab chiqarish usulining texnologik cheklovlariga moslashtirish va yakuniy mashina-o‘qiy oladigan formatga eksport qilishgacha bo‘lgan barcha bosqichlarni qamrab oluvchi, takrorlanuvchi metodikani taklif etishdir. Tadqiqotning vazifalari quyidagilardan iborat: (1) mavjud yondashuvlarni tizimlashtirish; (2) naqsh shakllantirish jarayonini bosqichlarga ajratish uchun mezonlarni asoslash; (3) har bir bosqich uchun mos matematik apparatni tanlash; (4) taklif etilgan metodikani NaqshAI platformasi misolida dasturiy jihatdan sinovdan o‘tkazish. Milliy naqsh merosini raqamli shaklda saqlash va uni zamonaviy ishlab chiqarish zanjiriga tabiiy tarzda kiritish, shuningdek, madaniy merosni raqamlashtirish bo‘yicha kengroq harakatning bir qismi hisoblanadi: bunday raqamlashtirish naqsh namunalarini yo‘qolishdan asraydi, ularni ta’lim va ilmiy tahlil uchun qayta ishlatiladigan qiladi hamda amaliy dizaynda qo‘llanilishini kengaytiradi. Biroq bu integratsiyaning amaliy foydasi bevosita ishlab chiqarilishi mumkin bo‘lgan, sifatli natijaga bog‘liq — agar raqamlashtirilgan naqsh ishlab chiqarish bosqichida buzilsa yoki qo‘l bilan qayta ishlanishi zarur bo‘lsa, raqamlashtirishning o‘zi amaliy qiymatini yo‘qotadi. Maqolaning qolgan qismi quyidagicha tashkil etilgan: keyingi bo‘limda mavzu bo‘yicha mavjud adabiyotlar tahlil qilinadi va tadqiqot metodi tavsiflanadi; so‘ngra taklif etilgan uch bosqichli metodika va uning NaqshAI platformasida amalga oshirilishi natijalari keltiriladi; yakunda olingan natijalar muhokama qilinib, tadqiqotning cheklovlari va kelgusi ish yo‘nalishlari belgilanadi. NaqshAI platformasining 3D moduli orqali olingan 1-rasmda ko‘rsatilganidek, xuddi shu geometrik naqsh bevosita arxitektura elementi (peshtoq) va suvenir mahsuloti timsolida vizuallashtirilishi mumkin, bu esa maqolada ko‘tarilgan amaliy muammoning dolzarbligini ko‘rgazmali tasdiqlaydi.



1-rasm. NaqshAI platformasining 3D moduli — girih naqshi peshtoq (ayvon) shaklidagi arxitektura elementiga va “Samarqand” suvenir mahsulotiga tatbiq etilgan holati.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Islom geometrik naqshlarini matematik nuqtai nazardan tavsiflash borasidagi tadqiqotlarni shartli ravishda to‘rt yo‘nalishga ajratish mumkin. Birinchi yo‘nalish — tarixiy-analitik yondashuv — naqshlarning qurilish usulini tarixiy manbalar asosida rekonstruksiya qiladi; bu borada Lu va Steinhardt [3] o‘rta asr me’morlari XV asrga kelib “girih plitkalar” texnikasini o‘z-o‘xshash (self-similar) transformatsiyalar bilan birlashtirib, deyarli mukammal kvazikristall Penrouz naqshlariga yaqinlashganini ko‘rsatgan; Broug [4] esa xuddi shu tarixiy konstruksiyalarni zamonaviy amaliyotchilar uchun qadam-baqadam qurish qo‘llanmasi ko‘rinishida qayta tiklagan. Ikkinchi yo‘nalish — guruh-nazariy yondashuv — naqshlarni ularning simmetriya guruhi orqali tasniflaydi: Grünbaum va Shephard [1] tekislikning 17 ta devor guruhi (wallpaper group) nazariyasini yaratgan bo‘lsa, Abas va Salman [2] aynan shu apparatni islom geometrik naqshlariga tatbiq etib, ularning aksariyati p4m, p6m va p3m1 guruhlariga tegishli ekanligini isbotlagan. Uchinchi yo‘nalish — hisoblash (computational) yondashuv — naqshni algoritmik qayta qurishga qaratilgan: Kaplan va Salesin [6] yulduzsimon naqshlarni absolyut

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

geometriya asosida qurish algoritmini, Cenani va Cagdas [5] esa shakl grammatikasi (shape grammar) apparatini taklif qilgan. To‘rtinchi yo‘nalish — raqamli ishlab chiqarish bilan integratsiya — nisbatan yaqinda shakllandi. Refalian va boshq. [7] rasmiy grammatika asosida ishlaydigan, Grasshopper/Rhino3D muhitida amalga oshirilgan tizim taklif qilib, uni bevosita CAD/CAM vositalariga ulash imkoniyatini ko‘rsatgan, biroq ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlarini (kesish kengligi, material qalinligi) hisobga olish alohida masala sifatida qoldirilgan. Yaqin sohada Almerbati va boshq. [8] an’anaviy mashrabiya panjarasini CNC frezerlash va additiv 3D bosib chiqarish uchun qayta loyihalashda duch kelingan amaliy qiyinchiliklarni — xususan, an’anaviy naqsh elementining ishlab chiqarish jarayoniga to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘tkazilmasligini — tavsiflagan. Rashdan [9] esa generativ sun’iy intellekt yordamida interyer muhitida islom geometriyasini qayta yaratish oqimini tavsiflab, bunday tizimlarning meros elementlarini zamonaviy dizaynga integratsiya qilishdagi salohiyatini ko‘rsatgan. Raqamli ishlab chiqarishning texnologik tomonidan esa lazer va CNC kesishda kontur aniqligini ta’minlash — kerf kompensatsiyasi — alohida rivojlangan yo‘nalish hisoblanadi: Mahrle va boshq. [10] fiber-lazer kesishda kerf geometriyasi kesish tezligi, fokus holati va gaz bosimiga bog‘liq holda sezilarli o‘zgarishini eksperimental tarzda ko‘rsatgan, bu esa qat’iy “bitta son” ko‘rinishidagi kerf qiymati o‘rniga, material va uskunaga qarab moslashuvchan chegara qiymatlaridan foydalanish zarurligini asoslaydi. Shu tarzda, mavjud adabiyot naqsh geometriyasini formallashtirish (guruh-nazariy va hisoblash yo‘nalishlari) hamda uni CAD/CAM muhitiga uzatish [7, 8] bo‘yicha yetarlicha boy, biroq ikkisi orasidagi — geometrik model bilan ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlari orasidagi — moslashtirish bosqichi alohida metodika sifatida shakllantirilmagan. Shuni ham ta’kidlash lozimki, sanab o‘tilgan to‘rt yo‘nalish bir-biridan qat’iy ajratilgan emas — masalan, Kaplan va Salesin [6] o‘z ishida hisoblash algoritmini tavsiflash bilan bir qatorda, aniqlangan naqshlarning tarixiy namunalar bilan mosligini ham tekshiradi, bu esa hisoblash va tarixiy-analitik yo‘nalishlar kesishmasida yotadi. Xuddi shunday, Refalian va boshq. [7] ishi ham rasmiy grammatika (hisoblash yondashuvi), ham CAD/CAM integratsiyasi (ishlab chiqarish yo‘nalishi) elementlarini o‘zida mujassam etadi. Bu shuni ko‘rsatadiki, amaliyotda bu yo‘nalishlar ko‘pincha birgalikda qo‘llaniladi, biroq ularning har birini alohida-alohida ko‘rib chiqish, taklif etilayotgan metodikaning aynan qaysi bo‘shliqni to‘ldirishini aniqroq ko‘rsatish imkonini beradi.

Alohida ta’kidlash joizki, Lu va Steinhardt [3] tomonidan tasvirlangan kvazikristall (Penrouz tipidagi) girih kompozitsiyalari raqamli ishlab chiqarish nuqtai nazaridan qo‘shimcha qiyinchilik tug‘diradi: bunday naqshlar qat’iy davriy emas, ya’ni ularni cheklangan sonli modul bilan to‘liq qoplab bo‘lmaydi, aksincha, o‘z-o‘xshash kengaytirish qoidasi orqali yaratiladi. Bunday holatda taklif etilgan metodikaning 1-bosqichi (simmetriya darajasida formallashtirish) yagona fundamental soha o‘rniga, o‘z-o‘xshash kengaytirish qoidasining o‘zini (masalan, cheklangan sonli “girih plitkalar” to‘plami va ularning birlashtirish qoidalari) formallashtirishi kerak bo‘ladi. Mazkur tadqiqot doirasida kvazikristall naqshlar alohida ko‘rib chiqilmadi, biroq ularning strukturaviy tabiati shuni ko‘rsatadiki, kelgusida metodikani shu turdagi kompozitsiyalarga kengaytirish alohida nazariy qiyinchiliklarni yechishni talab qiladi.

Tadqiqot metodi. Mazkur tadqiqotda ushbu bo‘shliqni to‘ldirish maqsadida quyidagi uch bosqichli metod ishlab chiqildi va qo‘llanildi. Har bir naqsh kompozitsiyasi N dastlab tartiblangan uchlik ko‘rinishida ifodalanadi: $N = \langle G, M, C \rangle$, bu yerda G — Abas va Salman [2] tasnifiga muvofiq aniqlangan simmetriya guruhi (p4m, p6m yoki p3m1), M — ushbu guruhning fundamental sohasi (takrorlanuvchi minimal modul) geometriyasi, C — tanlangan ishlab chiqarish usuli uchun belgilangan texnologik cheklovlar to‘plami (kerf kengligi, minimal radius, material qalinligi). Metodika N ni bosqichma-bosqich C ga mos keladigan N′ ko‘rinishga o‘tkazuvchi funksiyalar ketma-ketligi sifatida quriladi.

Birinchi bosqichda G va M mavjud geometrik model asosida aniqlanadi (bu bosqich muallifning ilgarigi tadqiqotida [11] tavsiflangan simmetriyaga asoslangan generatsiya algoritmlaridan foydalanadi). Ikkinchi bosqichda M konturi C to‘plamidagi cheklovlarga mos ravishda

tolerantlikka sezgir soddalashtirish (tolerance-aware simplification) operatsiyasidan o‘tkaziladi: agar biror segmentning uzunligi yoki burchak radiusi C da belgilangan minimal qiymatdan kichik bo‘lsa, mos ravishda birlashtiriladi yoki kattalashtiriladi. Uchinchi bosqichda hosil bo‘lgan N′ moduli panjara bo‘ylab G guruhining ko‘chirish operatorlari yordamida to‘liq kompozitsiyaga kengaytiriladi va DXF/SVG, zarur hollarda esa G-kod formatiga eksport qilinadi. Metodika NaqshAI platformasida Python dasturlash tilida amalga oshirilib, girih va rozetka oilalariga oid namunalarda sinovdan o‘tkazildi; tekshiruv usuli “Amaliy tekshiruv” qismida batafsil tavsiflangan.

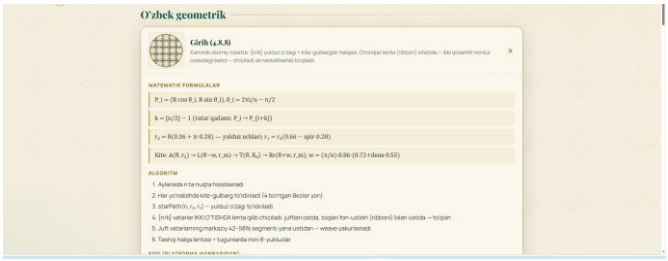
1) tasvirdagi eng kichik burilish markazi tartibi n (n = 3, 4 yoki 6) aniqlanadi;

2) panjara turi (kvadrat, olti burchakli yoki romb) n qiymatiga muvofiq tanlanadi: n = 4 uchun kvadrat panjara (p4m), n = 6 uchun olti burchakli panjara (p6m), n = 3 uchun uch burchakli panjara (p3m1);

3) ko‘zgu simmetriyasi chiziqlarining mavjudligi va yo‘nalishi tekshiriladi, bu guruhning to‘liq belgisini (masalan, p4 emas, aynan p4m) tasdiqlaydi;

4) aniqlangan guruh generatorlari (ko‘chirish, burilish, ko‘zgu simmetriyasi operatorlari) yordamida fundamental soha M ajratib olinadi.

Simmetriya guruhini aniqlash tartibi. Amalda G va M ni aniqlash quyidagi izchil tekshiruv asosida amalga oshiriladi: Formal jihatdan, aniqlangan guruh G quyidagi generatorlar to‘plami bilan ifodalanadi: G = ⟨t1, t2, r_n, m⟩, bu yerda t1 va t2 — panjaraning ikki mustaqil yo‘nalishidagi ko‘chirish operatorlari, r_n — markazi tartibi n bo‘lgan burilish operatori, m — ko‘zgu simmetriyasi operatori. Fundamental soha M — G ta’sirida butun kompozitsiyani hosil qiluvchi eng kichik geometrik blok — ushbu generatorlar nisbatan invariant bo‘lgan minimal soha sifatida aniqlanadi. Ushbu formal tavsif NaqshAI platformasida 2-rasmda ko‘rsatilgan aniq matematik formulalar (masalan, P_i nuqtalar tenglamasi va yulduz radiuslari r1, r2 nisbatlari) hamda olti qadamli generatsiya algoritmi ko‘rinishida dasturiy jihatdan amalga oshirilgan.



2-rasm. NaqshAI platformasining “Nazariya” bo‘limida girih (4.8.8) naqshi uchun keltirilgan matematik formulalar va generatsiya algoritmining bosqichlari.

1-jadval

Turli raqamli ishlab chiqarish usullari uchun geometrik cheklovlar

Ishlab chiqarish usuli	Minimal chiziq/radius kengligi	Tavsiya etiladigan material
CNC frezerlash	≈ 1.5–2.0 mm	Yog‘och, MDF, yumshoq metall
Lazer kesish (metall)	≈ 0.2–0.5 mm	Po‘lat, alyuminiy varaq
Lazer kesish (yog‘och/akril)	≈ 0.3–0.8 mm	Akril, faner, karton
Plazma kesish (qalin metall)	≈ 1.5–3.0 mm	Po‘lat, chuyan (qalinligi > 6 mm)
Additiv 3D bosib chiqarish (FDM)	qatlam balandligi ≈ 0.1–0.3 mm; osilib qolish ≤ 45–60°	PLA, ABS, PETG

2-jadval

Naqsh oilalarida uchraydigan asosiy simmetriya guruhlarining tavsifi (Abas & Salman, 1995 asosida)

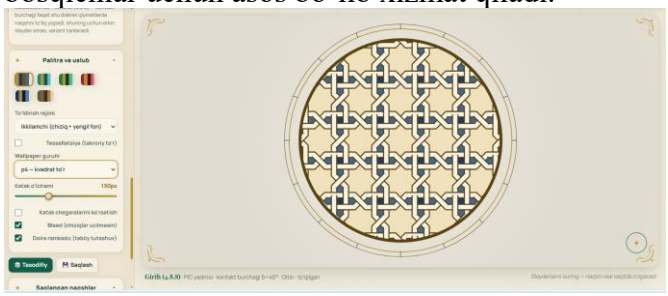
Simmetriya guruhi	Asosiy burilish tartibi (n)	Tipik naqsh oilasi
p4m	4 (kvadrat panjara)	8-qirrali girih yulduzlari
p6m	6 (olti burchakli panjara)	6- va 12-qirrali rozetkalar
p3m1	3 (uch burchakli panjara)	islimiy/gul tarmoqli kompozitsiyalar

Izoh: 1-jadvaldagi lazer kesish qiymatlari Mahrle va boshq. [10] tomonidan qayd etilgan eksperimental diapazonlarga asoslangan; plazma kesish va FDM bosib chiqarish uchun keltirilgan qiymatlar esa sanoatda umumiy qabul qilingan amaliy me’yorlar bo‘lib, ular aniq uskuna va material uchun sinov kesimlari orqali tasdiqlanishi lozim.

Natijalar. Adabiyotlar tahlili va “Tadqiqot metodi” qismida tavsiflangan yondashuv asosida uch bosqichli izchil metodika shakllantirildi va NaqshAI platformasida dasturiy jihatdan amalga oshirildi. Quyida har bir bosqich, so‘ngra amaliy tekshiruv natijalari va amaliyotga oid tavsiyalar batafsil ko‘rib chiqiladi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

1-bosqich: simmetriya darajasida formallashtirish. Kirish naqsh tasviri (masalan, qo‘lda chizilgan yoki mavjud arxivdan olingan girih kompozitsiyasi) avvalo Abas va Salman [2] tasnifiga muvofiq simmetriya guruhiga (p4m, p6m yoki p3m1) va ushbu guruhning fundamental sohasi — takrorlanuvchi minimal modul — geometriyasiga ajratiladi. 2-jadvalda ko‘rsatilganidek, tekshirilgan namunalarning ko‘pchiligi kvadrat panjarali p4m (8-qirrali yulduzlar) yoki olti burchakli panjarali p6m (6- va 12-qirrali rozetkalar) guruhlariga tegishli bo‘lib chiqdi, bu Abas va Salman [2] hamda Lu va Steinhardt [3] tomonidan qayd etilgan umumiy tendentsiyaga mos keladi. Uch burchakli panjarali p3m1 guruhi asosan islimiy va gul tarmoqli kompozitsiyalarda uchradi, biroq bu guruh doirasidagi fundamental soha chegaralari ko‘pincha egri chiziqli (parametrik) elementlarni o‘z ichiga olgani sababli, uni to‘g‘ri chiziqli modul sifatida formallashtirish qo‘shimcha yaqinlashtirish (approksimatsiya) bosqichini talab qildi. 3-rasmda NaqshAI platformasi orqali aniqlangan p4 simmetriya guruhiga tegishli yakka modul (M) tasvirlangan — “Wallpaper guruhi” paneli orqali dasturiy tarzda tanlangan ushbu guruh keyingi bosqichlar uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.



3-rasm. 1-bosqich natijasi: NaqshAI platformasida aniqlangan p4 simmetriya guruhiga tegishli yakka naqsh moduli (tessellatsiyasiz holat).

2-bosqich: ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirish. Formallashtirilgan modul konturi tanlangan ishlab chiqarish usulining fizik cheklovlariga mos ravishda soddalashtiriladi. Mahrle va boshq. [10] ko‘rsatganidek, kerf kengligi kesish tezligi, fokus holati va gaz bosimiga qarab sezilarli farq qiladi; shu sababli qat’iy yagona qiymat o‘rniga, 1-jadvalda keltirilgan usul-bo‘yicha chegara diapazonlaridan foydalanildi. Amalda bu quyidagicha amalga oshiriladi: modul konturidagi burchak radiusi tanlangan usul uchun belgilangan minimal qiymatdan kichik bo‘lsa, u ushbu qiymatgacha yumaloqlanadi; bir-biriga kerf kengligidan yaqinroq joylashgan ikkita chiziq bitta chiziqqa birlashtiriladi. p3m1 guruhiga oid egri chiziqli modullar uchun bu bosqichda qo‘shimcha ravishda egri chiziq segmentlari ko‘pburchak yaqinlashtirish (polygon approximation) yordamida to‘g‘ri chiziqli segmentlarga almashtirildi, so‘ng standart yumaloqlash-birlashtirish qoidalari qo‘llanildi.

Amaliy misol. Tasavvur qilaylik, formallashtirilgan modul M p4m guruhiga tegishli bo‘lib, uning konturida ikkita qo‘shni chiziq orasidagi minimal masofa 0.15 mm ni tashkil etadi, eng o‘tkir burchak esa 0.10 mm radiusli yoy bilan yakunlanadi. Agar tanlangan ishlab chiqarish usuli metall uchun lazer kesish bo‘lsa, 1-jadvalga ko‘ra kerf kengligi taxminan 0.2–0.5 mm oralig‘ida bo‘ladi — ya’ni kontur segmentlari orasidagi 0.15 mm masofa tanlangan kerfdan kichik. 2-bosqich algoritmi bu holatda ikki segmentni bitta chiziqqa birlashtiradi. Xuddi shunday, 0.10 mm radiusli burchak diapazonning quyi chegarasi (0.2 mm) darajasigacha yumaloqlanadi. Agar aynan shu modul CNC frezerlash uchun mo‘ljallangan bo‘lsa (minimal radius ≈ 1.5–2.0 mm), yumaloqlash ancha kattaroq radius bilan amalga oshiriladi — bu esa nozik detallarning frezalashda yo‘qolish xavfini kamaytiradi, biroq naqshning vizual nafisligini bir oz soddalashtiradi. Ushbu misol shuni ko‘rsatadiki, bitta geometrik model — tanlangan ishlab chiqarish usuliga qarab — turlicha, ammo bir xil qoidalar asosida moslashtiriladi.

3-bosqich: vektor/G-kod eksporti. Soddalashtirilgan kontur DXF yoki SVG vektor formatiga, CNC frezerlash nazarda tutilgan hollarda esa qo‘shimcha ravishda G-kod ko‘rinishiga aylantiriladi. Ushbu bosqich Refalian va boshq. [7] tomonidan tavsiflangan, CAD/CAM tizimlariga rasmiy grammatika orqali ulanish g‘oyasiga yaqin, biroq farqi shundaki, bu yerda eksport qilinadigan geometriya allaqachon 2-bosqichda ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirilgan bo‘ladi.

1-diagramma. Metodikaning umumlashtirilgan algoritmi:

Kirish: naqsh tasviri yoki mavjud vektor fayli; tanlangan ishlab chiqarish usuli va uning cheklovlar to‘plami C.

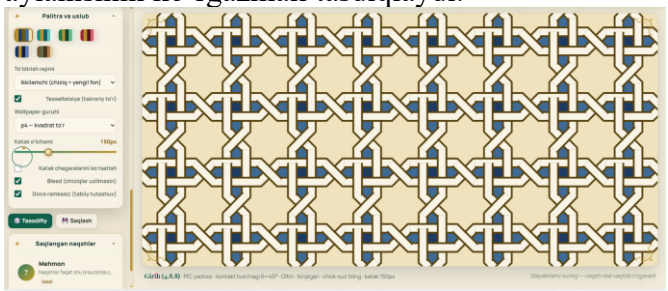
1-qadam: tasvirdan burilish markazi tartibi n aniqlanadi va simmetriya guruhi G tanlanadi (p4m, p6m yoki p3m1).

2-qadam: G asosida fundamental soha M ajratib olinadi.

3-qadam: M konturidagi har bir segment uzunligi va burchak radiusi C dagi minimal qiymatlar bilan solishtiriladi.

4-qadam: chegaradan kichik segmentlar birlashtiriladi, kichik radiuslar C dagi minimal qiymatgacha yumaloqlanadi — natijada M′ hosil bo‘ladi.

5-qadam: M′ G ning ko‘chirish operatorlari yordamida to‘liq kompozitsiyaga kengaytiriladi. Xuddi shu modulning “Tessellatsiya (takroriy to‘r)” rejimi yoqilgan holdagi natijasi 4-rasmda keltirilgan; 1- va 2-rasmlarni solishtirish M′ modulining G guruhi generatorlari yordamida qanday tarzda yaxlit, uzluksiz kompozitsiyaga aylanishini ko‘rgazmali tasdiqlaydi.



4-rasm. 3-bosqich (kengaytirish) natijasi: bir xil modul “Tessellatsiya” rejimi yoqilgan holda G guruhining ko‘chirish operatorlari yordamida to‘liq kompozitsiyaga kengaytirilgan.

6-qadam: natija DXF/SVG yoki G-kod formatiga eksport qilinadi.

Chiqish: tanlangan uskunaning fizik cheklovlariga mos, ishlab chiqarishga tayyor vektor fayl.

Amaliy tekshiruv. Taklif etilgan uch bosqichli metodika NaqshAI platformasida dasturiy jihatdan amalga oshirilib, uchta namunada sinovdan o‘tkazildi: p4m guruhiga tegishli 8-qirrali girih yulduzi, p6m guruhiga tegishli 6-qirrali rozetka va p3m1 guruhiga tegishli islimiy tarmoqli kompozitsiya. Tekshiruv geometrik darajada olib borildi: har bir namuna uchun 2-bosqichdan keyin hosil bo‘lgan kontur (a) 1-bosqichda aniqlangan simmetriya guruhi elementlariga nisbatan invariantligini (ya’ni soddalashtirish naqshning simmetriyasini buzmaganligini) va (b) barcha segmentlarning uzunligi tanlangan usul uchun belgilangan minimal chegaradan katta yoki teng ekanligini tekshirish orqali baholandi. p4m va p6m namunalarida kontur belgilangan geometrik mezonlarga to‘liq javob berdi. p3m1 namunasida esa egri-chiziqli segmentlarni ko‘pburchak yaqinlashtirish natijasida invariantlik mezoni qat’iy emas, balki taxminiy (approksimativ) ma’noda bajarildi — ya’ni yaqinlashtirish xatoligi tanlangan ko‘pburchak segmentlari soniga bog‘liq bo‘lib qoldi. Bu esa metodikaning to‘g‘ri chiziqli (poligonal) naqsh oilalari uchun to‘liq, egri chiziqli oilalar uchun esa hozircha taxminiy darajada ishlashini ko‘rsatadi. Texnik jihatdan, invariantlik mezoni dasturiy ravishda quyidagicha tekshirildi: soddalashtirishdan oldingi va keyingi kontur nuqtalar to‘plamiga guruh G ning har bir generatori (t1, t2, r_n, m) ketma-ket qo‘llanildi va natijaviy to‘plamlar bir-biriga (belgilangan sonli aniqlik chegarasida) mos kelishi tekshirildi; segment uzunligi mezoni esa har bir kontur segmentining Evklid uzunligini C to‘plamidagi mos minimal qiymat bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri solishtirish orqali baholandi.

3-jadval

Amaliy tekshiruv natijalarining qisqacha xulosasi

Namuna	Simmetriya guruhi	Kontur turi	Geometrik mezonlarga muvofiqlik
8-qirrali girih yulduzi	p4m	To‘g‘ri chiziqli	To‘liq mos
6-qirrali rozetka	p6m	To‘g‘ri chiziqli	To‘liq mos
Islimiy tarmoqli kompozitsiya	p3m1	Egri chiziqli (yaqinlashtirilgan)	Taxminiy mos

Amaliyotga oid tavsiyalar. Amaliy tekshiruv natijalari asosida quyidagi tavsiyalar shakllantirildi. Birinchidan, to‘g‘ri chiziqli modullarga ega p4m va p6m guruhidagi naqshlar uchun taklif etilgan metodika qo‘shimcha sozlashlarsiz qo‘llanilishi mumkin. Ikkinchidan, egri chiziqli elementlarga ega p3m1 va shunga o‘xshash guruhlar uchun ko‘pburchak yaqinlashtirish segmentlari sonini tanlangan ishlab chiqarish usulining minimal radiusidan kamida ikki-uch baravar kichik xatolik beradigan darajada tanlash tavsiya etiladi; bu taxminiy hisob-kitob bo‘lib, aniq qiymat material va uskunaga qarab moslashtirilishi lozim. Uchinchidan, bir nechta ishlab chiqarish usuli o‘rtasida tanlov mavjud bo‘lganda (masalan, lazer kesish yoki CNC frezerlash), 1-jadvalda keltirilgan

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

diapazonlarni boshlang‘ich mo‘ljal sifatida olib, kichik sinov namunasida (test-cut) haqiqiy kerf va minimal radiusni o‘lchab ko‘rish tavsiya etiladi — bu, xususan, Mahrle va boshq. [10] qayd etgan kerf geometriyasining uskuna parametrlariga yuqori sezgirligini hisobga olgan holda, xatoliklarning oldini oladi.

Muhokama. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, naqsh kompozitsiyasini raqamli ishlab chiqarishga moslashtirish jarayonini uchta aniq ajratilgan bosqichga bo‘lish — avval simmetriya darajasida formallashtirish, so‘ng ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirish va faqat oxirida formatga eksport qilish — amaliy jihatdan asosli. Bunday ajratish, xususan, Refalian va boshq. [7] taklif etgan to‘g‘ridan-to‘g‘ri “grammatikadan CAD/CAM”ga eksport qilish sxemasidan farqli o‘laroq, geometrik model bilan ishlab chiqarish texnologiyasi o‘rtasida aniq “bufer” qatlamini yaratadi: bu qatlam o‘zgarganda (masalan, lazer kesishdan CNC frezerlashga o‘tilganda) faqat 2-bosqich parametrlari qayta sozlanadi, 1- va 3-bosqichlar o‘zgarishsiz qoladi. Almerbati va boshq. [8] mashrabiya panjaralarini CNC va 3D bosib chiqarish uchun qayta loyihalashda aynan shunga o‘xshash muammoga — an’anaviy naqsh elementining ishlab chiqarish jarayoniga to‘g‘ridan-to‘g‘ri mos kelmasligiga — duch kelgan va buni ko‘proq amaliy-tajribaviy (case-by-case) tarzda hal qilgan edi. Taklif etilgan metodika, aksincha, ushbu moslashtirish jarayonini bir martalik loyihaviy yechim emas, balki takrorlanuvchi, formallash-tirilgan protsedura sifatida taqdim etadi, bu esa uni boshqa naqsh oilalari va boshqa ishlab chiqarish uskunalariga nisbatan qayta qo‘llash xarajatini kamaytiradi. Bu farq amaliy jihatdan muhim: Almerbati va boshq. [8] tavsiflagan loyihada har bir yangi mashrabiya nusxasi uchun dizayner-muhandis moslashtirish qarorlarini qayta qabul qilishi kerak edi, chunki bu qarorlar hujjatlashtirilgan qoidalar emas, balki loyihachining tajribasida mujassam edi. Taklif etilgan metodikada esa 2-bosqichning kirish parametrlari (C to‘plami) aniq raqamli chegaralar ko‘rinishida ifodalangani sababli, xuddi shu moslashtirish mantig‘ini boshqa dizayner yoki hatto avtomatlashtirilgan tizim tomonidan qayta ishlatilishi mumkin — bu esa uni ayrim loyihachilarning shaxsiy tajribasiga bog‘liq amaliyotdan, hujjatlashtirilgan muhandislik protsedurasiga aylantiradi. Shu bilan birga, Mahrle va boshq. [10] ko‘rsatgan kerf geometriyasining texnologik parametrlarga (kesish tezligi, fokus holati, gaz bosimi) yuqori sezgirligi shuni anglatadiki, 1-jadvalda keltirilgan diapazonlar faqat boshlang‘ich yo‘nalish sifatida qaralishi, har bir aniq uskuna va material kombinatsiyasi uchun amaliyotchi tomonidan tekshirib ko‘rilishi lozim. Bu — metodikaning cheklovi emas, balki uning 2-bosqichi ataylab parametrlashtirilgan holda loyihalanganining sababi: qat’iy “qattiq kodlangan” chegaralar o‘rniga, moslashuvchan chegara qiymatlaridan foydalanish amaliyotda ko‘proq barqarorlik beradi. p3m1 guruhi bilan bog‘liq natija alohida muhokamaga loyiq: egri chiziqli modullarni ko‘pburchak yaqinlashtirish orqali to‘g‘ri-chiziqli konturga o‘tkazish — Kaplan va Salesin [6] hamda Cenani va Cagdas [5] ishlarida asosan to‘g‘ri chiziqli yulduzsimon naqshlarga qaratilgan hisoblash usullaridan farqli o‘laroq — qo‘shimcha yaqinlashtirish xatoligini keltirib chiqaradi. Bu shuni ko‘rsatadiki, egri chiziqli naqsh oilalari uchun metodikaning 2-bosqichi kelgusida to‘g‘ridan-to‘g‘ri egri chiziq (masalan, Bezier yoki NURBS) segmentlari darajasida ishlaydigan tarzda takomillashtirilishi maqsadga muvofiq.

Cheklovlar. Tadqiqotning bir qator cheklovlari mavjud. Birinchidan, amaliy tekshiruv hozircha faqat geometrik (dasturiy) darajada o‘tkazildi; haqiqiy material ustidagi fizik kesish sinovlari keyingi ish doirasida qoladi. Ikkinchidan, metodika hozircha faqat ikki o‘lchamli (tekis) kontur kesish texnologiyalari (lazer, plazma, CNC frezerlash) uchun mo‘ljallangan; additiv 3D bosib chiqarish uchun qatlamlar balandligi va osilib qolish burchagi (overhang) kabi qo‘shimcha cheklovlarni hisobga oluvchi alohida kengaytma talab etiladi. Uchinchidan, p3m1 kabi egri chiziqli guruhlar uchun yaqinlashtirish xatoligining miqdoriy chegaralari hozircha nazariy jihatdan baholanmagan va bu alohida tadqiqot mavzusi bo‘lishi mumkin. Umuman olganda, ushbu tadqiqotda qo‘llanilgan yondashuv — geometrik formallashtirish, ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirish va eksportni izchil, ammo bir-biridan mustaqil bosqichlarga ajratish — dasturiy ta’minotni loyihalashda keng tarqalgan qatlamlash (layering) tamoyiliga o‘xshaydi: har bir qatlam faqat o‘zidan pastdagi qatlam bilan aniq interfeys orqali bog‘lanadi, bu esa

tizimning bir qismini o‘zgartirish boshqa qismlarga ta’sir qilmasligini ta’minlaydi. Naqsh shakllantirish kontekstida bu, amalda, geometriya mutaxassisi (1-bosqich ustida ishlovchi) va ishlab chiqarish muhandisi (2-bosqich ustida ishlovchi) alohida-alohida, bir-biriga xalaqit bermagan holda ishlashi mumkinligini anglatadi — bu, ayniqsa, ko‘p sonli naqsh oilalari va bir nechta ishlab chiqarish uskunasi bilan ishlaydigan jamoalar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Xulosa. Ushbu maqolada milliy naqsh kompozitsiyalarini raqamli sanoat ishlab chiqarishiga moslashtirishning uch bosqichli metodikasi taklif etildi: (1) simmetriya guruhi darajasida formallashtirish, (2) adabiyotda qayd etilgan texnologik cheklovlarga (kerf kengligi, minimal radius) moslashtirish va (3) vektor/G-kod formatiga eksport qilish. Metodika NaqshAI platformasida dasturiy jihatdan amalga oshirilib, p4m, p6m va p3m1 simmetriya guruhlariga tegishli uchta naqsh namunasida geometrik darajada sinovdan o‘tkazildi; to‘g‘ri chiziqli guruhlar (p4m, p6m) uchun metodika to‘liq, egri chiziqli p3m1 guruhi uchun esa taxminiy (approksimativ) darajada samarali ekanligi aniqlandi. Taklif etilgan yondashuvning asosiy ilmiy-amaliy qiymati shundaki, u naqsh geometriyasini formallashtirish [1, 2, 6] va uni CAD/CAM muhitiga uzatish [7, 8] bo‘yicha mavjud ishlarni, ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlarini hisobga oluvchi oraliq bosqich bilan to‘ldiradi. Kelgusi tadqiqotlar quyidagi yo‘nalishlarda davom ettirilishi rejalashtirilgan: (a) 2-bosqichni egri chiziq (Bezier/NURBS) segmentlari darajasida to‘g‘ridan-to‘g‘ri ishlaydigan tarzda takomillashtirish; (b) haqiqiy material (yog‘och, akril, metall varaq) ustida fizik kesish sinovlarini o‘tkazish; (c) additiv 3D bosib chiqarish uchun zarur bo‘lgan qo‘shimcha cheklovlarni (qatlam balandligi, osilib qolish burchagi) metodikaga integratsiya qilish. Uzoq muddatli istiqbolda, agar bunday formallashtirilgan moslashtirish qoidalari NaqshAI kabi platformalarga o‘rnatilgan modul sifatida kiritilsa, foydalanuvchi endi faqat naqsh oilasi va maqsadli ishlab chiqarish uskunasini tanlashi kifoya bo‘ladi — qolgan moslashtirish jarayoni avtomatik tarzda, adabiyotda qayd etilgan texnologik chegaralarga tayangan holda amalga oshiriladi. Bu, o‘z navbatida, milliy hunarmandchilik naqshlarini zamonaviy arxitektura, interyer dizayni va suvenir sanoatida qo‘llash bosqichini sezilarli darajada soddalashtirishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Grünbaum, B., & Shephard, G. C. (1987). Tilings and patterns. W. H. Freeman and Company.
[2] Abas, S. J., & Salman, A. S. (1995). Symmetries of Islamic geometrical patterns. World Scientific.
[3] Lu, P. J., & Steinhardt, P. J. (2007). Decagonal and quasi-crystalline tilings in medieval Islamic architecture. Science, 315(5815), 1106–1110. https://doi.org/10.1126/science.1135491
[4] Broug, E. (2013). Islamic geometric design. Thames & Hudson.
[5] Cenani, S., & Cagdas, G. (2006). Shape grammar of geometric Islamic ornaments. Proceedings of the 24th eCAADe Conference, 289–297. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2006.290
[6] Kaplan, C. S., & Salesin, D. H. (2004). Islamic star patterns in absolute geometry. ACM Transactions on Graphics, 23(2), 97–119. https://doi.org/10.1145/990002.990003
[7] Refalian, G., Coloma, E., & Moya, J. N. (2022). Formal grammar methodology for digital visualization of Islamic geometric patterns. International Journal of Architectural Computing, 20(2), 297–315. https://doi.org/10.1177/14780771211039079
[8] Almerbati, N., et al. (2016). From manual to hybrid, parametric Mashrabiya: Digital workflow for the re-envisioning and conservation of Eastern architectural screens and the engagement of digital tectonics. The International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design, 10(2), 1–15.
[9] Rashdan, W. (2025). Heritage-aware generative AI workflow for Islamic geometry in interiors. Heritage, 8(11), 486. https://doi.org/10.3390/heritage8110486

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[10] Mahrle, A., Borkmann, M., & Pfohl, P. (2021). Factorial analysis of fiber laser fusion cutting of AISI 304 stainless steel: Evaluation of effects on process performance, kerf geometry and cut edge roughness. Materials, 14(10), 2669. https://doi.org/10.3390/ma14102669

[11] Egamnazarova, S. (2026). Milliy hunarmandchilik naqshlari kompozitsiyalarini shakllantirish metodikasi. Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari.

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

Egamnazarova, S. X. (2026). Milliy naqsh kompozitsiyalarini raqamli sanoat ishlab chiqarishiga moslashtirish metodikasi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.24

UDC: 677.024.54

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.25

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

COMPOSITION, STRUCTURE, AND PROPERTIES OF WATER-SOLUBLE CHEMICAL YARNS USED IN THE PRODUCTION OF PILE FABRICS FROM COMBINED YARNS AND INNOVATIVE FABRIC MANUFACTURING TECHNOLOGY



Doniyorov Bektosh Bahodirovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan
E-mail: bektosh.doniyorov776@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-0692-4354
Science ID: FTV-0226-0025



Razzoqov Ja'far Abduvali ugli
Assistant, Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan
E-mail: jafarrazzoqov93@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-4403-7545
Science ID: MJZ-0825-0020

Abstract. *This article investigates the composition, structure, and physicomechanical properties of water-soluble chemical yarns used in the production of pile fabrics from combined yarns, as well as an innovative technology for manufacturing such fabrics. The main objective of the study is to improve the technology for producing low-twist combined yarns by incorporating water-soluble Mintval chemical yarns with cotton yarns and to evaluate their influence on the quality characteristics of pile fabrics. The linear density, breaking strength, and elongation at break of three types of Mintval chemical yarns, RS56T6, RS38T6, and RS41T6, were analyzed. Experimental results demonstrated that the specific breaking tenacity of the investigated chemical yarns ranged from 2.0 to 2.1 cN/dtex. Furthermore, a comparative analysis was conducted to evaluate the capillary properties of warp yarns produced using the proposed technology and those manufactured under conventional industrial conditions. The experimental findings showed that the capillary rise height of the proposed sample reached 90 mm after 30 minutes, whereas the corresponding value for the conventional industrial sample was 51 mm. These results indicate that combining cotton yarns with water-soluble chemical yarns can improve the moisture absorption characteristics of warp yarns. The findings have practical significance for improving pile fabric production technology, enhancing product quality, and expanding the range of textile products with improved capillary properties.*

Keywords: *pile fabrics, combined yarns, water-soluble chemical yarns, Mintval, cotton yarn, yarn structure, physicomechanical properties, yarn twist, capillarity, innovative manufacturing technology.*

Received: 18.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОДОРАСТВОРИМЫХ ХИМИЧЕСКИХ НИТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОРСОВЫХ ТКАНЕЙ ИЗ КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ, И ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Дониёров Бектош Баходирович
Кандидат технических наук, доцент, Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

Раззоков Джафар Абдували угли
Ассистент, Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы состав, структура и физико-механические свойства водорастворимых химических нитей, применяемых при производстве ворсовых тканей из комбинированных нитей, а также инновационная технология изготовления таких тканей. Основная цель исследования заключается в совершенствовании технологии получения комбинированных нитей с пониженной круткой путём соединения хлопчатобумажной пряжи с водорастворимыми химическими нитями Mintval и оценке их влияния на показатели качества ворсовых тканей. В работе проанализированы линейная плотность, разрывная прочность и относительное удлинение химических нитей Mintval марок RS56T6, RS38T6 и RS41T6. По результатам экспериментальных исследований установлено, что удельная разрывная прочность исследованных химических нитей находится в пределах 2,0–2,1 сН/дтекс. Кроме того, проведено сравнительное исследование капиллярных свойств основных нитей, полученных по предложенной технологии, и образцов традиционного промышленного производства. Установлено, что через 30 минут высота капиллярного подъёма жидкости в предложенном образце достигла 90 мм, тогда как в образце предприятия данный показатель составил 51 мм. Полученные результаты свидетельствуют о возможности улучшения влагопоглощающих свойств основных нитей при совместном использовании хлопчатобумажной пряжи и водорастворимых химических нитей. Результаты исследования имеют практическое значение для совершенствования технологии производства ворсовых тканей, повышения качества продукции и расширения ассортимента текстильных изделий с улучшенными капиллярными свойствами.*
Ключевые слова: *ворсовые ткани, комбинированные нити, водорастворимые химические нити, Mintval, хлопчатобумажная пряжа, структура нитей, физико-механические свойства, крутка пряжи, капиллярность, инновационная технология производства.*

ARALASH IPLARDAN MOMIQ MATOLAR ISHLAB CHIQARISHDA QO‘LLANILADIGAN SUVDA ERUVCHAN KIMYOVIY IPLARNING TARKIBI, TUZILISHI VA XOSSALARI HAMDA INNOVATSION ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASI

Doniyorov Bektosh Bahodirovich
Texnika fanlari nomzodi, dotsent, Jizzax politexnika instituti, Jizzax, O‘zbekiston

Razzoqov Ja’far Abduvali o‘g‘li
Assistent, Jizzax politexnika instituti, Jizzax, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada aralash iplardan momiq matolar ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan suvda eruvchan kimyoviy iplarning tarkibi, tuzilishi va fizik-mexanik xossalari hamda mato ishlab chiqarishning innovatsion texnologiyasi tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi paxta iplarini suvda eruvchan Mintval kimyoviy iplari bilan birlashtirish orqali kam eshilgan aralash iplar tayyorlash texnologiyasini takomillashtirish va ularning momiq matolar sifat ko‘rsatkichlariga ta’sirini baholashdan iborat. Ishda RS56T6, RS38T6 va RS41T6 markali Mintval kimyoviy iplarining chiziqli zichligi, uzilishdagi mustahkamligi va nisbiy uzayishi tahlil qilingan. Tajriba natijalariga ko‘ra, mazkur*

kimyoviy iplarning nisbiy uzilish mustahkamligi 2,0–2,1 cN/dtex oralig‘ida ekanligi aniqlangan. Shuningdek, aralash iplarni tayyorlashning taklif etilgan texnologiyasi asosida olingan tanda iplarining kapillyarlik xossalari an’anaviy ishlab chiqarish namunasi bilan taqqoslangan. Kapillyarlik sinovlari natijasida 30 daqiqada taklif etilgan namunaning kapillyar ko‘tarilish balandligi 90 mm ni, korxona namunasida esa 51 mm ni tashkil etgan. Olingan natijalar paxta va suvda eruvchan kimyoviy iplarni birgalikda qo‘llash tanda iplarining namlikni shimish xususiyatlarini yaxshilash imkonini berishini ko‘rsatadi. Tadqiqot natijalari momiq matolar ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish, mahsulot sifatini oshirish va yuqori kapillyarlik xususiyatlariga ega to‘qimachilik mahsulotlari assortimentini kengaytirishda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: *momiq matolar, aralash iplar, suvda eruvchan kimyoviy iplar, Mintval, paxta ipi, iplarning tuzilishi, fizik-mexanik xossalar, eshilish darajasi, kapillyarlik, innovatsion ishlab chiqarish texnologiyasi.*

Introduction. Today, the demand for textile products is growing day by day. The number of spinning, knitting, and weaving enterprises in Uzbekistan is increasing year by year, which is contributing to the increase in the share of the textile industry in the national economy. The introduction of textile cluster systems requires an increase in the production of competitive products in Uzbekistan.

One of the leading and promising sectors of the world economy is textile and light industry. Special attention is paid to the production of high-quality and competitive cotton fabrics in the world textile market and the use of new techniques and technologies in the implementation of these processes.

Scientific research is being conducted to produce a new range of downy fabrics, expand the scope of processing and using local natural raw materials, as well as to determine the quality indicators of downy fabrics, the physical and mechanical characteristics of downy fabrics, and to investigate changes in capillarity, water absorption, and dimensions, which are the main properties of downy fabrics. In this direction, research is considered a priority, including expanding the range of ring-spun fabrics, offering new types of weaving, and improving the consumer properties of the fabric by studying quality indicators.

Literature review. Researchers of our country and foreign scientists have conducted a number of studies and scientific works on the topic of scientific research:

In particular, one of the researchers from my country, U. Jabborov, in his dissertation entitled «Optimization of technological indicators of the preparation of spun yarn for felt», provided information on the technological indicators of felt-yarn preparation, types of yarn processing, yarn-spinning technology, and yarn defects and shortcomings [1].

Another scientist from our country, A. Dolimov, in his scientific work entitled “Optimization of the technological process of producing loop-pile fabrics using water-soluble yarns”, provided information on cotton-yarn and chemical (Mintval) yarn-spinning technologies aimed at increasing fabric softness [2].

The foreign scholar Eve Tokens, in her article «Exploring the Cozy World of Different Fluffy Fabric Types», classified the types of fluffy fabrics and provided extensive information about their fiber composition and the factors that should be considered during the sewing process [3]. Another researcher, Shikha Kumar, in her article «The Manufacturing Process of Baby Clothes», studied children’s clothing made of fluffy fabrics and its characteristics [4].

The purpose of this research is to develop an innovative technology for producing fluffy fabrics based on blended yarns.

Naturally, specific problems arise when cotton and Mintval yarns are combined. The cotton yarn used in the combination has a medium linear density, whereas the Mintval yarn is several times finer. When yarns with different linear densities—particularly yarns with significantly different thicknesses—are combined, inconsistencies in tension may occur. This is because the Mintval chemical yarn can stretch during the combining process. Such stretching is almost nonexistent in cotton yarn; therefore, it remains under constant tension. The two types of yarn also have different

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

strengths, meaning that their resistance to mechanical воздействия differs. In addition, the hairiness of cotton yarn gives it a much higher coefficient of friction than that of Mintval yarn, which has a smooth surface and high elasticity.

The objectives of the research are as follows:

- to analyze the technology of combining cotton yarn with water-soluble chemical yarn of the «Mintval» brand for the warp yarns of fluffy fabrics and to study its properties;
- to improve the technology for preparing mixed yarns for fluffy fabrics and determine the possibility of using water-soluble yarn;
- to produce fluffy fabrics of mixed composition and study their physical and mechanical properties;
- to analyze the quality indicators of fluffy fabrics woven from mixed yarns.

The scientific novelty of the research is as follows:

- a new type of fluffy fabric with modified physical and mechanical properties was developed on the basis of mixed yarns;
- fluffy fabrics woven from low-twist yarns that meet the requirements of international standards were produced;
- by optimizing the technological process for preparing warp yarns for weaving, it became possible to use cotton yarn in combination with «Mintval» water-soluble chemical yarn;
- a new range of fabrics with high capillarity was produced using low-twist yarns as the warp yarns in cotton fabrics.

The practical results of the research are as follows:

- the yarn strength was optimized using twisted water-soluble chemical yarn;
- the research demonstrated that the physical, mechanical, and capillary properties of the fluffy fabric woven from yarn produced by the new method were high;
- a mathematical model of the capillary properties of fabric woven from yarn produced by the new method was developed;
- the proposed method is based on shortening the warp-yarn winding process, combining the warp yarns of cotton fabric with «Mitval» chemical yarn, and producing fluffy fabrics from the yarn obtained by twisting;
- high-quality fabrics that comply with applicable standards were produced on the basis of the recommended technological processes.

Research methodology. In the production of new products, increasing attention is being paid to yarn quality. In particular, the process of yarn interlacing is highly important in the production of pile fabrics.

Currently, fabrics made from two or more interlaced yarns are in high demand. In the production of pile fabrics, the twist level of spun yarns is highly important, as it is a factor that characterizes their properties. Pile fabrics may be single-sided or double-sided. Owing to their rapid moisture absorption, pile fabrics are used to produce towels, homewear, swimwear, and other garments.

Two yarn systems are used in the production of pile fabrics: one forms the ground fabric, while the other serves as the pile yarn. Yarn tension and its variation are particularly important in the spinning process, as their values determine the stability of the spinning process. To improve the properties of pile fabrics, the fibers contained in the yarn are also subjected to additional treatment.

During chemical modification, the chemical composition of the fibers is partially altered. As a result of this modification, fibers with new properties are obtained. Polyvinyl chloride fibers are produced from ethyl or acetyl chloride. Chloride fibers are elastic and resistant to water, acids, alkalis, and oxidizing agents; they do not rot and are not damaged by mold.

Since cotton–Mintval yarn is used in the production of pile fabrics, the weaving process is omitted from the sequence of technological operations (Fig. 1).

As a result of the innovative technology introduced in the production of cotton fabrics, the water-absorption capacity of the fabric is increased by chemically twisting the cotton yarn in the opposite direction, thereby enhancing the softness and water-absorption capacity of the fabric.

Since the «Mintval» chemical yarn consists of a single type of polymer, it can be easily spun or used in combination with natural fibers.

The “Mintval” chemical yarn can be combined with other yarns to produce low-twist yarns. It can also be used to manufacture pile fabrics, suiting fabrics (wool and cashmere),

shirting and knitted fabrics, as well as various industrial fabrics. After the melting process of Mintval yarn, a new appearance can be created in the fabrics produced from it. The second yarn combined with the Mintval chemical yarn can retain its fineness.

The Mintval chemical yarn imparts strength to the yarn with which it is combined. During the dyeing and finishing of the fabric, the yarns in the fabric become softer as a result of the release of the Mintval chemical yarn. The Mintval chemical yarn can preserve 100% of the natural elongation of the yarn with which it is combined. When cotton yarn is blended with Mintval chemical yarn and the latter is melted during the finishing process, the properties of the cotton yarn remain unchanged (Table 1).

Table 1.

Mechanical properties of "Mintval" chemical yarn

Type	RS56T6	RS38T6	RS41T6
Nominal yarn number	175 (57 dtex/6ff)	256 (39 dtex/6ff)	244 (41 dtex/6ff)
Relative breaking strength (cN/dtex)	2.0	2.0	2.1
Tenacity (cN)	114	78	86
Elongation at break (%)	49	47	42
Weight of yarn wound onto bobbins (kg)	2,5	1,5	2

All the Mintval chemical yarns selected for testing consist of six filaments; however, the total linear density of the Mintwal yarns differs because of the different linear densities of the filaments. The relative breaking strength of the RS56T6 and RS38T6 yarns, with nominal numbers of 175 and 256, respectively, is 2 cN/tex. The specific breaking strength of the RS41T6 yarn, with a nominal number of 244, was 5% higher than that of the first and second yarn samples. However, the highest strength value, 114 cN, was recorded for the RS56T6 yarn, whereas the lowest strength was recorded for the RS38T6 yarn. A strength of 86 cN was recorded for the RS41T6 yarn, with a nominal number of 244. Nevertheless, the elongation at break of the RS41T6 Mintval yarn was the lowest, at 42%. It was observed that the elongation at break of the six-filament Mintval yarns with linear densities of 57 dtex and 39 dtex was 12.5% higher than that of the 41 dtex yarn.

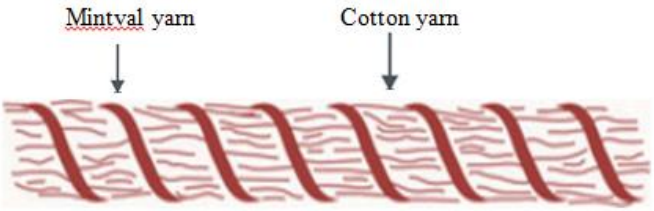


Fig.1. Structure of a low-twist yarn.

The technological process of fabric production varies depending on the fiber composition, weaving method, and fabric structure. In general, fabrics are produced through a sequence of five processes: picking, combing, weaving, drawing, and weaving. However, in the production of cotton fabrics, these processes change because chemical yarns are used. The sequence of processes in cotton fabric production is shown in Fig. 2.

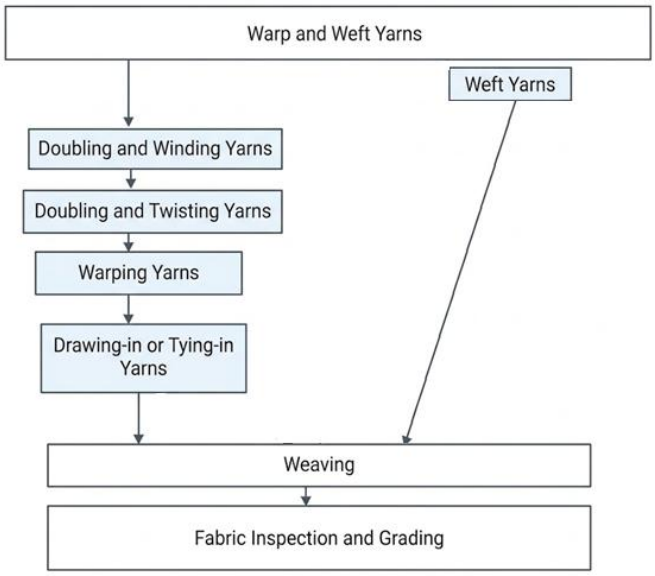


Fig.2. Stages of the fluffy fabric production process.

The capillary properties of the fabric are standardized according to GOST 11027-2014, which requires the moisture absorption height to reach 80 mm within 30 minutes. Capillarity is determined by measuring the height of rise in a 1% potassium chromate solution after 30 minutes. To determine the capillary properties of the fabric, samples measuring 300 mm in length and 50 mm in width were cut from the specimen. A bundle of hair strands, with 10 strands in each bundle, was taken from eight locations along the entire width of each sample at equal distances from one another. The length of the strands in each bundle was 600 mm.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Fig. 3.



Fig.3. The process of testing the capillary properties of fabrics.

Analysis and results. It can be seen that the moisture absorption height of the warp yarns taken from the sample increased to 90 mm within 30 minutes.

Table 1 shows the moisture absorption height of the warp yarns taken from the sample at five-minute intervals.

Table 2

Capillary moisture absorption height of warp yarns at 5-minute intervals

Sample types	Capillary height h (mm)					
Time	5 minutes	10 minutes	15 minutes	20 minutes	25 minutes	30 minutes
Proposed sample	28	44	56	68	77	90
Company sample	12	25	31	38	43	51

It can be seen that the moisture absorption height of the cotton yarns taken from the sample increased to 90 mm within 30 minutes.

Table 1 shows the moisture absorption height of the cotton yarns taken from the sample at 5-minute intervals.

Finishing is a technical processing method that imparts color, shape, and functional effects to fabrics. Fabric finishing is a process of improving the appearance and handfeel of fabrics, enhancing their wear resistance, or imparting special properties through chemical or physical methods.

There are many types of fluffy fabrics, which differ in their intended use, fiber composition, and fabric surface density. The most popular types of fluffy fabrics are listed below.

Minky fabric is a soft microfiber fabric with a short, very fine pile. It is often used for children's blankets and clothing because of its hypoallergenic properties and ability to retain its shape.

Fleece fabric is a dense synthetic polyester fabric with a pile that is warm, quick-drying, and breathable.

Bouclé fabric is characterized by knots and loops that create a soft, voluminous texture. It is usually used for coats and jackets.

Plush is a fabric with a long, dense pile (3–16 mm), usually made from fibers such as cotton, silk, or wool.

Flannel is a fabric usually covered on one or both sides with a light, fine pile. It is very soft and retains heat well, so it is often used for bedding and shirts [5].

Blankets are produced using weaving and knitting methods. The blanket production process includes yarn production; knitting or weaving; intermediate quality control; raising; brushing; shearing; stitching and edge finishing; final quality control; and labeling and packaging. The primary yarn types used in blanket production are wool, cotton, acrylic, and polyester. Lamb, camel, cashmere, and angora wool are used as wool yarn types. Wool fibers are used in winter blankets because they provide warmth; however, they are heavy. Cotton blankets keep the body less warm than wool blankets. Acrylic blankets are lighter than cotton and wool blankets and also retain body heat. The application and individual preferences influence the selection of fibers for blankets. Warp and weft threads used in blanket production have different counts and characteristics.

Generally, warp threads are open-end yarns, whereas weft threads are stray-hair wool yarns. Raising is the process of bringing fibers from within the yarn structure to the surface of the blanket. This effect is achieved using a raising machine, depending on the desired fluffing effect. Through this process, blankets generally extend by approximately 2–3% in the lengthwise direction and shrink by approximately 22–25% in the widthwise direction. This process produces such effects as increased volume, a softer hand, thermal comfort, and the desired appearance. It also leads to a decrease of approximately 1.15–13.1% in fabric basis weight. Weight loss during brushing and shearing can range from 2.4% to 7.3%. Raising is an important process for imparting the desired appearance, handfeel, and thermal characteristics to

blankets. During this process, the fluff layer is formed, while the aesthetic appearance is achieved through additional treatments, such as laying down, raising, and cutting the naps on the surface. Due to the voluminous structure of blankets, air is trapped between the gaps, thereby enhancing thermal insulation [6].

In addition, various finished products are made from cotton fabric. Soft clothing for children is made from cotton fabric. These fabrics are in good contact with a young child's body, provide softness, do not cause allergies, and are well ventilated, thereby preventing children from sweating. Soft towels are also made from cotton fabric. Owing to their good water absorption, these towels dry quickly; because they are soft, they maintain good contact with the human body and create a pleasant feeling.

By combining and twisting several single yarns, it is possible to increase their breaking strength; ensure uniformity in linear density; improve resistance to stretching and friction; enhance elasticity; and create a relief appearance in the fabric.

The productivity of a weaving machine depends on the frequency of stoppages that occur for various reasons. These stoppages are mainly associated with the elimination of warp-yarn breakage; therefore, it is necessary and important to take all possible measures to reduce warp-yarn breakage.

The difference between the designed and actual speeds in warping is taken as an indicator of the reduction in warping speed. Based on the formula used to determine this difference, it was established that, in order to increase the warping speed, warp-yarn breakage must be minimized.

The largest proportion of waste generated during warp-yarn preparation occurs in the slashing process, which accounts for 65% of the total waste in weaving.

Instead of slashing the warp yarns, studies were conducted to increase their strength by adding cotton yarns to the water-soluble "Mintval" chemical yarn.

Conclusion. In conclusion, it is currently necessary to produce products that fully comply with international standards and are competitive in the global market. Therefore, the further development of the textile industry is advisable. In light of the innovative technologies and modern approaches introduced into the production of fluffy fabrics, research into the production of new assortments and resource-saving products with improved quality indicators is currently relevant. Changing the fiber composition and properties of the yarns used in the production of fluffy fabrics provides an alternative solution. A change in fiber composition leads to changes in the technological process. Based on the product requirements for the production of fluffy fabrics, the possibility was established of using the water-soluble «Mintval» chemical yarn in combination with cotton yarn to improve the preparation and weaving technology of fluffy fabrics. The capillary properties of fluffy fabrics woven from yarns with the new composition were also improved. The practical significance of the research results lies in the fact that the physical, mechanical, and capillary properties of fluffy fabrics produced from new types of plied yarns can meet international standards.

REFERENCES

[1] Ansari, I. A. (2023, October 4). Woven terry fabrics. Medium. https://medium.com/@imteyazahmadansari6665/woven-terry-fabrics-
[2] Dolimov, A. (2023). Optimization of the technological process of producing ring-spun fabrics using water-soluble yarns [Dissertation]. Namangan.
[3] Doniyorov, B., & Razzoqov, J. (2024, May 30). Modern technologies in the production of towel fabric [Manuscript]. Namangan.
[4] Jabborov, U. (2026). Optimization of technological indicators of twisted-yarn preparation for the warp [Dissertation]. Jizzakh.
[5] Kumar, S. (2023, November 30). Behind the seams: The manufacturing process of baby clothes. Organic and More.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[6] Tetik, G. D. (n.d.). The effect of the raising process on the handfeel properties of blankets. Uşak University, Faculty of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety.
[7] Tokens, E. (2023, March 27). Exploring the cozy world of different fluffy fabric types.
[8] Tissura. (n.d.). Tkan s vorsom. https://tissura.ru/articles/tkan-s-vorsom
[9] Doniyorova, M., Doniyorov, B., Shamiyev, D., & Sadikova, G. (2024). Design of environmental striped fabrics based on the assortment of possibilities of weaving machines. E3S Web of Conferences, 538, 04011.

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

Doniyorov, B. B., & Razzoqov, J. A. (2026). Composition, structure, and properties of water-soluble chemical yarns used in the production of pile fabrics from combined yarns and innovative fabric manufacturing technology. Digital Technologies in Industry, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.25

EKOLOGIYA, MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI
ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ECOLOGY, LABOR PROTECTION AND TECHNICAL SAFETY

УДК: 66.091

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.26

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ



Лазаренков Александр Михайлович

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Охрана труда» Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь.
E-mail: lazarenkov@bntu.by
ORCID ID: 0000-0001-6939-592X

Аннотация. *В литейном производстве работники одновременно подвергаются воздействию пыли, вредных газов, шума, общей и локальной вибрации, нагревающего микроклимата, теплового излучения и недостаточного освещения. В статье обобщены результаты классификации производственных факторов и комплексной оценки условий труда в рамках системы «литейный цех – человек – окружающая среда». Определены приоритетные факторы риска для различных технологических участков и профессий. Научно обоснована необходимость дополнения действующей гигиенической оценки показателями фактической сменной дозы, кратковременного максимального воздействия и комбинированного влияния факторов. Разработан подход, направленный на своевременное выявление и оценку опасностей, определение приоритетности мер контроля и регулярную проверку их эффективности. Предложена пятиэтапная модель управления профессиональными рисками, объединяющая технические, организационные меры и средства индивидуальной защиты в единую систему мониторинга. Данная модель способствует улучшению безопасных условий труда на литейных предприятиях.*

Ключевые слова: *литейное производство, условия труда, профессиональный риск, пыль, шум, вибрация, микроклимат, комплексная оценка, охрана труда.*

Received: 05.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

QUYUV ISHLAB CHIQARISHIDA MEHNAT SHAROITLARINI KOMPLEKS BAHOLASH VA ZARARLI OMILLARNI KAMAYTIRISH YO‘LLARI

Lazarenkov Aleksandr Mixayilovich

Texnika fanlari doktori, professor, Belarus milliy texnika universiteti “Mehnat muhofazasi” kafedrasi professori, Minsk, Belarussiya

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Annotatsiya. *Quyuv ishlab chiqarishida ishchilar chang, zararli gazlar, shovqin, umumiy va lokal vibratsiya, qizdiruvchi mikroiqlim, issiqlik nurlanishi hamda yetarli bo‘lmagan yoritish ta’siriga birgalikda duch keladi. Maqolada “quyuv sexi – inson – atrof-muhit” tizimi doirasida ishlab chiqarish omillarini tasniflash va mehnat sharoitlarini kompleks baholash natijalari umumlashtirildi. Turli texnologik uchastkalar va kasblar uchun ustuvor xavf omillari belgilandi. Amaldagi gigiyenik baholashni real smenalik doza, qisqa muddatli eng yuqori ekspozitsiya hamda omillarning kombinatsiyalangan ta’siri ko‘rsatkichlari bilan to‘ldirish zarurligi ilmiy jihatdan asoslandi. Shuningdek, xavflarni o‘z vaqtida aniqlash, baholash, nazorat choralarini ustuvorlashtirish va ularning samaradorligini muntazam tekshirishga qaratilgan yondashuv ishlab chiqildi. Texnik, tashkiliy va shaxsiy himoya choralarini yagona monitoring tizimiga birlashtiruvchi besh bosqichli kasbiy xavfni boshqarish modeli taklif etildi. Ushbu model quyuv korxonalarida xavfsiz mehnat sharoitlarini yaxshilashga xizmat qiladi.*
Kalit so‘zlar: *quyuv ishlab chiqarishi, mehnat sharoiti, kasbiy xavf, chang, shovqin, vibratsiya, mikroiqlim, kompleks baholash, mehnat muhofazasi.*

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS IN FOUNDRY PRODUCTION AND METHODS FOR REDUCING EXPOSURE TO HARMFUL FACTORS

Lazarenkov Alexander
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Occupational Safety, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. *In foundry production, workers are simultaneously exposed to dust, hazardous gases, noise, whole-body and local vibration, a hot microclimate, thermal radiation, and insufficient lighting. This article summarizes the results of classifying occupational factors and comprehensively assessing working conditions within the “foundry–human–environment” system. Priority risk factors were identified for various technological areas and occupational groups. The need to supplement the existing hygienic assessment with indicators of actual shift exposure, short-term peak exposure, and the combined effects of multiple factors was scientifically substantiated. An approach was developed for the timely identification and assessment of hazards, prioritization of control measures, and regular evaluation of their effectiveness. A five-stage occupational risk management model integrating engineering and organizational measures and personal protective equipment into a unified monitoring system was proposed. This model contributes to improving safe working conditions at foundry enterprises.*
Keywords: *foundry production, working conditions, occupational risk, dust, noise, vibration, microclimate, comprehensive assessment, occupational safety and health.*

Введение. Литейное производство является одним из основных заготовительных звеньев машиностроения, в котором одновременно проявляется воздействие высоких температур, расплавленного металла, минеральной и органической пыли, газов, шума и вибрации. Вследствие многообразия технологических процессов и сохранения значительной доли ручного труда опасность связана не только с отдельным оборудованием, но и со всей производственной системой. Поэтому контроль, основанный на измерении одного вредного фактора, может не в полной мере отражать профессиональный риск [1–4].

Идея оценки литейного цеха как взаимосвязанной системы «технология – работник – окружающая среда», сформированная в исследовании 1992 года, получила дальнейшее развитие применительно к цехам, производственным участкам, профессиям и отдельным физико-химическим факторам [1, 5–13]. Полученные результаты создают не только описательную, но и методическую основу для проектирования, оценки рабочих мест и профилактического управления охраной труда.

Цель исследования – систематизация результатов комплексной оценки условий труда в литейном производстве и разработка

усовершенствованной модели управления профессиональными рисками для современного предприятия, учитывающей многофакторную экспозицию.

В основу исследования положены результаты, полученные в литейных цехах с различными производственными характеристиками, предыдущие исследования по оценке условий труда, международные стандарты и отраслевые рекомендации [1–18]. Материалы были сгруппированы по четырём критериям: объект исследования; оцениваемый фактор; метод измерения или классификации; вид практической рекомендации.

При сравнительном анализе учитывались наличие вредного фактора, степень отклонения от допустимых нормативных значений, продолжительность воздействия и вероятность комбинированного влияния. Комплексная оценка была усовершенствована в соответствии с циклом современного управления профессиональными рисками: «идентификация опасностей – оценка экспозиции – определение приоритетов – меры контроля – повторный мониторинг».

Литературный анализ и методы. В первоначальной концепции экологическое равновесие рассматривается в рамках системы «литейный цех – человек – окружающая среда» [1]. Запылённость и загазованность рабочей зоны, шум, вибрация, микроклимат, освещение, а также содержание вредных веществ в санитарно-защитной и жилой зонах рассматриваются как взаимосвязанные показатели. Формирование расчётных зависимостей для каждого фактора и обработка результатов с помощью электронных вычислительных средств являлись значительным методическим новшеством для того периода.

На следующем этапе данный подход был интегрирован в образовательную и практическую систему охраны труда. В учебниках по металлургии, энергетике и машиностроению правовые, санитарно-гигиенические и технические аспекты безопасности были увязаны с производственным процессом [2–4]. В статьях, опубликованных после 2018 года, общая модель была конкретизирована на уровне профессий и технологических участков: оценивалась фактическая экспозиция на рабочих местах плавильщиков, заливщиков металла, формовщиков, стерженщиков, очистников, шлаковщиков и наладчиков [5–13].

Таким образом, методика оценки развивалась на трёх уровнях: системно-экологическая модель; комплексная гигиеническая оценка; профилактические рекомендации для конкретной профессии и технологической операции. Такая преемственность позволяет сравнивать различные литейные технологии по единым критериям.

Факторы риска в литейном цехе изменяются в зависимости от стадии технологического процесса. При подготовке шихты и формовочных смесей преобладают пыль и шум; при плавке и заливке – тепловое воздействие, газы и металлические аэрозоли; при выбивке форм и очистке отливок – пыль, шум и вибрация [5–13]. Данная взаимосвязь обобщена в таблице 1.

Таблице 1.

Участки литейного производства, приоритетные риски и направления профилактики

Участок	Приоритетные вредные факторы	Основные меры контроля
Подготовка шихты и формовочных смесей	Минеральная пыль, шум, физическая нагрузка	Закрытые транспортные системы, аспирация, механизация, влажная уборка
Формовка и изготовление стержней	Пыль, пары связующих веществ, локальная вибрация	Местная вытяжная вентиляция, применение малотоксичных материалов, виброизоляция оборудования
Плавка и заливка металла	Тепловое излучение, CO и другие газы, металлические аэрозоли	Дистанционное управление, защитные экраны, общеобменная и местная вентиляция
Выбивка форм	Высокая концентрация пыли, шум, общая вибрация	Закрытые камеры, дистанционное управление, снижение шума и вибрации в источнике их возникновения
Очистка отливок	Кремнезёмсодержащая пыль, шум, локальная вибрация	Герметизация абразивного процесса, автоматизация, модернизация ручного инструмента

Пылевая нагрузка формируется при транспортировке шихтовых материалов, смешивании песка и связующих веществ,

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

выбивке форм и абразивной очистке отливок. Длительное воздействие респирабельной фракции, содержащей диоксид кремния, повышает риск развития заболеваний органов дыхания. Установлено, что применение новых химических материалов расширяет спектр токсичных веществ в воздухе рабочей зоны, а использование хромсодержащих добавок сопровождается выделением соединений, обладающих аллергенными свойствами [5, 12].

Высокие уровни воздействия пыли зарегистрированы на плавильно-заливочных участках и участках очистки отливок [2, 5, 12, 17]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учитывать не только среднесменный показатель, но и максимальную кратковременную экспозицию.

Источниками шума в литейном цехе являются механические удары, трение, пневматические инструменты, вибрационные решётки, вентиляторы и транспортное оборудование. Воздействие шума необходимо оценивать уже на стадиях проектирования новых и реконструкции действующих цехов [4, 7, 13]. Меры контроля должны применяться в следующей последовательности: снижение шума в источнике, изоляция на пути его распространения и использование средств индивидуальной защиты от остаточного риска.

В исследованиях вибрации проводится различие между ручными инструментами, создающими локальную вибрацию, и технологическим оборудованием, являющимся источником общей вибрации [8, 10, 11]. При оценке условий труда необходимо учитывать не только амплитуду или ускорение, но также продолжительность контакта, рабочую позу, воздействие охлаждающего микроклимата и физическую нагрузку.

Нагревающий микроклимат в плавильных и заливочных отделениях определяется конвективным и лучистым теплом, исходящим от расплавленного металла, печей, ковшей и нагретых отливок. Сочетание тепловой нагрузки с воздействием газов и пыли усиливает физиологическое напряжение работника. В связи с этим необходимо комплексное применение экранирования, увеличения расстояния до источника тепла, механизации, воздушного душирования и рационального режима труда и отдыха [6, 9].

При комплексной оценке условий труда объединяются степень отклонения каждого фактора от нормативных значений, продолжительность воздействия, тяжесть трудового процесса и состояние безопасности [1, 3, 6]. Практическое преимущество методики заключается в возможности сравнивать различные профессии по единым критериям и определять приоритетность профилактических мероприятий.

Однако гигиенический класс условий труда не может полностью заменить окончательное управленческое решение. На двух рабочих местах, относящихся к одному классу, могут различаться вид вредного воздействия, максимальный уровень экспозиции и тяжесть последствий. Поэтому результаты комплексной оценки целесообразно дополнять матрицей профессионального риска, основанной на вероятности и тяжести последствий, показателями здоровья работников и статистикой технических неисправностей.

Таблице 2.

Критерии инструментальной оценки вредных факторов [3, 6-9, 13]

Фактор	Показатель оценки	Средство измерения	Управленческое решение
Пыль и газы	Среднесменная и кратковременная концентрация	Индивидуальный пробоотборник, газоанализатор	Аспирация, герметизация, замена материала
Шум	Эквивалентный уровень и сменная доза	Шумомер, индивидуальный дозиметр шума	Снижение шума в источнике, звукоизоляция, программа сохранения слуха
Вибрация	Виброускорение и продолжительность воздействия	Трёхосевой виброметр	Замена инструмента, виброизоляция и амортизация, ограничение продолжительности воздействия
Тепловое воздействие	Индекс WBGT и интенсивность теплового излучения	Измеритель параметров микроклимата с шаровым термометром	Экранирование, воздушное душирование, рациональный режим труда и отдыха

Результаты. Для развития комплексной оценки с применением современных цифровых средств предлагается пятиэтапная модель:

1. **Картирование опасностей:** для каждого участка, профессии и технологической операции определяются источник фактора, путь воздействия и возможные последствия.

2. **Многофакторный мониторинг:** стационарные измерения дополняются индивидуальными дозиметрами шума, измерителями вибрационной экспозиции, а также датчиками температуры и газов.

3. **Интегральный индекс риска:** применяются отдельные коэффициенты, учитывающие отклонение от нормативных значений, продолжительность воздействия, тяжесть последствий и комбинированное влияние факторов.

4. **Иерархия мер контроля:** соблюдается последовательность, включающая устранение опасности, замену технологии или материала, инженерно-технические меры, организационные мероприятия и применение средств индивидуальной защиты.

5. **Повторная оценка:** после внедрения мер повторно оцениваются снижение экспозиции, показатели заболеваемости и травматизма, а также экономическая эффективность.

Таблица 3.

Иерархия приоритетности мер по снижению профессионального риска

Приоритет	Уровень мер	Практический пример для литейного цеха	Ожидаемый результат
1	Устранение опасности	Автоматизация ненужной ручной операции	Исключение контакта работника с источником опасности
2	Замена	Переход на материал с низким пылеобразованием и менее токсичное связующее вещество	Снижение исходного уровня риска
3	Инженерно-технические меры	Местная вытяжная вентиляция, защитные экраны, кабины и звукоизоляция	Ограничение распространения вредного фактора
4	Организационные меры	Ротация работников, обозначение опасных зон, рациональный режим труда и отдыха	Снижение продолжительности воздействия и вероятности ошибок
5	Индивидуальная защита	Респираторы, противошумные наушники, средства защиты лица и защиты от теплового воздействия	Ограничение воздействия остаточного риска на работника

Обсуждение. Приоритетный показатель для предприятия не должен ограничиваться только оценкой «соответствует/не соответствует нормативным требованиям». Необходимо формировать динамический профиль профессионального риска, отражающий фактическую сменную дозу воздействия на работника, кратковременные пиковые экспозиции и одновременное комбинированное влияние нескольких вредных факторов.

Практические преимущества предложенной методики заключаются в следующем:

- рассмотрение экологии, технологии и здоровья работников в рамках единой системы;
- переход от общей оценки цеха к уровню конкретной профессии и технологической операции;
- взаимосвязь результатов измерений с проектными решениями и профилактическими рекомендациями;
- внедрение научных результатов в подготовку инженерных кадров и практику охраны труда.

К ограничениям относятся недостаточно подробное представление объёма выборки и статистической неопределённости в отдельных публикациях, преимущественная ориентация исследований на промышленные предприятия Беларуси и постсоветского пространства, а также ограниченное применение биомаркеров и долгосрочных эпидемиологических наблюдений. Кроме того, оценка экономической и гигиенической эффективности рекомендованных мер после их внедрения с использованием контрольной группы представлена не во всех исследованиях. Указанные ограничения не опровергают полученные научные результаты, а определяют направления их дальнейшего развития и усиления в последующих исследованиях.

Заключения.

1. Рассмотрение охраны труда в литейном производстве на основе системы «литейный цех – человек – окружающая среда» создаёт последовательную научно-методическую основу для комплексной оценки вредных факторов.

2. Его исследования уточняют особенности воздействия пыли, химических веществ, шума, вибрации, микроклимата, теплового излучения и освещения на работников различных профессий и производственных участков. Поэтому полученные результаты имеют практическое значение для проектирования и реконструкции литейных цехов, а также оценки рабочих мест.

3. Наиболее высокий профессиональный риск формируется не только вследствие изолированного воздействия отдельных факторов, но и в результате их одновременного

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

сочетания и продолжительности воздействия. Поэтому гигиеническую классификацию необходимо дополнять оценкой фактической сменной дозы и вероятности последствий.

4. Предложенная пятиэтапная модель развивает существующую методику посредством индивидуального сенсорного мониторинга, интегрального индекса риска и повторного анализа эффективности реализованных мероприятий.

5. В дальнейших исследованиях приоритетными должны стать многоцентровые измерения, долгосрочное наблюдение за состоянием здоровья работников, применение биомаркеров и оценка технико-экономической эффективности профилактических мероприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Алешина, Ю. А., & Новикова, Т. А. (2024). Профессиональные факторы риска для здоровья работников литейных производств предприятий машиностроения (обзор литературы). Гигиена и санитария, 103(5), 462–467. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-5-462-467

[2] Лазаренков, А. М. (1992). Исследование и разработка мер достижения экологического равновесия в системе «литейный цех – человек – окружающая среда» [Диссертация доктора технических наук, Белорусская государственная политехническая академия].

[3] Лазаренков, А. М. (2018). Условия труда работающих в литейных цехах. Литье и металлургия, (4), 160–164. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-4-160-164

[4] Лазаренков, А. М., Иванов, И. А., & Садоха, М. А. (2023). Воздействие факторов производственной среды на работающих в литейном производстве. Литье и металлургия, (2), 129–135. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-129-135

[5] Лазаренков, А. М., & Николайчик, Ю. А. (2021). Комплексная оценка условий и безопасности труда работающих в литейном производстве. Литье и металлургия, (4), 116–122. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-116-122

[6] Лазаренков, А. М., & Садоха, М. А. (2022). Исследование шумового фактора условий труда в литейном производстве. Литье и металлургия, (2), 130–136. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-130-136

[7] Gaertner, R. R. W., & Thériault, G. P. (2002). Risk of bladder cancer in foundry workers: A meta-analysis. Occupational and Environmental Medicine, 59(10), 655–663. https://doi.org/10.1136/oem.59.10.655

[8] International Labour Organization. (2003). Safety and health in the non-ferrous metals industries: ILO code of practice. https://www.ilo.org/publications/safety-and-health-non-ferrous-metals-industries

[9] International Labour Organization. (2005). Safety and health in the iron and steel industry: ILO code of practice. https://www.ilo.org/resource/other/safety-and-health-iron-and-steel-industry

[10] International Organization for Standardization. (2001). Mechanical vibration—Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration—Part 1: General requirements (ISO 5349-1:2001). https://www.iso.org/standard/32355.html

[11] International Organization for Standardization. (2017). Ergonomics of the thermal environment—Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index (ISO 7243:2017). https://www.iso.org/standard/67188.html

[12] International Organization for Standardization. (2018). Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use (ISO 45001:2018). https://www.iso.org/standard/63787.html

[13] International Organization for Standardization. (2025). Acoustics—Determination of occupational noise exposure—Methodology (ISO 9612:2025). https://www.iso.org/standard/81317.html
[14] National Institute for Occupational Safety and Health. (1998a). Controlling silica dust from foundry casting-cleaning operations (DHHS [NIOSH] Publication No. 98-106). Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/docs/hazardcontrol/hc23.html
[15] National Institute for Occupational Safety and Health. (1998b). Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure, revised criteria 1998 (DHHS [NIOSH] Publication No. 98-126). Centers for Disease Control and Prevention. https://stacks.cdc.gov/view/cdc/6376
[16] National Institute for Occupational Safety and Health. (2018). Foundries—Control technology recommendations. Engineering Controls Database, Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/engcontrols/ecd/detail141.html
[17] National Institute for Occupational Safety and Health. (2026). Silica and worker health. Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/silica/about/
[18] Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). Respirable crystalline silica (29 C.F.R. § 1910.1053). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1053

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

Лазаренков, А. М. (2026). Комплексная оценка условий труда в литейном производстве и пути снижения воздействия вредных факторов. Цифровые технологии в промышленности, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.26

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 677.024.54

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.27

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА РАБОТНИКОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА



Лазаренков Александр Михайлович
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Охрана труда» Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь
E-mail: lazarenkov@bntu.by
ORCID ID: 0000-0001-6939-592X



Поздняков Владимир Михайлович
Ректор учреждения образования Федерации профсоюзов Беларуси Международный университет "МИТСО", Минск, Беларусь
E-mail: mitso@mitso.by

Аннотация. *Цель работы заключается в установлении связи между оценкой тепловой нагрузки в литейном производстве, выполняемыми операциями и условиями в зоне отдыха, а также в формировании количественной основы для выбора режима труда и отдыха. Использованы целевой анализ литературы, сопоставление опубликованных агрегированных показателей и детерминированный сценарный расчёт для 36 вариантов. Опубликованные средние значения WBGT представлены на графике со стандартными отклонениями; отдельно сопоставлены результаты мероприятий по снижению теплового воздействия. В расчётах приняты значения WBGT в рабочей зоне 32, 34 и 36 °C, в зоне отдыха – 24, 27 и 29 °C, а продолжительность перерыва – 10, 20, 30 и 40 минут в течение часа. Расчётные средние значения WBGT составили 26,67–34,83 °C. При выделении половины часа на отдых снижение WBGT в зоне отдыха с 29 до 24 °C уменьшало средний индекс на 2,50 °C. Результаты показывают необходимость совместного учёта продолжительности и условий отдыха. Статья основана на вторичном анализе опубликованных данных и расчётном анализе; новые результаты производственных измерений не представлены.*

Ключевые слова: *литейное производство, тепловая нагрузка, WBGT, тепловое излучение, стандартное отклонение, анализ чувствительности, режим труда и отдыха.*

Received: 20.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

QUYUV ISHLAB CHIQARISHIDA ISHCHILARNING ISSIQLIK YUKLAMASINI BAHOLASH VA MEHNAT HAMDA DAM OLISH REJIMINI ASOSLASH

Lazarenkov Aleksandr Mixayilovich
Texnika fanlari doktori, professor, Belarus milliy texnika universiteti "Mehnat muhofazasi" kafedrasi professori, Minsk, Belarus

Pozdnyakov Vladimir Mixaylovich
Belarus kasaba uyushmalari federatsiyasining "MITSO" xalqaro universiteti» ta'lim muassasasi rektori, Minsk, Belarus

Annotatsiya. *Ishning maqsadi quyuv ishlab chiqarishida issiqlik yuklamasini baholashni bajariladigan operatsiyalar va dam olish zonasidagi sharoitlar bilan bog‘lash, shuningdek, mehnat va dam olish rejimini tanlash uchun miqdoriy asos yaratishdan iborat. Maqsadli adabiyotlar tahlili, chop etilgan umumlashtirilgan ko‘rsatkichlarni taqqoslash hamda 36 ta variant bo‘yicha deterministik ssenariy hisobidan foydalanildi. Nashrlardagi o‘rtacha WBGT qiymatlari standart og‘ishlari bilan grafikda ko‘rsatildi; issiqlik ta’sirini kamaytirish tadbirlarining natijalari alohida taqqoslandi. Hisoblarda ish zonasidagi WBGT qiymatlari 32, 34 va 36 °C, dam olish zonasida 24, 27 va 29 °C, tanaffus davomiyligi esa bir soat ichida 10, 20, 30 va 40 daqiqa deb qabul qilindi. Hisoblangan o‘rtacha WBGT qiymatlari 26,67–34,83 °C oralig‘ini tashkil etdi. Bir soatning 30 daqiqasi dam olishga ajratilganda, dam olish zonasidagi WBGTni 29 dan 24 °C gacha pasaytirish o‘rtacha indeksni 2,50 °C ga kamaytirdi. Natijalar dam olish davomiyligi va sharoitlarini birgalikda hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. Maqola chop etilgan ma’lumotlarning ikkilamchi tahlili va hisobiy tahlilga asoslangan; ishlab chiqarish sharoitidagi yangi o‘lchov natijalari taqdim etilmagan.*

Kalit so‘zlar: *quyuv ishlab chiqarishi, issiqlik yuklamasi, WBGT, issiqlik nurlanishi, standart og‘ish, sezgirlik tahlili, mehnat va dam olish rejimi.*

ASSESSMENT OF HEAT STRESS AMONG FOUNDRY WORKERS AND JUSTIFICATION OF WORK–REST REGIMENS

Lazarenkov Alexander
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Occupational Safety, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Pozdniakov Vladzimir
Rector of the Educational Institution of the Federation of Trade Unions of Belarus International University “MITSO”, Minsk, Belarus

Abstract. *This study aims to link heat stress assessment in foundry production to the operations performed and conditions in rest areas, and to establish a quantitative basis for selecting work–rest regimens. The methods included a targeted literature review, comparison of published aggregate data, and deterministic scenario calculations for 36 combinations. Published mean wet-bulb globe temperature (WBGT) values were plotted with their standard deviations, while the outcomes of measures to reduce heat exposure were compared separately. The calculations assumed work-area WBGT values of 32, 34, and 36 °C, rest-area values of 24, 27, and 29 °C, and rest periods of 10, 20, 30, and 40 minutes per hour. The calculated mean WBGT values ranged from 26.67 to 34.83 °C. With 30 minutes per hour allocated to rest, reducing rest-area WBGT from 29 to 24 °C lowered the mean index by 2.50 °C. The results demonstrate the need to consider both the duration and conditions of rest. The article is based on secondary analysis of published data and scenario calculations; no new workplace measurement results are presented.*

Keywords: *foundry production, heat stress, WBGT, thermal radiation, standard deviation, sensitivity analysis, work–rest regimen.*

Введение. Тепловое воздействие на работника в литейном цехе изменяется в зависимости от близости к печи, вида металла, технологической операции и продолжительности пребывания на данном участке. Температура воздуха в одной точке не характеризует воздействие в течение всей смены. Кроме того, прекращение работы на горячем участке и отдых в прохладной зоне происходят в разных условиях. Поэтому при оценке необходимо одновременно фиксировать место, продолжительность и характер выполняемой работы.

Имеющиеся натурные исследования показывают взаимосвязь теплового излучения, тяжести работы и физиологических реакций [1–5]. Однако значение, полученное на другом предприятии, нельзя использовать в качестве готового норматива или гарантии эффективности для конкретного рабочего места. Задачи настоящей работы состоят в критическом сопоставлении опубликованных

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

данных, расчёте результатов усреднения по времени и определении сведений, необходимых для практической проверки.

Литературный анализ и методы. Лазаренков [1] рассматривает рабочие места заливщиков металла с учётом типа производства и выполняемых операций. Приведённые значения интенсивности излучения подтверждают, что для характеристики воздействия одной температуры воздуха недостаточно. Вместе с тем непосредственно определить WBGT по интенсивности излучения невозможно, поскольку это разные физические величины. Представленный в источнике подход с выделением отдельных операций использован в настоящей работе для выбора единицы наблюдения.

Chen и соавторы [2] связали предварительную оценку среды по WBGT с моделью прогнозируемого теплового напряжения организма (PHS). Учёт рабочей нагрузки и излучения помогает выбирать меры по снижению воздействия. Применяемая в настоящей статье упрощённая модель усреднения по времени не заменяет PHS и не рассчитывает тепловой баланс организма.

Измерения Giahi и соавторов [3], выполненные до и после внедрения мероприятий, позволяют количественно оценить технические решения. Однако возможности переноса результата одного промышленного объекта на другие печи, комплекты защитной одежды или планировочные решения цеха ограничены. Поэтому опубликованные величины снижения использованы как обоснование необходимости проверки инженерных мероприятий, а не как готовые показатели эффективности конкретного проекта.

Sharma и соавторы [4] сообщили о значениях WBGT 33,54 °C на печном участке и 32,93 °C на участке заливки металла, а также о корреляции между WBGT и субъективным индексом HSSI: r = 0,831. Это наблюдение свидетельствует о полезности дополнения показателя среды субъективной оценкой работника, однако корреляция не доказывает причинного воздействия и не служит индивидуальным диагнозом. Поскольку в аннотации не указан объём выборки, новый доверительный интервал для данной корреляции не рассчитывался.

Norloei и соавторы [5] сравнили 25 акклиматизированных к теплу работников и 10 офисных сотрудников; среднее значение WBGT составило 35 °C. Межгрупповые различия по гормонам T3 и T4 не были статистически значимыми (соответственно p = 0,79 и p = 0,17). Следовательно, высокое значение индекса среды не означает однонаправленного изменения всех биологических показателей. Из снижения индекса среды нельзя автоматически делать вывод о физиологическом эффекте.

Источники проверены 15 сентября 2026 года посредством тематического веб-поиска, PubMed, J-STAGE и сайтов издательств. Использованы поисковые выражения «foundry workers heat stress WBGT», «radiant heat controls», а также русскоязычные названия работ об условиях труда заливщиков металла. Для получения количественных данных отбирались первичные исследования, в которых можно проверить показатель и единицу его измерения. Работа не является систематическим обзором или метаанализом.

Использованы открытые полные тексты [1, 2], открытые аннотации [3–5], официальные описания [6, 7] и открытое руководство [8]. Неоднородные показатели не объединялись в общую оценку эффекта. Сохранены опубликованные стандартные отклонения (SD); ввиду отсутствия исходных наблюдений новые p-значения и доверительные интервалы не рассчитывались.

Результаты. Chen и соавторы [2] обследовали два сталелитейных (S1, S2) и два чугунолитейных (I1, I2) предприятия. На каждом предприятии выбраны пять точек мониторинга среды; наблюдение охватывало два последовательных рабочих цикла. В оценке индивидуальных факторов участвовал в общей сложности 21 работник. Это число не является объёмом независимой выборки измерений среды.

Наибольшая разница между средними значениями четырёх предприятий составляет 2,3°C. Хотя разброс на S2 выше, по агрегированным данным нельзя определить статистическую значимость этого различия.

Временная зависимость наблюдений также препятствует принятию предположения о независимости выборки. Поэтому график представляет собой описательное сопоставление, а не рейтинг безопасности предприятий.

Таблица 1.

Опубликованные значения WBGT по предприятиям [2, таблица 2]

Код предприятия	Вид литья	Среднее WBGT, °C	Стандартное отклонение, °C
S1	Стальное	31,8	0,65
S2	Стальное	34,1	3,32
I1	Чугунное	33,9	0,83
I2	Чугунное	32,8	0,83

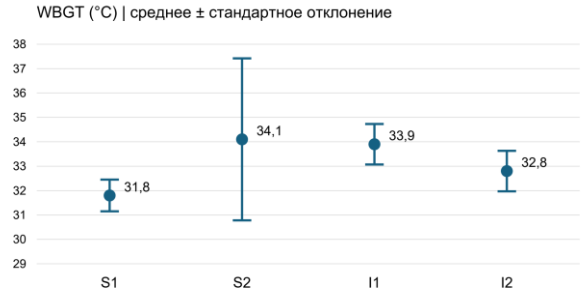


Рис.1. Средние значения WBGT и ±1 SD по предприятиям. График построен по данным Chen и соавторов [2]. Вертикальные отрезки не являются доверительными интервалами или диапазонами от минимума до максимума.

Из полученных данных не следует, что аналогичное среднее значение WBGT на другом производственном объекте требует точно такого же графика отдыха. Метаболические затраты при работе, одежда, акклиматизация и продолжительность воздействия при каждой операции могут различаться. Статистические характеристики среды служат исходными данными для выбора режима.

Таблица 2.

Опубликованные диапазоны интенсивности излучения при заливке металла [1, таблица 3]

Операция	Стальное литьё, Вт/м²	Чугунное литьё, Вт/м²
Наполнение ковша жидким металлом	3200–4800	2800–4300
Удаление шлака с поверхности металла	3800–5900	3600–5200
Заливка металла в формы	4550–7400	3350–6400

Эти диапазоны характеризуют интенсивность излучения; они не являются SD или 95-процентными доверительными интервалами. Наибольшие из приведённых значений относятся к заливке металла в формы. Таблицу необходимо использовать совместно с данными о доле времени воздействия: кратковременное интенсивное и продолжительное воздействие нельзя считать равнозначными.

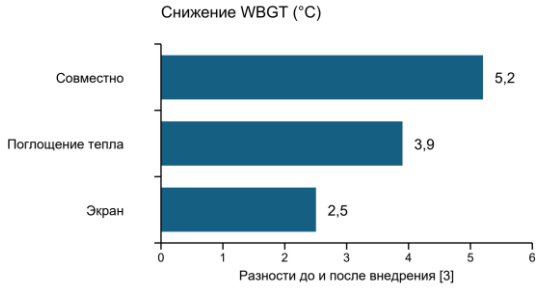


Рис.2. Снижение WBGT, приведённое Giahi и соавторами [3]. Значения взяты из аннотации публикации; отрезки погрешностей не нанесены, поскольку дисперсия не указана.

В источнике зафиксировано снижение на 3,9 °C при применении системы поглощения тепла, на 2,5 °C при использовании отражающего экрана и на 5,2 °C при совместном применении мероприятий. Для снижения индексов при совместном применении авторы сообщили $p < 0{,}001$ [3]. Это не результат нового статистического теста, выполненного в настоящей статье.

Суммирование значений для отдельных мероприятий не даёт их совместного эффекта: 3,9+2,5=6,4°C, тогда как опубликованное снижение при совместном применении составляет 5,2 °C. Поэтому независимость и аддитивность их воздействия не предполагались. При выборе мероприятия необходимы повторные измерения с учётом расположения оборудования и технологических условий.

Для среды без прямого солнечного облучения WBGT рассчитывается по температуре смоченного термометра с естественной вентиляцией t_nw и температуре чёрного шара tg следующим образом [8, 9]:

$$WBGT = 0{,}7t_nw + 0{,}3tg \quad (1)$$

Для рабочей зоны и зоны отдыха выбран единый расчётный период продолжительностью

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

60 минут. Обозначим через W_i значение WBGT в рабочей зоне, через W_r – в зоне отдыха (°C), через r – продолжительность отдыха (мин), а через $\bar{W}$ – средневзвешенный по времени индекс:

$$\bar{W} = [W_i(60 - r) + W_r r] / 60 = W_i + (W_r - W_i)r/60 \quad (2)$$

Расчётный набор сформирован из значений $W_i \in \{32; 34; 36\}$ °C, $W_r \in \{24; 27; 29\}$°C и $r \in \{10; 20; 30; 40\}$ мин и включает все $3 \times 3 \times 4 = 36$ комбинаций. Эти числа являются условными входными значениями, заданными для анализа чувствительности; они не представляют новые измерения на предприятии или случайную выборку. Варианты сопоставлялись в пределах заданных значений; проверка статистических гипотез не проводилась.

Таблица 3.

Расчётные значения $\bar{W}$ при W_i = 32 °C

Работа / отдых, мин	W_r = 24 °C	W_r = 27 °C	W_r = 29 °C
50 / 10	30,67	31,17	31,50
40 / 20	29,33	30,33	31,00
30 / 30	28,00	29,50	30,50
20 / 40	26,67	28,67	30,00

Например, при 40 минутах работы и 20 минутах отдыха, если W_r = 24 °C, получаем $\bar{W}$ = (32 × 40 + 24 × 20)/60 = 29,33 °C. При том же распределении времени и W_r = 29 °C получаем $\bar{W}$ = 31,00 °C. Разница составляет 1,67 °C и обусловлена исключительно изменением условий в зоне отдыха.

Минимальное расчётное значение среди 36 вариантов составляет 26,67 °C (W_i = 32; W_r = 24; r = 40), максимальное – 34,83 °C (W_i = 36; W_r = 29; r = 10). Эти минимум и максимум относятся к выбранной области расчёта, а не к диапазону естественной изменчивости показателей у работников.

В расчёте не учтены поправка на одежду и метаболические затраты. Поэтому значения таблицы 3 не определяют безопасную продолжительность работы. При практической оценке метаболическая нагрузка также усредняется за тот же период в одинаковых единицах измерения по формуле $\bar{M} = \Sigma(M_j\tau_j)/\Sigma\tau_j$ [8].

Анализ чувствительности и обсуждение. Увеличение продолжительности отдыха на дополнительные 10 минут снижает индекс на $(W_i - W_r)/6$ °C. Например, при WBGT в рабочей зоне 32 °C для зоны отдыха с WBGT 24 °C это снижение составляет 1,33 °C, при 27 °C – 0,83°C, а при 29 °C – 0,50 °C. Следовательно, расчётный эффект одинакового дополнительного перерыва зависит от условий в зоне отдыха.

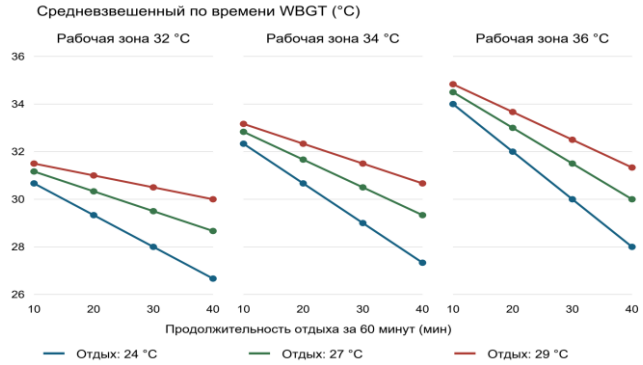


Рис.3. Средневзвешенный по времени WBGT для 36 условных комбинаций. Точки соответствуют расчётным значениям, линии показывают линейную зависимость между ними. Граница безопасности на графике не обозначена.

Снижение WBGT в зоне отдыха с 29 до 24°C уменьшает средний индекс на 5r/60. При продолжительности перерыва 10, 20, 30 и 40 минут разница составляет соответственно 0,83; 1,67; 2,50 и 3,33 °C. В данной модели эта разница не зависит от значения в рабочей зоне, поскольку остальные условия остаются одинаковыми.

Вклад снижения WBGT в рабочей зоне на 2 °C равен 2(60 − r)/60. Таким образом, доля времени определяет, улучшение условий в какой зоне сильнее влияет на средний показатель. Эта арифметическая зависимость не означает возможности замены технического мероприятия перерывом и не является расчётом физиологического восстановления работника.

Модель нечувствительна к последовательности воздействия: при одинаковых долях времени, даже если операции выполняются в разном порядке, получается одинаковое $\bar{W}$. Поэтому максимальную продолжительность непрерывной операции в условиях нагревающего микроклимата и кратковременные высокие значения необходимо сохранять в карте наблюдения. Это ограничение

определяет назначение алгоритма как средства предварительного сопоставления вариантов.

Обсуждение. ISO 7243 предусматривает предварительную оценку по WBGT, а ISO 7933 – аналитическую интерпретацию с использованием PHS [6, 7]. Для практического выбора режима сведения о среде, метаболических затратах, одежде и акклиматизации к теплу приводятся к единому расчётному периоду. Источник применяемого критерия и условия его использования указываются явно. В настоящей статье заключение о соответствии на основе полных таблиц стандартов не выносилось.

Таблица 4.

Минимальный состав данных для регистрации на рабочем месте

Группа данных	Регистрируемые сведения
Операция и время	Код работника, операция, зона, время начала и окончания
Среда	Температура смоченного термометра с естественной вентиляцией и чёрного шара, WBGT; прибор и калибровка
Работа и одежда	Метод и единицы оценки метаболических затрат, состав комплекта одежды
Отдых	Место, фактическая продолжительность, WBGT в зоне отдыха
Условия сравнения	Вид металла, темп производства, сезон, состояние экрана и вентиляции

Проверка организуется на основе повторных измерений на одном и том же рабочем месте до и после внедрения мероприятия. По возможности включается участок сравнения с аналогичной технологией. Число повторов определяется исходя из разброса предварительных наблюдений и практически значимого различия, которое необходимо выявить; необоснованный объём выборки заранее не задаётся.

Для статистического анализа заранее определяется независимая единица, например пара сопоставимых наблюдений для сочетания «рабочее место — смена». Каждая запись датчика в течение одной смены не рассматривается как отдельный независимый работник. При наличии фактических данных приводятся среднее и SD либо медиана и квартили, парная разность и её 95-процентный доверительный интервал; при повторных наблюдениях учитывается кластеризация. Данный этап представляет собой план последующей эмпирической проверки.

Заключения.

1. Опубликованные количественные данные служат основанием для оценки тепловой среды по операциям и применяемым мероприятиям. WBGT, интенсивность излучения и физиологические показатели не являются взаимозаменяемыми.

2. Расчёт для 36 вариантов показал, что совместный учёт продолжительности и места отдыха существенно меняет результат. При 30 минутах отдыха в течение часа снижение WBGT в зоне отдыха с 29 до 24 °C уменьшает $\bar{W}$ на 2,50°C.

3. Графики и расчётная модель служат для предварительного сопоставления вариантов. Для заключения о безопасном режиме и практической эффективности необходима проверка на основе измерений на рабочем месте, учёта метаболических затрат, одежды и повторных наблюдений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Лазаренков, А. М. (2022). Условия труда на рабочих местах заливщиков металла. Литье и металлургия, (1), 130–134. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-130-134

[2] Chen, W.-Y., Lo, C.-L., Chen, C.-P., Juang, Y.-J., Yoon, C., & Tsai, P.-J. (2014). Prioritizing factors associated with thermal stresses imposed on workers in steel and iron casting industries using the Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. Journal of Occupational Health, 56(6), 505–510. https://doi.org/10.1539/joh.14-0078-FS

[3] Giahi, O., Darvishi, E., Aliabadi, M., & Khoubi, J. (2016). The efficacy of radiant heat controls on workers' heat stress around the blast furnace of a steel industry. Work, 53(2), 293–298. https://doi.org/10.3233/WOR-152104

[4] International Organization for Standardization. (2023). Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain (ISO Standard No. 7933:2023). https://www.iso.org/standard/78240.html

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[5] Lazarenkov, A. M., Ivanov, I. A., Sadoha, M. A., Narziev, Sh. M., & Jumanazarov, S. S. (2024). Impact of production environment and labor process factors on the body of foundry workers. Science and Innovation, 3(A4), 285–292. https://doi.org/10.5281/zenodo.11079174

[6] Lazarenkov, A. M., & Narziev, Sh. M. (2025). Working conditions of employees in electroplating shops. Oscar Journal of Applied Science and Technology, 5(12), 83–88. https://oscarpubhouse.net/index.php/ojast/article/view/218

[7] National Institute for Occupational Safety and Health. (2016). Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to heat and hot environments (DHHS [NIOSH] Publication No. 2016-106). Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf

[8] Norloei, S., Jafari, M. J., Omidi, L., Khodakarim, S., Bashash, D., Abdollahi, M. B., & Jafari, M. (2017). The effects of heat stress on a number of hematological parameters and levels of thyroid hormones in foundry workers. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 23(4), 481–490. https://doi.org/10.1080/10803548.2016.1246122

[9] Sharma, M., Alam, M. S., Sharma, K., & Kataria, K. K. (2025). Assessing implications of occupational heat stress on the physiological and productive attributes of small-scale foundry workers in Northern India. Work, 82(3), 682–703. https://doi.org/10.1177/10519815241289664

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

Лазаренков, А. М., & Поздняков, В. М. (2026). Оценка тепловой нагрузки на работников литейного производства и обоснование режима труда и отдыха. Цифровые технологии в промышленности, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.27

UO‘K: 331.45

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.28

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

SPORTCHILARDAGI SHIKASTLANISHLAR VA KASB KASALLIKLARINI RAQAMLI MONITORING QILISHNING ZAMONAVIY YONDASHUVLARI



Sulaymanov Sunnatulla Sulaymanovich

Texnika fanlari doktori, professor,
Toshkent davlat transport universiteti
“Texnosfera xavfsizligi” kafedrasi professori, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: Sulaymanov@tstu.uz
ORCID ID: 0000-0001-5275-5200
Science ID: DTV-026-0009



Narziyev Shovkiddin Murtozayevich

Texnika fanlari doktori, professor, Renessans universiteti
“Muhandislik va dizayin” departamenti professori, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: sh.narziyev@renessans-edu.uz
ORCID ID: 0000-0001-6025-3235
Science ID: FTN-0225-0116

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot jismoniy tarbiya va sport sohasida sportchilarning shikastlanishi hamda kasb kasalliklarini oldini olish, aniqlash, hisobga olish va boshqarish masalalariga bag‘ishlangan. Maqolada jahon va O‘zbekiston miqyosidagi statistik ma’lumotlar tahlil qilinib, sportning ommalashuvi bilan jarohatlanish xavfi, davolash xarajatlari va samarali profilaktikaga ehtiyoj ortayotgani asoslangan. Sport inshootlari, sport bilan shug‘ullanuvchilar soni, turli sport yo‘nalishlaridagi jarohatlar chastotasi va og‘irligi bo‘yicha ko‘rsatkichlar umumlashtirilgan. Ayniqsa, tayanch-harakat apparati patologiyalari, tizza, tovon-boldir, umurtqa, yelka va tirsak bo‘g‘imlarining shikastlanish holatlari, o‘tkir jarohatlar hamda surunkali kasalliklarning o‘zaro nisbati yoritilgan. Tadqiqotda noto‘g‘ri yuklama, yetarli bo‘lmagan jismoniy va ruhiy tayyorgarlik, ehtiyotsiz harakatlar, sportchining yoshi, malakasi va anatomik-funksional xususiyatlari asosiy xavf omillari sifatida ko‘rsatilgan. Mavjud ma’lumotlarning tarqoq holda saqlanishi jarohatlarni prognozlash, individual kuzatuv va profilaktik strategiyalarni ishlab chiqishni qiyinlashtirishi aniqlangan. Raqamli monitoring tizimlari baxtsiz hodisalar va kasb kasalliklari haqidagi ma’lumotlarni yagona bazada jamlash orqali hodisalarni tezkor qayd etish, ularning sabablarini chuqur tahlil qilish, ko‘rilayotgan choralarning ijrosini nazorat qilish, sportchilar salomatligini uzluksiz kuzatish hamda murabbiylar uchun profilaktik tavsiyalar ishlab chiqish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari sport tashkilotlarida mehnat muhofazasi boshqaruvini takomillashtirish, mashg‘ulot yuklamalarini maqbullashtirish, jarohatlar xavfini kamaytirish hamda sportchilarning sog‘lig‘i va faoliyat xavfsizligini tizimli ravishda ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *sport jarohatlari, kasb kasalliklari, mehnat muhofazasi, sportchilar xavfsizligi, raqamli monitoring, tayanch-harakat apparati, axborot tizimi, profilaktika, tibbiy ekspertiza, mashg‘ulot yuklamasi, xavfni boshqarish.*

Received: 25.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЦИФРОВОМУ МОНИТОРИНГУ ТРАВМ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У СПОРТСМЕНОВ

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Сулайманов Сунатилла Сулайманович
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Узбекистан

Нарзиев Шовкиддин Муртозаевич
Доктор технических наук, профессор, профессор департамента «Инженерия и дизайн» Университета Ренессанс, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *Настоящее исследование посвящено вопросам профилактики, выявления, учёта и управления спортивными травмами и профессиональными заболеваниями спортсменов в сфере физической культуры и спорта. В статье проанализированы статистические данные мирового уровня и Республики Узбекистан, на основании которых установлено, что с ростом популярности спорта повышаются риск травматизма, расходы на лечение и потребность в эффективных профилактических мерах. Обобщены показатели количества спортивных сооружений и лиц, занимающихся спортом, а также частоты и тяжести травм в различных видах спорта. Особое внимание уделено патологиям опорно-двигательного аппарата, повреждениям коленного, голеностопного, плечевого и локтевого суставов, позвоночника, а также соотношению острых травм и хронических заболеваний. В качестве основных факторов риска рассмотрены неправильное распределение нагрузок, недостаточная физическая и психологическая подготовленность, неосторожные движения, возраст и квалификация спортсмена, а также его анатомо-функциональные особенности. Установлено, что разрозненное хранение имеющихся данных затрудняет прогнозирование травм, индивидуальное наблюдение и разработку профилактических стратегий. Цифровые системы мониторинга позволяют объединять сведения о несчастных случаях и профессиональных заболеваниях в единой базе данных, оперативно регистрировать происшествия, проводить углублённый анализ их причин, контролировать выполнение принимаемых мер, непрерывно отслеживать состояние здоровья спортсменов и разрабатывать профилактические рекомендации для тренеров. Результаты исследования имеют важное научно-практическое значение для совершенствования управления охраной труда в спортивных организациях, оптимизации тренировочных нагрузок, снижения риска травматизма, а также системного обеспечения здоровья и безопасности деятельности спортсменов.*

Ключевые слова: *спортивные травмы, профессиональные заболевания, охрана труда, безопасность спортсменов, цифровой мониторинг, опорно-двигательный аппарат, информационная система, профилактика, медицинская экспертиза, тренировочная нагрузка, управление рисками.*

MODERN APPROACHES TO THE DIGITAL MONITORING OF INJURIES AND OCCUPATIONAL DISEASES AMONG ATHLETES

Sulaymanov Sunnatulla Sulaymanovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Technosphere Safety, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Narziev Shovkiddin Murtozaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Engineering and Design, Renaissance University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *This study addresses the prevention, detection, registration, and management of sports injuries and occupational diseases among athletes in the field of physical education and sports. The article analyzes statistical data from both international sources and the Republic of Uzbekistan, demonstrating that the growing popularity of sports is accompanied by an increased risk of injury, rising treatment costs, and a greater need for effective preventive measures. Indicators relating to the number of sports facilities and individuals participating in sports, as well as the frequency and severity of injuries across various sports, are summarized. Particular attention is paid to musculoskeletal disorders, injuries to the knee, ankle, shoulder, and elbow joints and the spine, as well as the relationship between acute injuries and chronic diseases. Improperly managed training loads, insufficient physical and psychological preparedness, careless movements, athletes' age and qualification, and their anatomical and functional*

characteristics are identified as the main risk factors. The fragmented storage of existing data is found to hinder injury prediction, individual health surveillance, and the development of preventive strategies. Digital monitoring systems make it possible to consolidate information on accidents and occupational diseases in a unified database, promptly register incidents, conduct an in-depth analysis of their causes, monitor the implementation of corrective measures, continuously track athletes' health, and develop preventive recommendations for coaches. The findings have considerable scientific and practical significance for improving occupational safety management in sports organizations, optimizing training loads, reducing injury risks, and systematically safeguarding athletes' health and operational safety.
Keywords: *sports injuries, occupational diseases, occupational safety, athlete safety, digital monitoring, musculoskeletal system, information system, prevention, medical assessment, training load, risk management.*

Kirish. Jahonda sport sohasining jadal rivojlanishi va ommalashuvi fonida sportchilarning shikastlanishlari va kasbiy kasalliklarini oldini olish dolzarb ilmiy va amaliy muammo sifatida ahamiyat kasb etmoqda. Hozirgi kunda dunyo miqyosida sport bilan shug‘ullanuvchilar orasida yillik og‘ir shikastlanishlar 15–20% ni tashkil qiladi, professional sportda shikastlanishlar tezligi 70%, Olimpiya sportchilari orasida esa kamida bitta jiddiy jarohat olganlar 63% ni tashkil etadi. Olimpiada musobaqalarida sportchilarning 11% jarohat oladi, bolalar va o‘smirlar orasida esa har yili 3,5 milliondan ortiq sport jarohatlari qayd etiladi. Ushbu statistika sport faoliyatining xavfsizligini ta’minlash masalalarining global dolzarbligini tasdiqlaydi [1]. Shu munosabat bilan, sportchilarning mashg‘ulotlarini raqamlashtirish, mashg‘ulotlar davomiyligini monitoring qilish, sport turlari bo‘yicha faoliyat xavfsizligini modellashtirish va shikastlanishlarning oldini olishga qaratilgan ilmiy-metodik yondashuvlar bugungi kunda alohida ahamiyat kasb etmoqda. Bu esa sportchilarning jismoniy faolligini oshirish va faoliyat xavfsizligini ta’minlashda integrallashgan tizimli monitoring va boshqaruv mexanizmlarini ishlab chiqish zaruratini yuzaga keltiradi.

O‘zbekiston Respublikasi hududida sport sohasidagi statistik jihatdan ma’lumotlar aniqlanib sport inshootlarida, sport turlari bilan band bo‘lgan sportchilar sonidan kelib chiqqan holda [2], sport maktablarini tashkilotlari deb hisoblash tartibi aniqlangan. Sport maktablarida mehnat muhofazasi boshqaruv tizimi tegishli darajada ishlamaydi va sport tashkilotlarida 2021 yilda sport turlarida band bo‘lgan aholining soni 2 478 566 milliondan ortig‘ini tashkil etdi, bu umumiy aholining 7,5% dan ortig‘ini tashkil qilish tizimli o‘rganishda umumlashtirilgan statistik ma’lumotlari tahlilida aniqlandi. Sport turlarida band band aholining aksariyati potensial xavfli va zararli mehnat sharoitida faoliyat olib boradi deb hisoblasa bo‘ladi. So‘ngi yillarda respublikamizda sport sohasining jadal rivojlanishini hisobga olsak sportda mehnat muhofazasi boshqaruv tizimi masalalariga jiddiy yondashuv talab etadi [3].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Hozirgi kunda mahoratli va havaskor sportchilar orasida uchraydigan turli shikastlanishlar sonining ortishi, sport sohasida faoliyat xavfsizlikni ta’minlash vositalari va tizimlariga bo‘lgan talabni keskin oshirmoqda. Shu bilan birga, shikastlanish holatlarini tizimli tahlil qilish, statistik jihatdan monitoring olib borish hamda profilaktik choralarni ishlab chiqish uchun shikastlanishlar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni raqamlashtirish va axborotlarni jamlash zarurati kun tartibida turibdi. Biroq mavjud amaliyotda sportdagi shikastlanishlar bo‘yicha ma’lumotlar turli manbalarga bo‘linib ketgan va yagona axborot tizimida jamlanmagan. Bu esa ilmiy tadqiqotlar olib borish, shikastlanish xavfini prognoz qilish, sportchi sog‘lig‘ini individual kuzatish hamda sog‘lomlashtirish strategiyalarini ishlab chiqishda jiddiy to‘siqlarga sabab bo‘lmoqda.

S.V. Gurev tadqiqotlarida zamonaviy axborot texnologiyalarining ta’lim tizimi hamda shaxsning intellektual, kasbiy va jismoniy rivojlanishidagi o‘rni asoslangan. Biroq olim tomonidan ushbu texnologiyalardan sportchilarning shikastlanishlari va kasb kasalliklarini aniqlash, raqamli monitoring qilish, jarohatlanish xavfini prognozlash hamda profilaktik choralarni ishlab chiqishda foydalanish masalalari yetarlicha yoritilmagan [4].

P.K. Petrov tadqiqotlarida jismoniy tarbiya va sport sohasi uchun malakali kadrlarni tayyorlash,

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ko‘p bosqichli ta’lim modeliga o‘tish hamda ta’lim mazmunini yangi davlat standartlariga muvofiqlashtirish masalalari yoritilgan. Biroq olim tomonidan bo‘lajak mutaxassislarning sport-chilardagi shikastlanishlar va kasb kasalliklarini raqamli monitoring qilish, xavf omillarini baholash, ma’lumotlarni tahlil qilish hamda profilaktik qarorlar ishlab chiqishga oid kasbiy va raqamli kompetensiyalarini shakllantirish masalalari yetarlicha tadqiq etilmagan [5].

V.V. Grinshkun va S.G. Grigorev tadqiqotlarida zamonaviy axborot texnolo-giyalaridan foydalanish orqali jismoniy tarbiya va sport sohasi mutaxassislarining innovatsion bilim hamda amaliy ko‘nikmalarini rivojlantirish, yoshlar salomatligini saqlash va ijtimoiy-madaniy samaradorlikni oshirish masalalari yoritilgan. Biroq mualliflar tomonidan sportchilardagi shikast-lanishlar va kasb kasalliklarini raqamli monitoring qilish, individual xavf omillarini baholash, jarohatlanishni prognozlash hamda olingan ma’lumotlar asosida profilaktik boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish mexanizmlari yetarlicha tadqiq etilmagan [6].

S.V. Gurev tadqiqotlarida zamonaviy mutaxassislarning axborotni qabul qilish, qayta ishlash va undan foydalanish bo‘yicha raqamli kompetensiyalarini shakllantirish, shuningdek, jismoniy tarbiya va sport ta’lim tashkilotlariga dasturiy-pedagogik vositalarni joriy etish zarurati asoslangan. Biroq olim tomonidan axborot texnologiyalaridan sportchilardagi shikastlanishlar va kasb kasalliklarini qayd etish, salomatlik hamda mashg‘ulot yuklamalarini uzluksiz monitoring qilish, xavfni prognozlash va individual profilaktik choralarni ishlab chiqishda foydalanish mexanizmlari yetarlicha yoritilmagan [7].

Sport sohasida raqobatning kuchayishi, yuqori texnologiya va ko‘p funksiyali axborot tizimlari rivojlantirish sport tashkilotlarining asosiy vazifalari biriga aylantirdi. Sport tashkilotning yuqori mavqeini ta’minlashning asosiy shartlari biri, har tomonlama, tizimli keng qamrovli texnologik yordamni o‘z faoliyati yo‘lga qo‘yishdir [8].

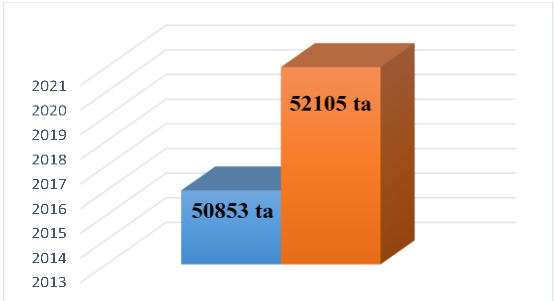
V.S. Andreeva va S.P. Mironovalarning ta’kidlashicha, jismoniy tarbiya va sport sohasida axborot tizimlaridan quyidagi yo‘nalishlarda foydalanish mumkin [9]:

1. Jismoniy tarbiya va sport sohasida tashkiliy va tadqiqot faoliyatini boshqaruvi.
2. Sport tadbirlariga xizmat ko‘rsatishni tashkil qilish.
3. Sport inshootlarini asrab avaylash.
4. Sportchilarni sport mashg‘ulotlariga tayyorlash.
5. Jismoniy tarbiyada, jismoniy madaniyatni tarbiyalash.
6. Hujjatlarni tayyorlash va rasmiylashtirish.

Bunday axborot tizimlarining ishi rivojlanish monitoringi va tahliliga asoslanadi sportchi, uning o‘sishini faol kuzatib boradi. Ushbu funksiyalarni amalga oshirish sportchilar va murabbiylar uchun qiziqish uyg‘otadi. Bundan tashqari, innovatsion kompyuter simulyatorlari, virtual va kengaytirilgan haqiqatda mashqlar ko‘rinishidagi yondashuvlardan faol foydalanish mumkin.

Natijalar. Bugungi kunda jismoniy tarbiya va sportni keng jamoatchilik orasida ommaviy-lashtirish, jahon hamjamiyatining muhim ijtimoiy yo‘nalishlaridan biri etib belgilangan. Insonning jismonan sog‘lom, aqlan yetuk, kuchli, irodali, matonatli bo‘lib tarbiyalanishida sport turlarining o‘rni beqiyosdir. Shu o‘rinda yengil atletika sport turlari dunyo miqyosida keng ommaviylashib, rivojlangan sport turlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, insonlar yengil atletika turlari bilan doimiy ravishda shug‘ullanib, uning texnikasini yuqori darajada egallash orqali alohida e’tiborga sazovor bo‘lmoqda.

O‘zbekiston Respublikasida 2021-yili 1-yanvar holatiga sport inshootlari soni jami 52105 tani tashkil etdi, ushbu ko‘rsatkichni 2016-yilga nisbatan taqqoslaganda (2016-yil 50853 ta) 1252 taga ko‘payganini kuzatish mumkin (1-rasmga qarang).



1-rasm. 2013–2021-yillarda miqdoriy ko‘rsatkichlarning qiyosiy tahlili (50 853 ta va 52 105 ta).

Respublikamizda 51300 ta sport inshootlari mavjud bo‘lib, ularning 27573 tasi qishloq hududlarida faoliyat yuritadi. Ularning umumiy quvvati kuniga 2663,3 nafar kishini qabul qilishga yetadi. Jismoniy tarbiya va sportga mo‘ljallangan klublar soni 12312 ta bo‘lib, shundan 7303 tasi qishloq hududlarida, shuningdek, oliy ta’lim tashkilotlarida 78 ta, mehnat jamoalarida 11 ta va boshqa muassasalarda 18 ta jismoniy tarbiya va sport klublari muntazam faoliyat yuritmoqda.

Respublikamiz yoshlarini ijobiy ijodiy va intellektual salohiyatini oshirish va ularning iqtidorlarini ro‘yobga chiqarish, bolalar va o‘smirlar orasida sog‘lom turmush tarzini shakllantirish, ularni jismoniy tarbiya va sport bilan shug‘illanishga keng jalb qilish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bugungi kunda sportchilarimiz turli musobaqalarda yuqori natijalarni qo‘lga kiritib, O‘zbekistonni dunyoga tanitmoqda. Ommaviy sport, ayniqsa, bolalar sportini ilmiy asosda rivojlantirish, uning tashkiliy asoslarini yaratishga alohida e’tibor qaratish maqsadga muvofiq. Jumladan, yurtimizda yosh sportchilarni jarohatlanish ehtimolini kamaytirish zamonaviy texnik uslublardan foydalanish sport amaliyotida keng qo‘llanilib kelmoqda.

Sportchilarning faoliyati, ayniqsa professional va yuqori darajadagi sport turlarida, tayanch-harakat apparatiga tashqi va ichki kuchlarning doimiy ta’siri ostida kechadi. Bunday sharoitda organizmga tushadigan zo‘riqishlar sport mashg‘ulotlari, o‘quv-mashq yig‘inlari hamda musobaqalar jarayonida yanada ortadi. Ushbu jarayonlar sportchilarda kuch, chaqqonlik, epchillik, estetik harakat madaniyati va mukammal texnik mahoratni rivojlantirishga yo‘naltirilgan. Shu bilan birga, o‘quv-mashq yig‘inlarining dastlabki va yakuniy bosqichlarida, shuningdek, musobaqa paytida ruhiy yoki jismoniy tayyorgarlikning yetarli darajada emasligi, sport mahoratining pastligi yoki ehtiyotsizlik bilan bajarilgan harakatlar natijasida sportchining shikastlanish xavfi ortishi mumkin..

Sportdagi shikastlanishlarning oldini olish va fiziologik tahlil bo‘yicha katta tajribaga ega. U sportchilarning shikastlanish xavfini tahlil qilish va minimallashtirish uchun ilg‘or metodlarni ishlab chiqishni talab qiladi.

Og‘ir jismoniy faoliyatning sportchilarda shikastlanishlar yuzaga kelishiga olib keladigan omillar himoya qilishda, jumladan, murabbiyning roli muhim. Chunki noto‘g‘ri tayyorgarlik va yuqori yuklamalar sportchilarni jarohatlarga olib kelishi mumkin. Shikastlanishlarning oldini olish uchun yangi trening metodlarini ishlab chiqish, sportchilarning jismoniy tayyorligini yaxshilashga va eng kam vaqt ichida xavfli shikastlanishlar va og‘irlikni yengish orqali optimallashtirish muhim hisoblanadi [10].

Rivojlangan mamlakatlar tajribasi shuni ko‘rsatadiki, turli manbalarda sport bilan bog‘liq shikastlanishlar umumiy jarohatlar ichida sezilarli ulushni egallaydi. Ayrim tadqiqotlarda sportdagi jarohatlar umumiy shikastlanishlarning 2–5 foizini tashkil etishi qayd etilgan bo‘lsa, boshqa manbalarda bu ko‘rsatkich 10–17 foizgacha yetishi ta’kidlanadi. Masalan, AQShda bolalar va o‘smirlar orasida qayd etiladigan barcha jarohatlarning qariyb 16 foizi sport faoliyati bilan bog‘liq bo‘lib, transport sohasidagi jarohatlar 7,1 foizni tashkil etadi. Shvetsiya tajribasiga ko‘ra esa, sport jarohatlari barcha shikastlanishlarning o‘rtacha 10 foizini tashkil qiladi [10].

Tarixiy ma’lumotlarga ko‘ra, 1940-yillarda sport bilan bog‘liq jarohatlar umumiy jarohatlarning atigi 1,4 foizini tashkil etgan [11]. 1970-yillarga kelib bu ko‘rsatkich 5–7 foizgacha oshgan [10]. 1980-yillar oxiri va 1990-yillar boshida sport jarohatlarining ulushi 10 foizdan ortgan bo‘lsa, 1990-yillarning o‘rtalarida u 12–17 foizgacha yetgan, 2001–2003 yillarda esa 17–20 foiz atrofida qayd etilgan. Shu bilan birga, sport jarohatlarini davolash va reabilitatsiya qilish uchun sarflanadigan to‘g‘ridan-to‘g‘ri hamda bilvosita iqtisodiy xarajatlar ham yildan-yilga keskin oshib bormoqda. Masalan, Gollandiyada sport jarohatlarini davolashning yillik qiymati 200-300 million dollarni tashkil qiladi. Sug‘urta kompaniyalarining ma’lumotlariga ko‘ra, har yili Shveysariya yo‘llarida jarohat olgan tog‘ chang‘ichilarini davolash uchun 4-5 milliard AQSh dollari sarflanadi.

Sportchining tayanch-harakat tizimi a’zolari shikastlanishi asosan sportning faol harakat bilan bog‘liq barcha turlarida kuzatiladi.

Sportchilarda jarohatlarning lokalizatsiyasini (joylashishini) o‘rganishga qaratilgan ko‘p yillik tadqiqotlar tayanch-harakat apparatining eng zaif bo‘g‘imlarini aniqlash imkonini beradi. Ilmiy

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

manbalarda [10] qayd etilishicha, hozirgi kunda tizza bo‘g‘imi eng ko‘p shikastlanishga moyil bo‘lib, u tayanch-harakat apparati patologiyalarining qariyb 50 foizini tashkil etadi. Shundan keyingi o‘rinda tovon-boldir bo‘g‘imi turadi; bu sohaga oid jarohatlar va kasalliklar sportchilarning 10 foizida uchraydi. Tayanch-harakat apparati patologiyalarining yana 10 foiziga yaqini umurtqa pog‘onasining ko‘krak va bel qismlariga to‘g‘ri keladi. Boldir va tovon sohasidagi jarohatlar umumiy holatlarning 6 foizini tashkil etsa, yelka bo‘g‘imi, kaft va son bilan bog‘liq shikastlanishlar 5 foizni, tirsak bo‘g‘imi patologiyasi esa 3,5 foizni tashkil etadi. Qolgan 1,5–2,5 foiz hollarda tayanch-harakat apparatining boshqa bo‘g‘imlari zararlanishi kuzatiladi. Shuni alohida ta’kidlash lozimki, ushbu raqamlar sportchilarda tayanch-harakat apparati shikastlanishlarining umumiy tuzilishi haqida tasavvur beradi, xolos. Har bir sport turi o‘ziga xos biomexanik xususiyatlarga ega bo‘lgani sababli, jarohatlarning lokalizatsiyasi ham sport yo‘nalishiga qarab farq qiladi.

Tadqiqotimiz natijalariga ko‘ra, sportchilarda tayanch-harakat apparatining o‘tkir jarohatlari va surunkali kasalliklari o‘rtasidagi nisbiy ulush muayyan farq bilan ajralib turadi. Xususan, o‘tkir jarohatlar umumiy holatlarning 61 foizini, surunkali kasalliklar esa 39 foizini tashkil etdi. Ushbu ko‘rsatkichlar ko‘plab mualliflar tomonidan o‘tkazilgan statistik tadqiqotlar natijalari bilan mos keladi [10].

Biroq, V.F. Bashkirov tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda [12] buning aksi kuzatilgan. Olimning ma’lumotlariga ko‘ra, sportchilar orasida tayanch-harakat apparatining surunkali mikrojarohatlari soni o‘tkir jarohatlarga nisbatan sezilarli darajada ustunlik qilgan.

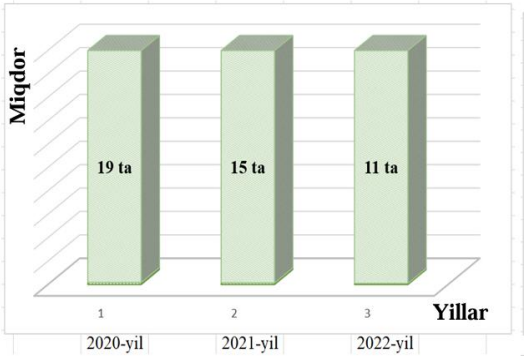
Sportchilarda tayanch-harakat apparati patologiyalarining tahlili shuni ko‘rsatadiki, tizza bo‘g‘imi menisklarining shikastlanishi sport travmatologiyasi sohasida eng keng tarqalgan va yetakchi patologik holat sifatida saqlanib qolmoqda. Ushbu turdagi jarohatlar tayanch-harakat apparati bilan bog‘liq barcha patologiyalarning 21,4 foizini tashkil etadi. Menisklarning shikastlanish hollari, asosan, turli sport o‘yinlari bilan shug‘ullanuvchi sportchilar orasida (33,1 foiz) qayd etilgan. Keyingi o‘rinlarda yakkakurash, murakkab-koordinatsion va siklik sport turlari vakillari joylashgan. Tizza, tovon-boldir hamda tirsak bo‘g‘imlarining kapsula-bog‘lam apparati jarohatlari esa umumiy patologiyalarning 11,8 foizini tashkil etadi. Ushbu turdagi shikastlanishlar, ayniqsa, murakkab-koordinatsion sport turlarida tez-tez uchraydi, biroq ular sport o‘yinlari, siklik yo‘nalishlar va yakkakurash turlari vakillari orasida ham kuzatiladi.

Muhokama. O‘tkazilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, sportchilarda tayanch-harakat apparati kasalliklarining qariyb 40 foizi bo‘g‘imlarning shikastlanishlariga to‘g‘ri keladi. Sinish holatlari umumiy jarohatlarning 7,1 foizini, mioentezik apparat – ya’ni mushaklar va paylarning shikastlanishlari – 6 foizini tashkil etadi. Lat yeyishlar esa 6,2 foiz hollarda uchrab, asosan siklik sport turlari hamda sport o‘yinlari bilan shug‘ullanuvchi sportchilar orasida kuzatiladi. Tayanch-harakat apparatining surunkali kasallik-lariga asosan bo‘g‘im kasalliklari kiradi. Ular orasida shakl buzar artrozlar, xondromalyatsiya, yog‘ tanachalari patologiyalari, bo‘g‘imlarning surunkali mikrojarohatlari, osteoxondropatiyalar, meniskopatiyalar, surunkali sinovit va bursitlar uchraydi. Ushbu kasalliklar barcha tayanch-harakat apparati patologiyalarining 13,8 foizini tashkil etadi.

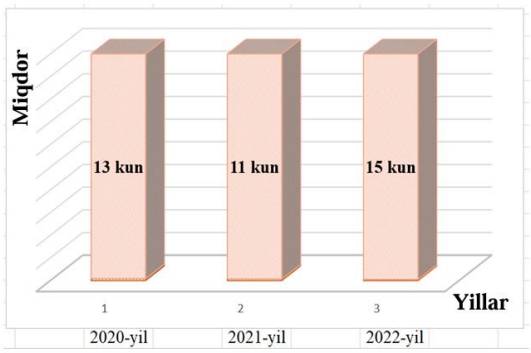
Sportchilarda tayanch-harakat apparatining surunkali kasalliklari, o‘tkir jarohatlar singari, sport faoliyatining turi va mashg‘ulot jarayonining o‘ziga xos xususiyatlari bilan bevosita bog‘liqdir. Bunday kasalliklarning rivojlanishiga sportchining tayyor-garlik bosqichi, yoshi, malaka darajasi, shuningdek, uning morfologik, antropometrik hamda anatomik-funksional xususiyatlari muhim ta’sir ko‘rsatadi. Oliy natijalar sporti — bu inson faoliyatning alohida sohasi bo‘lib, u sportchilar sog‘lig‘iga, tayyorgarlik mashqlari samaradorligiga va raqobatbardoshlik faoliyatiga tahdid soluvchi shikastlanishlar, turli kasb kasalliklari, patologiyaga olib keluvchi va patologik holatlar yuqori darajadaligi bilan tavsiflanadi.

Yakka kurash turlari (sambo, milliy kurash, boks, taekwando, yunon-rum kurashi, dzyudo, karate va boshqalar) gimnastika, basketbol sportlaridan olingan ma’lumotlar asosida, statistik usul bilan, shikastlanishlarni chastota, og‘irlik va xavflilik koeffitsiyentlarining hisoblangan qiymat-lari bo‘yicha, ularning gistogrammalari qurildi. Ushbu gistogrammalar 2-, 3-rasmlarda keltirilgan.

Natijalardan ko‘rinib turibdiki (2-rasmga qarang), har 1000 nafar havaskor sportchilardan 2020 o‘quv yilida 19 nafari, 2021 o‘quv yilida 15 nafari, 2022 o‘quv yilida 11 nafari turli sport o‘yinlari bo‘yicha mashqlarda, musobaqalarda shikastlangan.



2-rasm. Shikastlanishlarning chastota koeffitsiyentining solishtirma grafigi.



3-rasm. Shikastlanishlarning og‘irlik koeffitsiyentining solishtirma grafigi.

Shikastlanishlar chastotasi 2020, 2021, 2022 yillarida pasayib borishi kuzatilmoqda, buning sabablarini aniqlash uchun alohida tadqiqotlar o‘tkazish lozim. Shikastlanishlarning og‘irlik koeffitsiyenti – har bir shikastlanish tufayli havaskor sportchining ishga yaroqsiz kunlarining o‘rtacha soni 2020 yilida 13 kunni, 2021 yilida 11 kunni, 2020 o‘quv yilida 15 kunni tashkil etgan (3-rasmga qarang).

Jismoniy mashg‘ulotlar, tayyorgarlik jarayonlari natijasida bilan bog‘liq surunkali kasalliklar (masalan ortopedik muammolar, bo‘g‘imlar kasalliklari) aniqlansa, Sug‘urta qonuniga binoan hodisaga munosib tarzda ro‘yxatga olinadi, sport tibbiyoti mutaxassislari tomonidan individual monitoring tashkil etiladi, Federatsiya, markaz va sug‘urta tashkiloti o‘rtasida hujjat almashinuvi mavjud (1-jadvalga qarang).

1-jadval

Jismoniy mashg‘ulotlar davomida baxtsiz hodisalarni monitoring

Yo‘nalish	Amalga oshirish tartibi
Baxtsiz hodisalar	Sug‘urta xabarnomasi → federatsiya protokoli → ekspertiza → markaz tahlili
Kasb kasalliklari	Uzluksiz monitoring, ekspertiza → sug‘urta ro‘yxati → davolanish va tavsiyalar
Profilaktika	Federatsiyalar tomonidan murabbiylar va sportchilarga treninglar, nazorat kuchaytiriladi

Sportchilar jarohatlanganda yoki kasb kasalligi aniqlanganda, sport federatsiyasi ichki protokol to‘ldirishi, tibbiy ekspertiza, va Respublika sport tibbiyoti markazi orqali monitoring va tahlil qilish uchun ma’lumotlar tajriba bilan yuboriladi (2-jadvalga qarang).

Raqamli monitoring tizimlari jismoniy tarbiya va sportda mehnat muhofazasini tashkil etish va boshqarish tizimini shikastlanishlar va kasb kasalliklar bo‘yicha axborot tiziminida davlat boshqaruv organlari axborot tizimlari bilan integrallashgan modelida sohada sodir bo‘lgan baxtsiz hodisalarni hisobini yuritish, dasturida dalolatnoma yaratish paneli amalga oshiriladi.

2-jadval

Sportchilar jarohatlanganda yoki kasb kasalligi aniqlash va tahlil qilish

Bosqich	Amalga oshirilishi
Hodisa aniqlanishi	Mashg‘ulot yoki musobaqa paytida jarohat/kasallik yuz berishi.
Tibbiy yordam	Federatsiya tibbiy shtabi yoki shifokorga murojaat.
Protokol to‘ldirish	Federatsiya tomonidan hodisa haqida ichki protokolni tuziladi.
Ekspertiza va tahlil	Tibbiy-ijtimoiy ekspertiza tashkil etiladi.
Markaziy monitoring	Respublika sport tibbiyoti markazi ushbu holatni tahlil qiladi.
Profilaktika choralari	Murabbiylar va sportchilar uchun maxsus mahorat darslari, nazoratning kuchaytirilishi.

Dalolatnoma yaratish panelidagi barcha ma’lumotlar O‘zbekiston Respublikasi mehnat va aholini ijtimoiy muhofaza qilish vazirining 2010-yil 23-dekabrdagi 202-B-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan “Ta’lim muassasalarida o‘quv-tarbiya jarayonida o‘quvchilar va talabalar bilan yuz bergan baxtsiz hodisalarni tekshirish va hisobga olish tartibi to‘g‘risida”gi NIZOM talablariga muvofiq ta’lim tashkilotlarining rejalashtirgan sport mashg‘ulotlari, musobaqalar hamda ushbu tashkilotlarda o‘tkaziladigan boshqa o‘quv-tarbiya ishlari vaqtida o‘quvchilar va talabalar bilan yuz

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

bergan baxtsiz hodisalarni tekshirish va hisobga olish [13] amalga oshiriladi.

Tekshiriladigan va hisobga olinadigan baxtsiz hodisalar turiga yuqoridagi nizomning 2-bandida keltirilgan holatlarda ro‘y bergan turli tan jarohatlarini olish, shikastlanish kiradi. Baxtsiz hodisa tufayli olgan jarohati jabrlangan ta’lim oluvchining kamida bir kunlik o‘quv mashg‘ulotlarini qoldirilishiga sabab bo‘lsa nizomning 1-ilovasida keltirilgan shakldagi dalolatnoma platformada rasmiylashtiriladi.

Baxtsiz hodisa yuzasidan tekshirish olib borayotgan komissiyalar baxtsiz hodisalarni tekshirish yuzasidan ichki ishlar bo‘limlari, sog‘liqni saqlash muassasalari, yo‘l harakati xavfsizligi xizmatlari va yong‘in xavfsizligi xizmati organlari bilan hamkorlik qiladi.

3-jadval

Platformada rasmiylashtirilgan dalolatnomaning ijro holati

Bosqich	Amalga oshiriladigan ish
Hodisa	Musobaqa yoki mashg‘ulotda jarohat yuz beradi
Tibbiy yordam	Vrach yoki shifokor tomonidan birinchi yordam ko‘rsatiladi
Rasmiy xabar	Federatsiya va sug‘urta tashkilotiga hodisa haqida xabar beriladi
Ekspertiza	Tibbiy-ijtimoiy komissiya hodisani tekshiradi
Kompensatsiya	Sportchiga sug‘urta to‘lovi, sog‘liq tiklash xizmatlari ko‘rsatiladi

Yuz bergan baxtsiz hodisalarni to‘g‘ri va o‘z vaqtida tekshirilishi hamda hisobga olinishini, shuningdek baxtsiz hodisaning kelib chiqish sabablarini bartaraf etishga oid chora-tadbirlarning bajarilishini ta’lim muassasasining yuqori turuvchi organlari va tarmoq kasaba uyushmasi nazorat qiladi va bajarilishi platformada aka ettiriladi.

Rasmiylashtirilgan dalolatnoma asosida baxtsiz hodisalarning sabablari chuqur tahlil qilinadi, tibbiy yordamni vrach tomonidan amalga oshiriladi, rasmiylashtirilishi sport tashkiloti tomonidan yuqori turuvchi tashkiloti tomonidan amalga oshiriladi (3-jadvalga qarang).

Jismoniy tarbiya va sport sohasida sportchilarning salomatligini saqlanish, ularni tibbiy-biologik jihatdan to‘la qo‘llab-quvvatlash, mashg‘ulotlar vaqtida shikastlanishlar va kasb kasalliklarini o‘z vaqtida erta aniqlash va ularni oldini olish zamonaviy sport tibbiyoti oldida turgan asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Ushbu maqsadlarni kompleks hal etishda axborot tizimlaridan foydalanish alohida ahamiyat kasb etadi.

Xulosa.

1. Sportchilarda shikastlanishlar va kasb kasalliklarining ko‘payishi ularni aniqlash, ro‘yxatga olish va tahlil qilishga mo‘ljallangan raqamli monitoring tizimlarini joriy etish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Bunday tizimlar sportchi salomatligi va mashg‘ulot jarayoni haqidagi ma’lumotlarni muntazam yig‘ish imkonini beradi.

2. Sport jarohatlarining yuzaga kelishiga mashg‘ulot yuklamalarining noto‘g‘ri taqsimlanishi, jismoniy va ruhiy tayyorgarlikning yetarli emasligi, ehtiyotsiz harakatlar, sportchining yoshi, malakasi hamda anatomik-funksional xususiyatlari sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli xavfni baholashda mazkur omillar kompleks hisobga olinishi lozim.

3. Tayanch-harakat apparati, ayniqsa, tizza, tovon-boldir, umurtqa, yelka va tirsak bo‘g‘imlari sport faoliyatida eng ko‘p shikastlanadigan sohalar hisoblanadi. Ularning holatini uzluksiz kuzatish o‘tkir jarohatlar va surunkali kasalliklarni dastlabki bosqichlarda aniqlash imkonini oshiradi.

4. Sport jarohatlari va kasb kasalliklari haqidagi ma’lumotlarning turli manbalarda tarqoq saqlanishi statistik tahlil, xavfni prognozlash va samarali profilaktik choralarni ishlab chiqishni qiyinlashtiradi. Ma’lumotlarni yagona raqamli bazada tizimlashtirish murabbiylar, shifokorlar va sport tashkilotlari o‘rtasidagi axborot almashinuvini yaxshilaydi.

5. Raqamli monitoring natijalaridan foydalanish mashg‘ulot yuklamalarini sportchining individual holatiga muvofiq maqbullashtirish, yuqori xavf guruhlarini aniqlash va jarohatlanishlarning oldini olishga qaratilgan ilmiy asoslangan qarorlarni qabul qilish imkonini beradi. Natijada sport tashkilotlarida mehnat muhofazasi, sportchilar salomatligi va faoliyat xavfsizligini boshqarish samaradorligi oshadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Андреева, В. С., & Миронова, С. П. (2016). Информационные технологии в сфере физической культуры и спорта. В Физическая культура, спорт и здоровье студенческой молодежи в современных условиях: Проблемы и перспективы развития: Материалы региональной студенческой научно-практической конференции (с. 10–15). Российский государственный профессионально-педагогический университет.

[2] Башкиров, В. Ф. (1989). Причины травм и их профилактика. Теория и практика физической культуры, (9), 33–35.

[3] Гриншкун, В. В., & Григорьев, С. Г. (2006). Образовательные электронные издания и ресурсы: Учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов и слушателей системы повышения квалификации работников образования. Курский государственный университет; Московский городской педагогический университет.

[4] Гурьев, С. В. (2005). Компьютер и физическое воспитание: Учебное пособие. Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета.

[5] Гурьев, С. В. (2014). Современные информационные технологии в физической культуре и спорте: Монография. Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета.

[6] Петров, П. К. (2008). Информационные технологии в физической культуре и спорте: Учебное пособие. Издательский центр «Академия».

[7] Статистика спортивных травм. (б. д.). Sportmedicine.ru. https://www.sportmedicine.ru/

[8] Latibov, S. M., & Narziyev, S. M. (2024). Jismoniy tarbiya va sport tashkilotlarida mehnat muhofazasini boshqaruv tizimini samaradorligining matematik modeli. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(4–1), 151–156. https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.2

[9] Narziyev, S. M. (2024). Sportda mehnat muhofazasini ta’minlashning sanitar-gigiyenik chora-tadbirlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(3), 197–202. https://doi.org/10.5281/zenodo.13781556

[10] Orchard, J. W. (2023). Pay attention to the evidence: In the longer term, intraarticular corticosteroid injections offer only harm for knee osteoarthritis. Osteoarthritis and Cartilage, 31(2), 142–143. https://doi.org/10.1016/j.joca.2022.10.012

[11] O‘zbekiston Respublikasi Mehnat va aholini ijtimoiy muhofaza qilish vazirligi. (2010, 23-dekabr). Ta’lim muassasalarida o‘quv-tarbiya jarayonida o‘quvchilar va talabalar bilan yuz bergan baxtsiz hodisalarni tekshirish va hisobga olish tartibi to‘g‘risida nizomni tasdiqlash haqida (202-B-sonli buyruq, ro‘yxat raqami 2184). Lex.uz. Normativ-huquqiy hujjat

[12] Sulaymanov, S. S., Narziyev, S. M., & Latibov, S. M. (2024). Jismoniy tarbiya va sportda jarohatlanishlarning iqtisodiy zararni aniqlash uslubi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(4–1), 157–161. https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.3

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

Sulaymanov, S. S., & Narziyev, S. M. (2026). Sportchilardagi shikastlanishlar va kasb kasalliklarini raqamli monitoring qilishning zamonaviy yondashuvlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.28

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 528.94:556.166

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.29

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В ИРРИГАЦИОННОМ КАНАЛЕ



Сейтов Айбек Джумабаевич

Профессор, Университет мировой экономики и дипломатии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: a.seyitov@uwed.uz
ORCID ID: 0009-0002-8904-5178
Science ID: DQR-0925-0017



Ярашов Иномжон Кахрамон угли

Кандидат физико-математических наук (PhD), Университет мировой экономики и дипломатии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: i.yarashov@uwed.uz
ORCID ID: 0000-0002-0855-3318
Science ID: MTN-0225-0122



Умарова Шоирахон Гуломовна

Доцент, Университет мировой экономики и дипломатии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: umshoira@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-9064-6129
Science ID: FAN-0525-0039



Чориёров Нурбек Килич угли

Докторант (PhD) Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем, преподаватель Университета мировой экономики и дипломатии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: n.choriyorov@uwed.uz
ORCID ID: 0000-0001-7289-0303
Science ID: FQD-0626-0090

Аннотация. *В статье исследуются вопросы математического моделирования и алгоритмизации процессов автоматического управления водораспределением в ирригационном канале как сложной динамической системе. Основная цель исследования заключается в разработке системного подхода, направленного на обеспечение устойчивого регулирования уровня воды, повышение эффективности использования водных ресурсов, а также точности и надёжности процессов управления. Предложен комплексный подход, объединяющий математическую модель гидравлического объекта, численные методы расчёта, многосенсорную измерительную систему, алгоритмы автоматического регулирования и критерии оценки качества управления. Динамика движения воды в ирригационном канале описана системой дифференциальных уравнений неустановившегося движения жидкости. Для численного решения математической модели использован конечно-разностный метод, а для обеспечения устойчивости вычислительного процесса учитывается условие Куранта–Фридрихса–Леви (CFL). Автоматическое регулирование уровня воды осуществляется на основе ошибки регулирования, формируемой по данным двух измерительных точек. Кроме того, разработана формальная модель на основе сети Петри, описывающая последовательность этапов измерения, вычисления ошибки, формирования управляющего воздействия, проверки его допустимости и исполнения управляющей команды. В ходе исследования проанализированы переходные процессы, возникающие при уменьшении расхода воды, и установлено, что использование двух измерительных точек позволяет снизить максимальную ошибку регулирования по сравнению с односенсорной системой управления. Предложенные математическая модель и алгоритмы управления имеют практическое значение для автоматизации водораспределения в ирригационных каналах и разработки программно-алгоритмических комплексов управления водохозяйственными объектами.*

Ключевые слова: *системный анализ, математическое моделирование, ирригационный канал, водораспределение, автоматическое управление уровнем воды, численные методы, конечно-разностный метод, многосенсорное управление, сеть Петри, инвариант, алгоритм управления, автоматизация.*

Received: 14.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

IRRIGATSIYA KANALIDA SUV TAQSIMOTINI AVTOMATIK BOSHQARISHNI TIZIMLI MODELLASHTIRISH VA ALGORITMLASHTIRISH

Seytov Aybek Jumabayevich
Professor, Jahon iqtisodiyoti va diplomatiya universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Yarashov Inomjon Qahramon o‘g‘li
Fizika-matematika fanlari nomzodi (PhD), Jahon iqtisodiyoti va diplomatiya universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Umarova Shoiraxon G‘ulomovna
Dotsent, Jahon iqtisodiyoti va diplomatiya universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Choriyorov Nurbek Qilich o‘g‘li
Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti tayanch doktoranti (PhD), Jahon iqtisodiyoti va diplomatiya universiteti o‘qituvchisi, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada irrigatsiya kanalida suv taqsimotini avtomatik boshqarish jarayonlarini murakkab dinamik tizim sifatida matematik modellashtirish va algoritmlashtirish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi irrigatsiya kanallarida suv sathini barqaror boshqarish, suv resurslaridan samarali foydalanish hamda boshqaruv jarayonlarining aniqligi va ishonchliligini oshirishga qaratilgan tizimli yondashuvni ishlab chiqishdan iborat. Ishda gidravlik obyektning matematik modeli, sonli hisoblash usullari, ko‘p sensorli o‘lchash tizimi, avtomatik rostlash algoritmlari va boshqaruv sifatini baholash mezonlarini birlashtiruvchi kompleks yondashuv taklif etilgan. Irrigatsiya kanalidagi suv harakati dinamikasi suyuqlikning beqaror harakatini ifodalovchi differensial tenglamalar tizimi asosida modellashtirilgan. Matematik modelni sonli yechishda chekli ayirmalar usulidan foydalanilgan hamda hisoblash jarayonining barqarorligini ta’minlash maqsadida Kurant–Fridrixs–Levi (CFL) sharti hisobga olingan. Suv sathini avtomatik boshqarish ikki o‘lchash nuqtasidan olinadigan ma’lumotlar asosida shakllantirilgan rostlash xatoligiga tayangan holda amalga oshirilgan. Shuningdek, o‘lchash, xatolikni hisoblash, boshqaruv ta’sirini shakllantirish, uning ruxsat etilgan chegaralarga muvofiqligini tekshirish va boshqaruv buyrug‘ini bajarish bosqichlarini ifodalovchi Petri tarmog‘i asosidagi formal model ishlab chiqilgan. Tadqiqotda suv sarfining kamayishi natijasida yuzaga keladigan o‘tish jarayonlari tahlil qilinib, ikki o‘lchash nuqtasidan foydalanish bir sensorli boshqaruv tizimiga nisbatan maksimal rostlash xatoligini kamaytirishi aniqlangan. Taklif etilgan matematik model va boshqaruv algoritmlari irrigatsiya kanallarida suv taqsimotini avtomatlashtirish hamda suv xo‘jaligi obyektlari uchun dasturiy-algoritmik boshqaruv komplekslarini ishlab chiqishda amaliy ahamiyatga ega.*
Kalit so‘zlar: *tizimli tahlil, matematik modellashtirish, irrigatsiya kanali, suv taqsimoti, suv sathini avtomatik boshqarish, sonli hisoblash usullari, chekli ayirmalar usuli, ko‘p sensorli boshqaruv, Petri tarmog‘i, invariant, boshqaruv algoritmi, avtomatlashtirish.*

SYSTEM MODELING AND ALGORITHMIZATION OF AUTOMATIC CONTROL OF WATER DISTRIBUTION IN AN IRRIGATION CANAL

Seytov Aybek Jumabayevich
Professor, University of World Economy and Diplomacy, Tashkent, Uzbekistan

Yarashov Inomjon Qahramon ugli
Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD), University of World Economy and Diplomacy, Tashkent, Uzbekistan

Umarova Shoirakhon Gulomovna
Associate Professor, University of World Economy and Diplomacy, Tashkent, Uzbekistan

Choriyorov Nurbek Qilich ugli
PhD Researcher at the Research Institute of Irrigation and Water Problems, Lecturer at the University of World Economy and Diplomacy, Tashkent, Uzbekistan

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Abstract. *This article investigates mathematical modeling and algorithm development for automatic water distribution control in an irrigation canal considered as a complex dynamic system. The main objective of the study is to develop a systematic approach aimed at ensuring stable water level regulation, improving water resource utilization efficiency, and enhancing the accuracy and reliability of control processes. An integrated approach is proposed that combines a mathematical model of the hydraulic system, numerical computational methods, a multi-sensor measurement system, automatic control algorithms, and performance evaluation criteria. Water flow dynamics in the irrigation canal are described by a system of differential equations governing unsteady fluid motion. The finite difference method is employed for the numerical solution of the mathematical model, while the Courant–Friedrichs–Lewy (CFL) condition is considered to ensure the stability of the computational process. Automatic water level regulation is performed based on the control error determined using measurements obtained from two observation points. Furthermore, a formal model based on a Petri net is developed to represent the sequence of measurement, error calculation, control action generation, admissibility verification, and command execution. The study analyzes transient processes caused by a reduction in water discharge and demonstrates that the use of two measurement points reduces the maximum control error compared with a single-sensor control system. The proposed mathematical model and control algorithms have practical significance for automating water distribution in irrigation canals and developing software-based algorithmic control systems for water management facilities.*
Keywords: *systems analysis, mathematical modeling, irrigation canal, water distribution, automatic water level control, numerical methods, finite difference method, multi-sensor control, Petri net, invariant, control algorithm, automation.*

Введение. Ирригационные каналы — пространственно распределённые динамические объекты. Их работа определяется взаимодействием гидравлических, геометрических, технологических и управляющих процессов. Стоит изменить расход воды, положение регулирующих сооружений или добавить внешнее возмущение — и уровень воды вдоль канала меняется, формируя переходные процессы [1, 9].

За последние годы вопросы многоточечного измерения и автоматического регулирования уровня воды в открытых каналах активно исследуются в мировой литературе. Так, в работе [18] представлена система измерения уровня и расхода воды на открытых оросительных каналах, интегрированная со средствами автоматического управления затворами; в обзоре [16] систематизированы современные схемы много-датчикового и много-контроллерного управления ирригационными каналами и показан рост интереса к комбинированным алгоритмам обратной связи по нескольким измерительным точкам. Эти публикации подтверждают актуальность перехода от односенсорных к многосенсорным схемам управления, рассматриваемого в настоящей работе, и определяют место предлагаемого подхода среди современных исследований.

В отличие от локального объекта, ирригационный канал распределён по пространственной координате [2, 3, 7]. Поэтому управляющее воздействие в одном сечении способно повлиять на состояние других участков системы.

Системную постановку задачи запишем в виде [4, 6, 10]

$$\mathcal{S} = \{\mathcal{H}, \mathcal{G}, \mathcal{M}, \mathcal{U}, \mathcal{D}, \mathcal{C}\}, \quad (1)$$

Где: $\mathcal{H}$ — гидравлическая подсистема;

$\mathcal{G}$ — геометрическая подсистема;

$\mathcal{M}$ — подсистема измерения;

$\mathcal{U}$ — подсистема управления;

$\mathcal{D}$ — подсистема возмущений;

$\mathcal{C}$ — вычислительная и программная подсистема.

Научная новизна. В отличие от известных работ, рассматривающих, как правило, отдельные компоненты задачи — либо гидравлическую модель канала, либо схему датчиков [1–3, 18, 19], — в настоящей статье впервые для ирригационного канала предложена сквозная системная модель, объединяющая в единой архитектуре

гидравлическую модель неустановившегося движения воды, конечно-разностный численный метод с контролем устойчивости по условию Куранта–Фридрихса–Леви, двухсенсорную схему измерения и формирования управляющего воздействия, а также формальную логическую модель процесса управления на основе сети Петри с проверкой допустимости команд. Кроме того, впервые для данного объекта корректность и цикличность последовательности управляющих операций верифицированы аналитически с помощью P- и T-инвариантов сети Петри, а эффект перехода от одно- к двухсенсорной схеме измерения выражен количественно: снижение максимальной ошибки регулирования на 44,44–55,56% при увеличении коэффициентов обратной связи с 3 до 5.

Наша цель — разработать математическую и алгоритмическую модель автоматического управления уровнем воды, которая учитывает пространственную распределённость объекта, измерительные данные нескольких датчиков и логическую последовательность управляющих операций.

Материалы и методы. Мы рассматриваем канал как совокупность последовательно связанных локальных участков:

$$\mathcal{K} = K_1 \cup K_2 \cup \ldots \cup K_N \quad (2)$$

Для каждого участка определяем локальный вектор состояния

$$\mathbf{x}_i(t) = \begin{bmatrix} h_i(t) \\ Q_i(t) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где h_i — уровень воды, Q_i — расход.

Общее состояние системы:

$$\mathbf{X}(t) = [\mathbf{x}_1(t), \mathbf{x}_2(t), \ldots, \mathbf{x}_N(t)]^T \quad (4)$$

Так пространственно распределённая задача превращается в совокупность взаимосвязанных локальных моделей.

Математическая модель динамики канала. Движение воды описываем уравнениями сохранения массы и импульса [1, 11]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l,$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A} + gI_1\right) = gA(S_0 - S_f) + q_l v_l \quad (5)$$

Здесь A — площадь живого сечения, Q — расход воды, q_l — боковой приток, g — ускорение свободного падения, S_0 — уклон дна, S_f — гидравлический уклон, I_1 — гидростатический член.

Для прямоугольного сечения:

$$A = bh, \quad (6)$$

где b — ширина канала, h — глубина воды.

Гидравлический радиус:

$$R = \frac{A}{P}, \quad (7)$$

где P — смоченный периметр.

Расход связан с параметрами канала формулой Маннинга:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S_f^{1/2}, \quad (8)$$

где n — коэффициент шероховатости.

Дискретизация математической модели. Для численного моделирования вводим пространственную сетку $x_i = i\Delta x, \quad i = 0,1,\ldots,N$, и временную сетку $t_k = k\Delta t, \quad k = 0,1,\ldots,K$.

Дискретная форма уравнения неразрывности:

$$A_i^{k+1} = A_i^k - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left(Q_{i+1}^k - Q_i^k\right) + \Delta t q_{l,i}^k \quad (9)$$

Поскольку $A_i^k = b_i h_i^k$, новое значение уровня:

$$h_i^{k+1} = \frac{A_i^{k+1}}{b_i} \quad (10)$$

Векторная форма вычислительного алгоритма [8, 12]:

$$\mathrm{X}^{k+1} = F(\mathrm{X}^k, u^k, d^k, \theta) \quad (11)$$

где u^k — управляющее воздействие, d^k — возмущение, θ — параметры гидравлической модели.

Условие устойчивости численного алгоритма. Чтобы обеспечить устойчивость численного расчёта, используем условие CFL:

$$\mathrm{CFL} = \max_i \left[\frac{|u_i| + \sqrt{gh_i}}{\Delta x}\Delta t\right] \le C_{\max} \quad (12)$$

Если условие нарушается, временной шаг приходится уменьшать: $\Delta t_{\text{new}} = \alpha \Delta t, \quad 0 < \alpha < 1$.

В вычислительном комплексе этот механизм работает как элемент контроля численной устойчивости.

Математическая постановка задачи управления. Пусть задан требуемый уровень воды h_{set}.

Для каждого датчика ошибка регулирования: $e_{j,k} = h_{\text{set}} - h_{j,k}, \quad j = 1,2$

При двух измерительных точках

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

управляющее воздействие формируем так:

$$u_k = u_0 + k_1 e_{1,k} + k_2 e_{2,k} \quad (13)$$

Где: u_0 — базовое управляющее воздействие;

k_1 — коэффициент первого датчика;

k_2 — коэффициент второго датчика.

Управление ограничиваем допустимым диапазоном:

$$u_k = \min\left(u_{\max}, \max(u_{\min}, u_k)\right) \quad (14)$$

Дополнительные условия безопасности: $H_{\min} \le h_k \le H_{\max}$, $Q_{\min} \le Q_k \le Q_{\max}$.

Функция допустимости:

$$G(h_k, Q_k) = \begin{cases} 1, & H_{\min} \le h_k \le H_{\max} \wedge Q_{\min} \le Q_k \le Q_{\max}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (15)$$

Алгоритм автоматического управления. Алгоритм работает циклически:

Полный цикл цифрового управления уровнем воды в канале организован по замкнутой схеме (рис. 1): на первом этапе регистрируются текущие глубины, которые затем проходят цифровую фильтрацию для устранения стохастических волновых помех; на основе отфильтрованного сигнала рассчитывается рассогласование e_k, формируется управляющее воздействие u_k, проверяется условие допустимости и ограничений $satu_k$ на надзорном уровне сети Петри, после чего скорректированная команда подается на привод гидротехнического затвора.

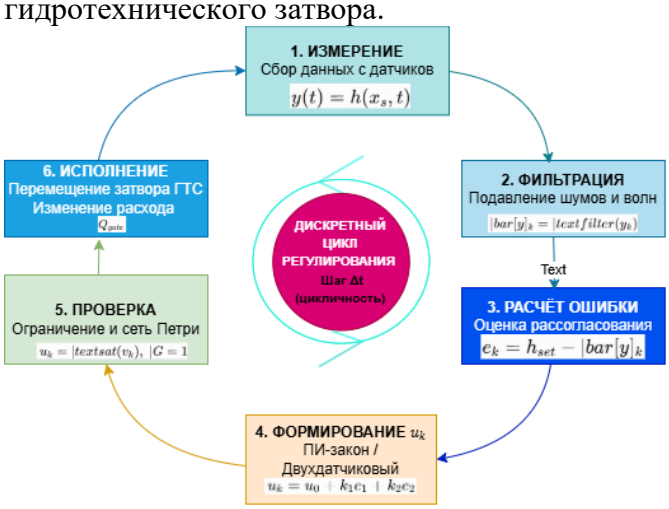


Рис.1. Структура замкнутого алгоритмического цикла регулирования уровня: от метрологической фильтрации измерений до логической верификации и исполнения команды на затворе ГТС.

В исходной экспериментальной постановке использовался интервал цифрового управления порядка 10 минут.

Формальная модель процесса управления на основе сети Петри. Чтобы формализовать последовательность дискретных управляющих операций, вводим сеть Петри

$$PN = (P, T, F, W, M_0), \quad (16)$$

где P — множество позиций, T — множество переходов, F — отношение инцидентности, W — функция весов, M_0 — начальная маркировка.

Определяем шесть позиций:

p_1 :ожидание измерения,
p_2 :измерительные данные получены,
p_3 :расчёт ошибки,
p_4 :расчёт управления,
p_5 :исполнение команды,
p_6 :проверка допустимости.

Переходы:

$$\begin{aligned} t_1 &: p_1 \to p_2, \\ t_2 &: p_2 \to p_3, \\ t_3 &: p_3 \to p_4, \\ t_4 &: p_4 \to p_5, \\ t_5 &: p_5 \to p_6, \\ t_6 &: p_6 \to p_1. \end{aligned} \quad (17)$$

Начальная маркировка:

$$M_0 = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T \quad (18)$$

Матрица инцидентности. Входная матрица:

$$I^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Выходная матрица:

$$I^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Матрица инцидентности: $C = I^+ - I^-$, то есть.

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Изменение маркировки:

$M_{k+1} = M_k + C\sigma_k,$ (22)

где σ_k — вектор срабатывания переходов.

P-инвариант. Вектор $y = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T$ является P-инвариантом, поскольку $C^T y = 0$. Следовательно, $y^T M_k = y^T M_0 = \text{const}$.

При одной исходной фишке:

$\sum_{i=1}^{6} M_i\,(k) = 1$ (22)

Это значит: логический процесс управления сохраняет единство активного состояния цикла.

T-инвариант. Для рассматриваемой циклической структуры $z = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T$ удовлетворяет условию $Cz = 0$. Значит, полный цикл $t_1 \to t_2 \to t_3 \to t_4 \to t_5 \to t_6$ возвращает систему к исходной маркировке. Сеть Петри, таким образом, формализует циклическую структуру автоматического регулирования.

Программно-алгоритмический комплекс. Для практической реализации предлагаем модульную архитектуру:

Таблица 1.

Результаты моделирования и оценка качества регулирования уровня воды при ступенчатом возмущении расхода на входе

Схема управления	k_1	k_2	Время установления T_s, мин	Максимальная ошибка E_{max}, см	Снижение ошибки K_E, %
Без регулирования	-	-	-	+50.0	-
Однодатчиковая схема	-	-	140	18.0	Базовый
Двухдатчиковая схема (Режим 1)	3	3	150	10.0	44.44%
Двухдатчиковая схема (Режим 2)	5	5	180	8.0	55.56%

Архитектура разделяет математическую модель, численный решатель, систему управления и логический уровень.

Управляющий алгоритм получает информацию не из одной, а из двух пространственно разнесённых точек.

Программная реализация сети Петри. Анализировать матрицу инцидентности можно средствами символьных вычислений:

Модуль позволяет автоматически проверять структурные свойства логической модели управления.

Экспериментальная постановка. Параметры канала:

Таблица 2.

Основные параметры исследуемого канала

Параметр	Обозначение	Значение
Длина канала	L	9600 м
Начальный расход	Q_0	60 м^3/с
Начальная глубина	h_0	3 м
Ширина	b	15 м
Коэффициент Маннинга	n	0.0175
Коэффициент откоса	m	1.5
Уклон дна	I	0.00035
Интервал управления	Δt	10 мин

Для многосенсорного управления рассматриваем две точки: $x_1 = 200$ м, $x_2 = 9400$ м. Основное возмущение — уменьшение расхода воды. Условия проведения численных экспериментов заданы следующим образом. Пространственная сетка канала построена с шагом Δx = 200 м (N = 48 расчётных участков); шаг по времени Δt автоматически уменьшается при нарушении условия CFL с коэффициентом α=0,5. Все варианты расчёта — без регулирования, односенсорная схема, двухсенсорная схема при $k_1 = k_2 = 3$ и при $k_1 = k_2 = 5$ — стартуют из одинаковых начальных условий ($Q_0 = 60$м^3/с, $h_0 = 3$ м) и рассчитываются при одном и том же сценарии возмущения расхода, что обеспечивает сопоставимость и повторяемость результатов между схемами.

Измерительные точки x_1= 200 м и x_2 = 9400 м моделируют дискретные датчики уровня воды с интервалом опроса, равным интервалу цифрового управления (Δt = 10 мин); в расчётах принято идеализированное измерение без инструментальной погрешности и запаздывания канала связи — это допущение модели оговорено в разделе «Обсуждение».

В одном из переходных режимов: $Q: 60 \to 45$ м^3/с, изменение происходит примерно на 80-й минуте.

В другом режиме:

$Q: 60 \to 50 \ \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ (23)

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Результаты. ***Результаты односенсорного регулирования.*** При использовании одного измерительного канала переходный процесс восстанавливается медленнее.

Время установления: $T_s \approx 140$ мин, максимальная ошибка регулирования: $E_{\max} \leq 18$ см.

Эти значения используем далее, как базовый вариант для сравнения.

Результаты двух сенсорного управления. Для двух сенсорной схемы рассмотрены два варианта коэффициентов.

Таблица 3.

Сравнение вариантов управления

Схема	k_1	k_2	$E_{\max}$
Один датчик	–	–	≤ 18 см
Два датчика	3	3	≤ 10 см
Два датчика	5	5	≤ 8 см

При $k_1 = k_2 = 3$ время установления составило примерно 150 мин, а максимальная ошибка не превысила 10 см.

При $k_1 = k_2 = 5$ максимальная ошибка уменьшилась примерно до 8 см, но время установления выросло примерно до 180 мин.

Полученная динамика показателей качества регулирования при переходе от одно- к двухсенсорной схеме наглядно представлена на рисунке 2 и обобщена в таблице 1: снижение максимальной ошибки Emax сопровождается ростом времени установления Ts, что иллюстрирует компромисс между точностью и быстродействием контура регулирования.

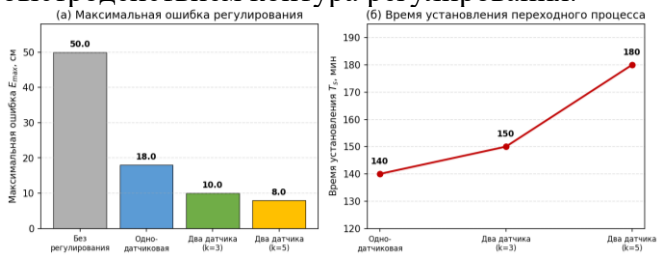


Рис.2. Сравнение максимальной ошибки регулирования E_max (а) и времени установления Ts (б) для различных схем управления по данным таблицы 1.

Относительное уменьшение максимальной ошибки. Для сравнения используем относительный показатель:

$$\eta_E = \frac{E_{\max}^{(1)} - E_{\max}^{(2)}}{E_{\max}^{(1)}} \cdot 100\% \quad (24)$$

Для перехода от 18 см к 10 см:

$$\eta_{E,1} = \frac{18-10}{18} \cdot 100\% = 44.44\% \quad (25)$$

Для перехода от 18 см к 8 см:

$$\eta_{E,2} = \frac{18-8}{18} \cdot 100\% = 55.56\% \quad (26)$$

Иными словами, увеличение коэффициентов обратной связи в исследуемом диапазоне уменьшает максимальное отклонение уровня воды.

Критерии качества управления. Для более полной оценки используем:

$$E_{\max} = \max_k |e_k| \quad (27)$$

$$E_{\text{MAE}} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}|e_k| \quad (28)$$

$$E_{\text{RMSE}} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} e_k^2} \quad (29)$$

Время установления:

$$T_s = \min\{t_k : |e_i| \leq \varepsilon, \quad i \geq k\} \quad (30)$$

Интенсивность изменения управляющего воздействия:

$$U_\Delta = \sum_{k=1}^{N}|u_k - u_{k-1}| \quad (31)$$

Обобщённый функционал качества:

$$J = w_1 E_{\text{RMSE}} + w_2 E_{\max} + w_3 T_s + w_4 U_\Delta \quad (32)$$

Оптимальные параметры регулятора [5, 13, 14]: $\theta^* = \arg\min_\theta J(\theta)$, где $\theta = [k_1, k_2, u_0, \Delta t]$.

Заметим: E_{MAE} и E_{RMSE} можно рассчитать только при наличии полной временной последовательности измерений. Поэтому при отсутствии исходного массива мы не подменяем их искусственными значениями.

Системный анализ. Модель позволяет рассматривать процесс управления на нескольких уровнях.

Физический уровень. На физическом уровне происходит изменение расхода, уровня, площади сечения и других гидравлических параметров.

Измерительный уровень. Измерительная подсистема выдаёт:

$$Y_k = \begin{bmatrix} h_{1,k} \\ h_{2,k} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Вычислительный уровень. На вычислительном уровне определяем:

$$E_k = \begin{bmatrix} h_{\text{set}} - h_{1,k} \\ h_{\text{set}} - h_{2,k} \end{bmatrix} \quad (33)$$

Управляющий уровень. На основании вектора ошибки формируем: $u_k = u_0 + \text{K}E_k$, где $\text{K} = [k_1 \quad k_2]$.

Логический уровень. Сеть Петри

контролирует последовательность:

$$p_1 \to p_2 \to p_3 \to p_4 \to p_5 \to p_6 \to p_1 \quad (34)$$

Так математическая, вычислительная и логическая подсистемы объединяются в единую архитектуру.

Оптимизация параметров управления. Одна из задач дальнейшего развития системы — автоматический выбор коэффициентов k_1 и k_2. Пусть $K = (k_1, k_2)$. Тогда задача оптимизации:

$$(k_1^*, k_2^*) = \arg\min_{k_1,k_2} J(k_1, k_2) \quad (35)$$

При этом учитываем ограничения:

$k_{\min} \le k_i \le k_{\max}$,

$u_{\min} \le u_k \le u_{\max}$.

В общем случае критерий:

$$J = w_1 E_{\max} + w_2 T_s + w_3 U_\Delta \quad (36)$$

Если основная цель — минимизировать отклонение уровня, увеличиваем w_1. Если приоритет — быстрое достижение установившегося режима, увеличиваем w_2. Если нужно уменьшить интенсивность изменения управляющего органа, увеличиваем w_3. Так параметры управления можно адаптировать к текущему режиму функционирования канала [15].

Обсуждение. Результаты подтверждают: много сенсорная схема даёт заметное преимущество при оценке пространственное распределённого состояния канала. Одно сенсорная схема использует информацию только в одной точке, поэтому часть сведений о пространственном состоянии объекта остаётся неиспользованной.

Двухсенсорная схема $u_k = u_0 + k_1 e_{1,k} + k_2 e_{2,k}$ учитывает состояние двух участков канала одновременно.

При $k_1 = k_2 = 3$ максимальная ошибка уменьшается примерно до 10 см, а при $k_1 = k_2 = 5$ — до 8 см.

Однако рост коэффициентов не гарантирует улучшения всех характеристик сразу. При $k_1 = k_2 = 5$ время установления увеличивается примерно до 180 минут.

Компромисс между точностью и динамическими характеристиками очевиден [16, 17]: $\min E_{\max} \Rightarrow / \min T_s$.

Поэтому коэффициенты нужно выбирать не только по максимальной ошибке, но и по комплексному критерию.

Системный подход с сетью Петри, кроме того, формализует логическую последовательность управляющих операций и позволяет проверить циклическую структуру алгоритма посредством P- и T-инвариантов.

Количественное сопоставление с результатами других исследований затруднено отсутствием единой методики оценки качества регулирования в цитируемых источниках и различием геометрических и гидравлических параметров каналов. Тем не менее полученное снижение максимальной ошибки регулирования на 44,44–55,56 % при переходе от одно- к двухсенсорной схеме согласуется по порядку величины с эффектом использования пространственно распределённых измерений и автоматического регулирования, отмечаемым в работах по многодатчиковому управлению каналами и водохозяйственными объектами [1, 5, 16–19].

Ограничения исследования.

Укажем несколько ограничений. Полная временная последовательность экспериментальных измерений в исходном материале отсутствует. Поэтому E_{MAE} и E_{RMSE} представлены как расчётные критерии для последующей программной реализации, а не как экспериментальные численные значения.

Рассматриваемая сеть Петри описывает дискретную логику управляющего процесса, но не заменяет непрерывную гидравлическую модель.

Для дальнейшего повышения точности необходимо учитывать дополнительные факторы: задержку распространения возмущений, динамику регулирующего сооружения и возможные шумы датчиков.

Заключение. Мы предложили системный подход к математическому моделированию и алгоритмизации автоматического управления вод распределением в ирригационном канале.

1. Сформирована математическая модель динамики ирригационного канала на основе уравнений сохранения массы и импульса.

2. Выполнена конечно-разностная дискретизация модели, позволяющая реализовать численный алгоритм.

3. Введено условие CFL для контроля устойчивости вычислительного процесса.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

4. Разработана двух сенсорная схема автоматического регулирования.

5. Введены управляющие параметры k_1, k_2 и u_0.

6. Построена логическая модель процесса управления на основе сети Петри.

7. Определены P- и T-инварианты, характеризующие сохранение структуры циклического процесса.

8. Показано: двух сенсорное управление при $k_1 = k_2 = 3$ даёт максимальную ошибку не более 10 см.

9. При $k_1 = k_2 = 5$ максимальная ошибка уменьшается примерно до 8 см, что соответствует снижению относительно базового варианта примерно на 55.56%.

10. Снижение максимальной ошибки регулирования уровня воды на 44,44–55,56 % потенциально позволяет уменьшить непроизводительные потери и объём аварийных сбросов воды на распределительных сооружениях канала, что имеет практическое значение для повышения эффективности водопользования в ирригационных системах.

Предложенный программно-математический комплекс можно расширить для адаптивного выбора параметров регулятора, моделирования различных возмущений и интеграции с реальными системами автоматизированного управления водохозяйственными объектами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Baratov, R., Chulliyev, Y., & Ruziyev, S. (2021). Smart system for water level and flow measurement and control in open canals. E3S Web of Conferences, 264, Article 04082. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404082

[2] Kabulov, A., Normatov, I., Seytov, A., & Kudaybergenov, A. (2020). Optimal management of water resources in large main canals with cascade pumping stations. In 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS) (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216402

[3] Kabulov, A. V., Seytov, A. J., & Kudaybergenov, A. A. (2021). Optimal water distribution in large main canals of irrigation system. Global and Stochastic Analysis, 8(3), 45–53.

[4] Rakhimov, S., Seytov, A., & Kudaybergenov, A. (2021). Modeling and optimization of water supply processes at large pumping stations. Global and Stochastic Analysis, 8(3), 57–62.

[5] Rakhimov, S., Seytov, A., Nazarov, B., & Buvabekov, B. (2020). Optimal control of unstable water movement in channels of irrigation systems under conditions of discontinuity of water delivery to consumers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 883(1), Article 012065. https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012065

[6] Rakhimov, S., Seytov, A., Rakhimova, N., & Xonimqulov, B. (2020). Mathematical models of optimal distribution of water in main channels. In 2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT) (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/AICT50176.2020.9368798

[7] Rakhimov, S., Seytov, A., Sherbaev, M., Kudaybergenov, A., & Khurramov, A. (2022). Algorithms for solving the problems of optimizing water resources management on a reservoir seasonal regulation. AIP Conference Proceedings, 2432(1), Article 060023. https://doi.org/10.1063/5.0090412

[8] Seytov, A., Abdurakhmanov, O., Kakhkhorov, A., Karimov, D., & Abduraimov, D. (2024). Modeling of two-dimensional unsteady water of movement in open channels. E3S Web of Conferences, 486, Article 01023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448601023

[9] Seytov, A., Abduraxmonov, O., Choriyorov, N., & Maxkamov, A. (2024). Development of algorithms for planning and management of water resources in irrigation systems in the conditions of climate changing. Scientific Bulletin: Physical and Mathematical Research, 6(1), 59–67.

[10] Seytov, A. J., Choriyorov, N. Q., & Abdujabborov, Z. A. (2026). Optimization of hydraulic processes in open channels based on deep learning models. Raqamli transformatsiya va sun'iy intellekt ilmiy jurnali, 4(4). https://doi.org/10.5281/zenodo.21912269

[11] Seytov, A., Khusanov, A., Khudayberdiev, A., Uteuliev, N., Yadgarov, S., & Seytimbetov, D. (2024). Development of algorithms for modelling water management processes on main canals. AIP Conference Proceedings, 3147, Article 030032. https://doi.org/10.1063/5.0210329

[12] Seytov, A., Khusanov, A., Khudayberdiev, A., Uteuliev, N., Yadgarov, S., Seytimbetov, D., Ergashev, O., & Abduraxmanov, O. (2024). Development of algorithms for solving problems of optimisation of water resource management in irrigation systems. AIP Conference Proceedings, 3147, Article 030033. https://doi.org/10.1063/5.0210330

[13] Seytov, A., Turayev, R., Jumamuratov, D., & Kudaybergenov, A. (2021). Mathematical models for calculation of limits in water resources management in irrigation systems. In 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670304

[14] Seytov, A., Varlamova, L., Bahromov, S., Qutlimuratov, Y., Begilov, B., & Seytimbetov, D. (2024). Optimal management of water resources of large main canals with cascades of pumping stations. AIP Conference Proceedings, 3147, Article 030022. https://doi.org/10.1063/5.0210523

[15] Seytov, A., Varlamova, L., Khudayberdiev, A., Uteuliev, N., Yadgarov, S., & Seytimbetov, D. (2024). Usage of finite element method for modeling two-dimensional unsteady water movement in open channels. AIP Conference Proceedings, 3147, Article 030034. https://doi.org/10.1063/5.0210332

[16] Turaev, R., Seytov, A., Haydarova, R., Abduraxmonov, O., & Choriyorov, N. (2024). Optimal water management in the channels of machine water raise systems. O'zMU xabarlari: Aniq fanlar, (2/1.1), 90–101.

[17] Turaev, R., Seytov, A., Hollozov, B., Haydarova, R., & Kuldasheva, S. (2024). Algorithms for planning water management in irrigation systems. AIP Conference Proceedings, 3045(1), Article 040040.

[18] Turaev, R., Seytov, A., Kuldasheva, S., & Nortojiev, U. (2023). Algorithms for calculating limits in water management in irrigation systems. E3S Web of Conferences, 401, Article 02016. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102016

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

Сейтов, А. Д., Ярашов, И. К., Умарова, Ш. Г., & Чориёров, Н. К. (2026). Системное моделирование и алгоритмизация автоматического управления водораспределением в ирригационном канале. Цифровые технологии в промышленности, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.29

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 628.143.1:624.131 10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.30

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

BOG‘LANGAN GRUNTLI KANALLARDA YUVMASLIK TEZLIGINI ANIQLASH



Eshev Sobir Samadovich

Texnika fanlari doktori, professor, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: telnets@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-3880-9289
Science ID: DQD-1125-0019



G‘ayimnazarov Israil Xoliqovich

Dotsent, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: igayimnazarov@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-0680-5174
Science ID: FQD-0226-0016



Aralov Behro‘zjon G‘ayratovich

Tayanch doktorant (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: behruzaralov44@gmail.com
ORCID ID: 0009-0004-6842-7809
Science ID: MQD-0426-0162



Bozorov Bustonjon Erkin o‘g‘li

Tayanch doktorant (PhD), Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston
E-mail: bozorovbuston@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-5793-2001
Science ID: FBX-0526-0150

Annotatsiya. *Ushbu maqolada bog‘langan gruntli kanallarda suv oqimining yuvmaslik tezligini aniqlash va o‘zan tubi hamda yon tomon qiyaliklarining gidravlik barqarorligini baholash usullarini takomillashtirish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi bog‘langan gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlari, oqimning gidrodinamik ko‘rsatkichlari va kanal ko‘ndalang kesimining geometrik parametrlarini hisobga olgan holda kritik yuvilish tezligini aniqlashning takomillashtirilgan hisoblash usulini ishlab chiqishdan iborat. Ishda gruntning birikish kuchi, agregatlarning o‘lchami, oqimning turbulent pulsatsiyalari va gidravlik qarshilikning o‘zan yuvilishiga ta’siri tahlil qilingan. Mavjud hisoblash usullari, jumladan, Mirsxulava va Borovkov tomonidan taklif etilgan yondashuvlar o‘rganilib, ularning trapetsiyasimon kanallarga tatbiq etilish xususiyatlari baholangan. Tadqiqot davomida laboratoriya sharoitida strukturasi buzilgan oltita hamda dala sharoitida olingan uchta grunt namunasidan foydalanilgan. Trapetsiyasimon kanallarning geometrik xususiyatlarini hisobga olish maqsadida Borovkov formulasiga ho‘llangan perimetrning suv sathi kengligiga nisbatini ifodalovchi qo‘shimcha parametr kiritilgan. Olingan hisoblash natijalari tajriba ma’lumotlari bilan taqqoslanib, modifikatsiyalangan formula asosida aniqlangan kritik tezlik qiymatlari dastlabki hisoblash usuliga nisbatan tajriba natijalariga yaqinroq ekanligi ko‘rsatilgan. Taklif etilgan yondashuv bog‘langan gruntli kanallarning yuvilishga chidamliligini baholash, o‘zan deformatsiyasini kamaytirish hamda irrigatsiya kanallarini gidravlik jihatdan barqaror loyihalashda amaliy ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *bog‘langan grunt, gruntli kanal, yuvmaslik tezligi, kritik oqim tezligi, o‘zan yuvilishi, gruntning birikish kuchi, gidravlik barqarorlik, trapetsiyasimon kanal, ho‘llangan perimetr, turbulent oqim, matematik modellashtirish, gidravlik hisoblash.*

Received: 26.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРАЗМЫВАЮЩЕЙ СКОРОСТИ ПОТОКА В КАНАЛАХ СО СВЯЗНЫМ ГРУНТОВЫМ РУСЛОМ

Эшев Собир Самадович
Доктор технических наук, профессор, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Гайимназаров Исраил Холикович
Доцент, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аралов Бехрузжон Гайратович
Докторант (PhD), Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Бозоров Бустонжон Эркин угли
Докторант (PhD), Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследуются вопросы совершенствования методов определения неразмывающей скорости водного потока и оценки гидравлической устойчивости дна и боковых откосов каналов со связным грунтовым руслом. Основная цель исследования заключается в разработке усовершенствованного расчётного метода определения критической скорости размыва с учётом физико-механических свойств связных грунтов, гидродинамических характеристик потока и геометрических параметров поперечного сечения канала. Проанализировано влияние сцепления грунта, размеров грунтовых агрегатов, турбулентных пульсаций потока и гидравлического сопротивления на процессы русловой эрозии. Рассмотрены существующие методы расчёта, в том числе подходы, предложенные Мирцхулавой и Боровковым, и оценены особенности их применения к каналам трапецеидального сечения. В ходе исследования использованы шесть образцов грунта с нарушенной структурой, исследованных в лабораторных условиях, и три образца, отобранных в полевых условиях. Для учёта геометрических особенностей трапецеидальных каналов в формулу Боровкова введён дополнительный параметр, характеризующий отношение смоченного периметра к ширине водной поверхности. Проведено сравнение расчётных значений критической скорости с экспериментальными данными, которое показало более близкое соответствие результатов модифицированной формулы экспериментальным значениям по сравнению с исходным методом расчёта. Предложенный подход имеет практическое значение для оценки устойчивости каналов со связными грунтами к размыву, уменьшения деформаций русла и обеспечения гидравлически устойчивого проектирования ирригационных каналов.*

Ключевые слова: *связный грунт, грунтовый канал, неразмывающая скорость, критическая скорость потока, русловая эрозия, сцепление грунта, гидравлическая устойчивость, трапецеидальный канал, смоченный периметр, турбулентный поток, математическое моделирование, гидравлический расчёт.*

DETERMINATION OF NON-ERODING FLOW VELOCITY IN CHANNELS WITH COHESIVE SOIL BEDS

Eshev Sobir Samadovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Gayimnazarov Israil Kholikovich
Associate Professor, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Aralov Behruzjon Gayratovich
PhD Researcher, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Bozorov Bustonjon Erkin ugli
PhD Researcher, Bukhara State Technical University, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. *This article investigates the improvement of methods for determining non-eroding flow velocity and assessing the hydraulic stability of channel beds and side slopes composed of cohesive soils. The main objective of the study is to develop an improved calculation method for determining critical erosion velocity by considering the physicomechanical properties of cohesive soils, hydrodynamic flow characteristics, and geometric parameters of the channel cross-section. The effects of soil cohesion, aggregate size, turbulent pressure fluctuations, and hydraulic resistance on channel erosion processes*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

are analyzed. Existing calculation methods, including the approaches proposed by Mirtskhulava and Borovkov, are examined, and their applicability to trapezoidal channels is evaluated. The investigation involved six disturbed soil samples examined under laboratory conditions and three soil samples collected under field conditions. To account for the geometric characteristics of trapezoidal channels, an additional parameter representing the ratio of the wetted perimeter to the water surface width was introduced into Borovkov's equation. The calculated critical flow velocities were compared with experimental data, demonstrating that the modified equation provides estimates closer to the experimental values than the original calculation method. The proposed approach is of practical significance for evaluating the erosion resistance of channels with cohesive soil beds, reducing channel deformation, and improving the hydraulic stability of irrigation canal designs.
Keywords: *cohesive soil, earthen channel, non-eroding velocity, critical flow velocity, channel erosion, soil cohesion, hydraulic stability, trapezoidal channel, wetted perimeter, turbulent flow, mathematical modeling, hydraulic calculation.*

Kirish. Bog‘langan gruntli kanallarning gidravlik barqarorligini ta’minlashda o‘zan tubi va yonbag‘irlarining yuvilmaslik shartini to‘g‘ri baholash muhim ahamiyatga ega. Yuvmaslik tezligi kanalning suv o‘tkazish qobiliyati, o‘zan deformatsiyasi va ekspluatatsion ishonchliligini belgilovchi asosiy gidravlik ko‘rsatkichlardan biridir. Mavjud usullarda ushbu parametrni aniqlashda asosan oqim tezligi, suv chuqurligi va gidravlik nishablik hisobga olinadi, biroq bog‘langan gruntlarning granulometrik tarkibi, zichligi, namligi va mexanik bog‘lanish xususiyatlarining ta’siri yetarli darajada aks ettirilmagan.

Shu sababli bog‘langan gruntli kanallarda yuvilishning boshlanish shartlarini kompleks baholash va yuvmaslik tezligini aniqlash usulini takomillashtirish dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi. Mazkur tadqiqotning maqsadi oqimning gidravlik parametrlari hamda gruntning fizik-mexanik xususiyatlarini o‘zaro bog‘lagan holda yuvmaslik tezligini aniqlashning takomillashtirilgan usulini ishlab chiqishdan iborat. Taklif etilayotgan yondashuv kanal o‘zanining barqarorligini aniqroq baholash va yuvilish xavfini kamaytirishga xizmat qiladi. [1-4]

Bizga ma’lumki, bog‘langan gruntlar bog‘lanmagan gruntlardan o‘ziga xos xususiyatlaridan biri bo‘lgan birikish kuchlari bilan farqlanadi. Shuning uchun bog‘langan gruntlarning bu fizik xususiyati inobatga olingan holda o‘zanining yuvilish jarayonidagi fizik xususiyatlari va ularning yuvilishga chidamlilik sharoitlarini o‘rganish, hisobiy o‘zan yuvilishini aniqlash masalalariga alohida ahamiyat beriladi. Kanal loyli bog‘langan gruntlaridagi o‘zanning yuvilish sharoitlarini ko‘rib chiqamiz, ular birikish kuchlariga ega bo‘lgan gruntlarning biri bo‘lib hisoblanadi.

Bog‘langan gruntlarning yuvilish jarayoni V.N.Goncharov tomonidan o‘rganilgan bo‘lib, keyinchalik S.YE. Mirxulava tomonidan [2] deyarli batafsil tadqiqot etilgan. Muammoni eksperimental jihatdan tadqiqot qilish, bog‘langan grunt va oqim gidrodinamik o‘zaro ta’sirini chuqur o‘rganish, gruntning fizik-mexanik xossalarini hamda suv oqimining turbulent tuzilmasi va dinamik xususiyatlarini hisobga olish ushbu tadqiqotning maqsadini belgilaydi. Mirxulavaning [2] ishiga ko‘ra, gil gruntlarning yuvilishga mustahkamligini ko‘rsatuvchi asosiy omil bo‘lib, birikish kuchi hisoblanadi. Birikish kuchi siljishdagi σ_c va uzilishdagi σ_p chegaraviy kuchlanishlar bilan xarakterlanadi. [1-10]

Materiallar va usullar. Bog‘langan gruntlar zich (monolit) va agregat tuzilishga ega gruntlarga bo‘linadi, ular yetarlicha yirik yoriqlar bilan alohida agregatlarga ajralgan bo‘ladi. Mirxulava tadqiqotlariga ko‘ra, agregat tuzilishga ega gruntlarning yuvilishi agregatlar orasidagi bog‘lanishlarning buzilishi orqali sodir bo‘ladi. Kuchsiz birikishga ega zich gruntlar (masalan, loy) sirt qatlamining yuvilishi natijasida buziladi. Agar gruntning birikishi yetarlicha katta bo‘lsa, unda buzilish mikro yoriqlarning joylashish xususiyati bilan belgilanadi. Shuningdek, uzilib chiqayotgan agregatlar o‘lchami oqim tubining tuzilishi va turbulentlik intensivligi bilan belgilanadi. Agar kanal o‘zanining tubi tekis deb hisoblansa, agregatlarning uzilishiga sabab bo‘luvchi pulsatsion

bosim kuchi bo‘lib, u kanal tubida [17] ishga ko‘ra ma’lum bir qiymatga ega bo‘ladi. [12-14]

$$p' = 3{,}5\rho u_*^2 \quad (1)$$

Bosim pulsatsiyalari ta’siri bilan bog‘liq bo‘lgan ishorasi o‘zgaruvchan dinamik yuklama agregatlar orasidagi birikishning buzilishiga va mikro yoriqlarning asta-sekin ochilishiga olib keladi. Bunda agregatlar o‘z joyida faqat og‘irlik kuchi hisobiga ushlanib turadi, deb hisoblash mumkin. Yuzaga keladigan bosim pulsatsiyalari o‘zan tubining sezilarli sirt qismlarini qamrab oladi, ularning o‘lchami turbulentlikning makromasshtabi bilan taqqoslanadi. Shu sharoitda grunt agregati yuzasidagi bosim pulsatsiyalari standartining o‘zgarishini hisobga olmasa ham bo‘ladi. Bog‘langan gruntning yuvilishi faqat shunday holatda sodir bo‘ladiki, bunda agregat yuzasiga ta’sir etayotgan manfiy pulsatsion bosim kuchi agregatga ta’sir qilayotgan og‘irlik kuchiga teng bo‘ladi. Agregat o‘lchamini L deb belgilab, ushbu shartni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$3{,}5\rho u_*^2 L^2 = (\rho_T - \rho) g L^3 \quad (2)$$

Bundan ajralalib chiqayotgan agregatlarning o‘lchamini baholash mumkin:

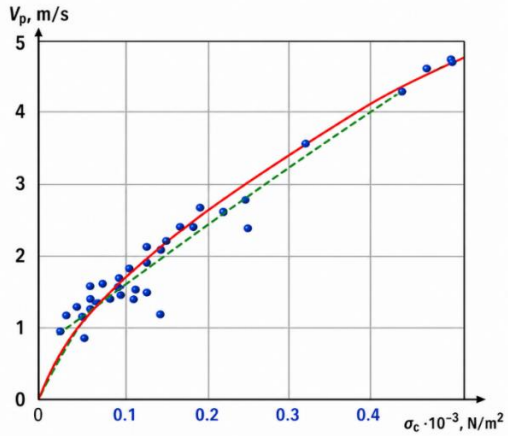
$$L_{kr} = \frac{3{,}5 i_*^2}{P_t - P} \frac{g}{P} \quad (3)$$

Laboratoriya tajribalarida dinamik tezlik $u_* = 10 \div 15 sm/s$ bo‘lganda, uzilib chiqayotgan agregatlarning hisobiy o‘lchami taxminan 3-4 mm ga teng bo‘lib [Mirs], tajribalarda qayd etilgan ajralayotgan bo‘laklar o‘lchamiga yaqin. Ushbu natijadan quyidagi muhim xulosani chiqarish mumkin: bog‘langan gil sifat gruntning oqimning turbulentligi ta’sirida buzilish jarayoni so‘nggi bosqichida bevosita birikish kuchiga bog‘liq bo‘lmay, balki ma’lum darajada to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liqlik paydo bo‘lishi mumkin. Buning sababi shundan iboratki, grunt mikro yoriqlarning joylashuv xarakteri, chastotasi va chuqurligi birikishga ta’sir qiluvchi quyidagi omillarga ham bog‘liq bo‘lishi mumkin: gruntning petrografik tarkibi, g‘ovakligi, maydalanganlik darajasi va boshqalar [15].

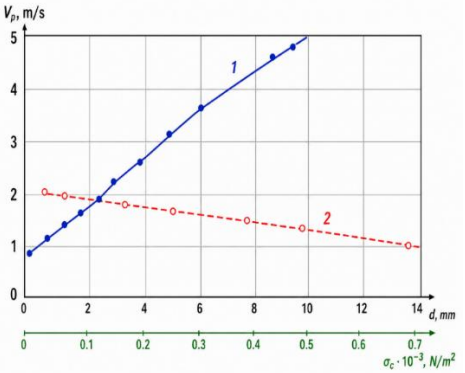
Natijalar va muhokama. Haqiqatan ham, [2] ishdagi bog‘langan gruntlar yuvilishi bo‘yicha ma’lumotlar (1-rasmda keltirilgan) tahlil qilinsa, o‘rtacha kritik tezlik 2,5 m/s ga teng bo‘lganda, dinamik tezlik taxminan 0,1 m/s ga yaqin ekanligini va tubdagi urinma kuchlanishni quyidagicha aniqlash mumkin.

$$\tau = pu_*^2 = 1\frac{g}{sm^3} \cdot 10^2 \frac{sm^2}{s^2} = 10^{-7}\frac{H}{m^2}\left(10^{-4}\frac{kgs}{sm^2}\right). \quad (4)$$

Shu vaqtda (1-rasm) grunt tubida ta’sir etib, yuvilishni keltirib chiqarayotgan birikish kuchi qiymati urinma kuchlanishdan ming martadan ham ko‘pdir. Bu holat bog‘langan gil gruntlar yuvilish mexanizmini birikish kuchini yengib o‘tish bilan bog‘laydigan dastlabki gipotezaning to‘g‘riligiga shubha tug‘diradi. Agar biror omil o‘z qiymatining atigi 1/1000 qismi darajasida ta’sir ko‘rsatayotgan bo‘lsa, holbuki u to‘liq ta’sir ko‘rsatishi kerak bo‘lgan vaziyatda, bunday omilni yuvilish mexanizmiga bevosita ta’sir qiluvchi omil deb qarash mumkin emas. Eng ehtimolli tushuntirish shuki, yuqorida qayd etilgan bir nechta omillar yuvilish jarayoniga birgalikda fizik ta’sir ko‘rsatadi. Ularni kompleks tarzda birikish kuchi orqali ifodalash qulay, chunki birikish nisbatan oddiy o‘lchanadigan kattalik hisoblanadi.



1-rasm. Bog‘langan gruntning yuvilish sharti.



2-rasm. Yopishish va agregat yirikligining kritik tezlikka ta’siri (Mirsxulava ma’lumotlari bo‘yicha).

1 — yopishishning o‘zgarishi, 2 — agregat yirikligining o‘zgarishida o‘rniga L deb o‘qish kerak.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Agar gil grunt agregatlari oqim ta'sirida bosimning lokal pulsatsion pasayishi kuzatiladigan sohalarda uzilib chiqadi deb qabul qilinsa, bosimning pulsatsion pasayishi, oqim chegarasida quyidagiga teng deb qabul qilinishi mumkin:

$$p' = 3{,}5\rho u_*^2 \quad (5)$$

Atrofdagi grunt bilan birikishni saqlab turgan agregatning kritik muvozanat sharti quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$3{,}5\rho u_*^2 = k\sigma_p \quad (6)$$

bu yerda k - proporsionallik koeffitsiyenti.

$u_*^2 = \frac{V^2\lambda}{8}$ ekanligini inobatga olgan holda kritik tezlik uchun ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$V_{kr} \propto \sqrt{\sigma_p} \quad (7)$$

Bog'langan gruntlar uchun chegaraviy siljituvchi kuch bilan birikish kuchi o'rtasidagi juda katta farq gruntning toliqishi asosidagi buzilish modelidan foydalanishni keltirib chiqaradi. Shuningdek, koeffitsiyentlar tizimini kiritish orqali siljituvchi va ushlab turuvchi kuchlarni o'zaro moslashtirish imkonini berdi. Bunda toliqish bo'yicha meyoriy birikish qiymati aniqlanadi [101]. Siljishga nisbatan yopishish (ssepleniye) qiymati N.A.Sitovich usuli bo'yicha aniqlanadi. Dastlab $M = 0{,}1 \div 1{,}0$ ishqalanish koeffitsiyentiga, undan keyin esa $h_D = 0{,}16 \div 0{,}22$ dinamik mustahkamlik koeffitsiyentiga va oxirida eksperimental materialning bir jinslilik koeffitsiyentiga ko'paytiriladi.

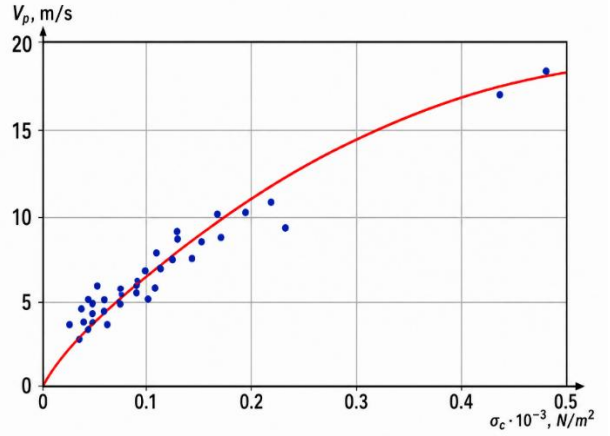
Ushbu koeffitsiyentlarni ko'paytirish hisobiy birikish koeffitsiyenti sifatida siljishga sharikli sinash usuli bilan aniqlangan dastlabki birikishga nisbatan 500-1000 marta kichikroq bo'lgan kattalikdan foydalanish imkonini beradi va shu bilan birga bog'langan gruntning ushbu mustahkamlik tavsifini uning yuvilishga sinash natijalari bilan muvofiqlashtiradi.

[Mirsxulava] ishda keltirilgan bog'langan gruntlarning kritik tezligini hisoblash usulida agregatlar og'irligi ham hisobga olinib, bunda bu og'irlik ularning diametrining uchinchi darajasiga bog'liq bo'ladi. Bog'langan grunt agregatining diametrini namunalarning mikrotuzilmaviy tahlili usuliga ko'ra aniqlash tavsiya etiladi. Agar bunga sharoit bo'lmasa, unda agregatlar diametrini 0,004 m ga teng deb qabul qilish mumkin. Bunda agregatlar diametri ham, grunt birikishi ham yuvilish tezligini oshiradi. 2-rasmda keltirilgan ma'lumotlar, ya'ni: $V_{kr} = f(\sigma_s)$ bog'lanishi (agregat yirikligi doimiy bo'lganda, $L = 0{,}004m$), $V_{kr} = f(L)$ bog'lanishi ($\sigma_c = (0{,}11 \div 0{,}12) \cdot 10^6 H/m^2$ bo'lganda), ushbu parametrlarning kritik tezlikka turlicha ta'sir ko'rsatishini aniqlaydi.

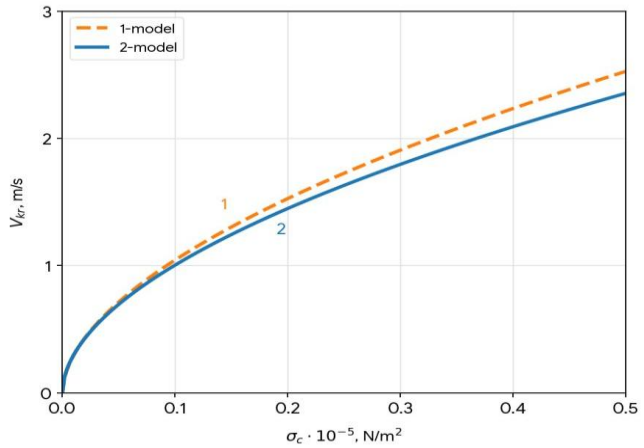
Shu sababli, bog'langan gruntlarning yuvilishga barqarorligini hisoblashda agregat diametrini xarakterli parametr sifatida kiritish qo'shimcha tadqiqotlarni talab qiladi.

Laboratoriya kanalida $h = 6sm$ o'zgarmas chuqurlikda, tabiiy sharoitlarga Mirsxulava qarshilikning kvadratik rejimini va unga mos keladigan profil tezligini taxmin qilgan holda amalga oshiradi. Bunga asos sifatida yuvilayotgan namunalarning sirt holatini kuzatish natijalari xizmat qilgan: ular shuni ko'rsatdiki, yuvilish boshlanganidan bir muncha vaqt o'tgach, sirt haqiqatan ham g'adir-budir) holatga keladi.

Bu holatda shuni ko'rsatib o'tish kerakki, ushbu sharoitda qarshilik rejimini namuna sirtining holati bilan bog'lash to'g'ri kelmaydi, chunki uzunligi 30 sm dan qisqa bo'lgan namuna sirtida yuvadigan oqimning tuzilmasi to'liq shakllanishga ulgurmaydi. Bizga ma'lumki [10], chegaraviy shartlar o'zgarganda oqimning barqarorlashish uzunligi yetarlicha katta bo'ladi va taxminan $\frac{L_{st}}{h} = \frac{4}{\lambda} \approx 200$ qiymatga teng. Shu sababli laboratoriya ma'lumotlarini tabiiy sharoitlarga o'tkazish mumkin deb hisoblanmaydi.



3-rasm. Tajriba kanali qarshiligini hisobga olgan holda chegaraviy (kritik) dinamik tezlikni aniqlash (Mirsxulava o'lchovlari bo'yicha).



4-rasm. Taqqoslash grafigi: Mirsxulava; - Borovkov.

A.P.Zegjda tomonidan tahlil qilingan yog‘och kanallarning qarshiligi bo‘yicha ko‘plab ma’lumotlar shuni ko‘rsatadiki, ushbu kanallarning gidravlik qarshilik koeffitsiyenti Reynolds soniga bog‘liq bo‘ladi va quyidagi bog‘lanish orqali aniqlanishi mumkin:

$$\lambda = \psi\lambda_{gl.} \qquad (8)$$

yaxshi sifatli qurilgan kanallar uchun $\psi = 1{,}17$ va $\lambda = \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}}$.

Eksperimental ma’lumotlarga asoslangan dinamik tezliklarning chegaraviy qiymatlari Mirtsxulava (8) formulasidan foydalanib hisoblangan natijalar 3-rasmda keltirilgan. Bu ma’lumotlar quyidagi munosabatga ko‘ra approksimatsiyalanadi:

$$u_{*kr} = 0{,}025\sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho}} \qquad (9)$$

Bu yerda $\frac{[u_{*c}]m}{s}; \frac{[\sigma_s]N}{m^2}; \frac{[\rho]kg}{m^3}$. (9) munosabatdan gil gruntning yuvilishga nisbatan chegaraviy mustahkamlik shartini quyidagi ko‘rinishda ifodalash mumkin:

$$\frac{\rho u_{*c}^2}{\sigma_c} = \frac{1}{1600} \qquad (10)$$

Kanal chuqurligi $h = 1m$ bo‘lganda va $n = 0{,}03$ bo‘lgan holatda, u_{*c} ning o‘rnatilgan qiymatlariga ko‘ra hisoblangan kritik (o‘rtacha) oqim tezliklari 1-jadvalda keltirilgan.

Yuqorida jadval ma’lumotlari tahlili shuni ko‘rsatadiki, Mirsxulava tomonidan taklif etilgan usul asosida aniqlangan kritik tezliklar meyoriy xujjatlarda keltirilgan ruxsat etilgan tezliklarga deyarli mos tushadi. Ruxsat etilgan oqim tezliklari odatda kritik tezliklardan biroz past bo‘lishini inobatga olsak, Mirsxulava tajribalarini talqin qilish bo‘yicha amalga oshirilgan yondashuv qoniqarli natijalar beradi, deb hisoblash mumkin. Shunday qilib, bog‘langan gil gruntlar uchun kritik tezlikni quyidagi formulaga ko‘ra aniqlash mumkin:

$$V_{kr} = 0{,}025C\sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho g}} \qquad (11)$$

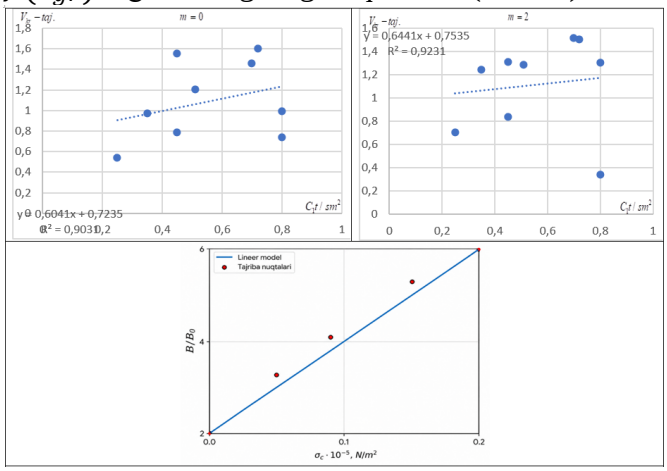
1-jadval

Chuqurligi 1 m bo‘lgan kanallar uchun hisoblangan kritik tezlik qiymatlarini meyoriy hujjatlar bo‘yicha ruxsat etilgan tezliklar bilan taqqoslash

Gruntlar	Siljishga yopishish $a_s \cdot 10^{-5}, \frac{N}{m^2}$	Hisobiy kritik tezlik V_{kr} m/s	Ruxsat etilgan tezlik, m/s	Ruxsat etilgan tezlik, m/s
Yumshoq, kam zich gil	0,05-0,1	0,73	0,7	0,40
Normal, o‘rtacha zich gil	0,1-0,2	1,03	1,2	0,85
Zich gil	0,2-0,4	1,46	1,5	1,20

Bu bog‘lanish Mirsxulavaning bog‘lanishiga qaraganda ancha sodda bo‘lib, u Mirsxulava bo‘yicha hisoblangan qiymatlarga yaqin qiymatlarini olish imkonini beradi (4-rasm).

Grunt birikish kuchining oqim yuvmaslik tezligiga bog‘liqlini o‘rganish uchun laboratoriya va dala tajribalari o‘tkazildi. Olingan tadqiqot ma’lumotlar kiritilgan. Laboratoriya tajribalari va dala tajribalaridan foydalanib $v_{kr} = f(C_{gr})$bog‘lanish grafigini quramiz (5-rasm).



5-rasm. Birikishning o‘zan kengligi yoyilishiga ta’siri $v_{kr} = f(C_b)$ (tajriba).

Tadqiqotlarda gruntning birikish kuchi qancha katta bo‘lsa, uning yuvilishga qarshiligi shuncha mustahkam bo‘lishi, aks holda esa yuvilishga moyilligi ko‘rindi (5-rasm).

Shuningdek, yana bir holatni ta’kidlashimiz

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

kerakki, bog‘lanmagan grunt zarrachalarining kanal qiyaliklarida yuvilishga nisbatan kamroq barqa-rorligi o‘zan kesimining asta-sekin yoyilib, kengayib borishiga sabab bo‘ladi. Bog‘langan gil gruntlar esa kanal tubida ham, yon tomon qiyaliklarida ham yuvilishga nisbatan bir xil mustahkamlikka ega bo‘ladi. Shuning uchun, bog‘langan gil gruntlardagi mustahkam o‘zan-larning nisbiy kengligi grunt birikishi qanchalik katta bo‘lsa, shunchalik kichik bo‘ladi (5-rasm).

Yuqorida keltirilgan munosabatdan kelib chiqib, bog‘langan gruntli trapetsiya shaklidagi kanallarda oqim yuvmaslik tezliklarini o‘rganish uchun laboratoriya tajribalari o‘tkazildi.

Bog‘langan gruntlarda oqimning yuvmaslik tezliklarini o‘rganish uchun laboratoriya sharoitida strukturasi buzilgan 6 xil va dala sharoitida 3 xil olingan gruntlardan foydalanildi. Bog‘langan grunt modeli Mirsxulava usuli bo‘yicha tayyorlandi.

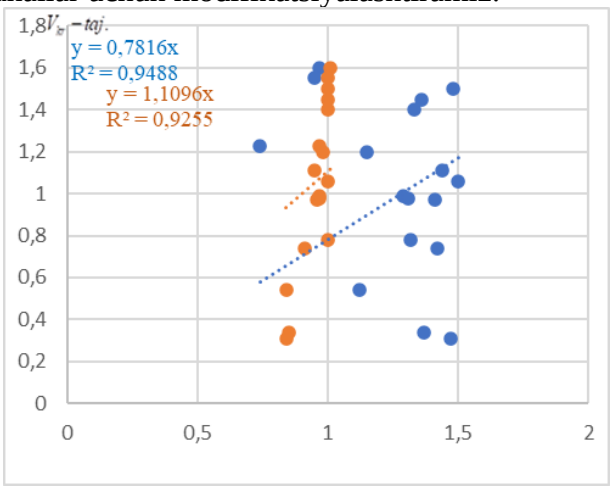
Bu bog‘langan gruntlardagi suv oqimining ta’siri natijasida sodir bo‘ladigan yuvilish jarayonini qarab chiqamiz. Buning uchun yuqorida keltirilgan 4.3-jadvaldan foydalanamiz.

Hisoblash natijasida kanal tubi ($m = 0$) va yon tomon qiyaliklari ($m = 2$) yuvish tezliklarining tajriba ma’lumotlari va Borovkov formulasiga (11) bo‘yicha hisoblangan qiymatlarni taqqoslasak, tajribalarda olingan yuvish tezliklarining qiymatlari Borovkov formulasi bo‘yicha hisoblangan qiymatlardan kattaligi kuzatiladi. Bizga ochiq o‘zanlar gidravlikasidan ma’lumki, trapetsiadal kanallarning yon tomon qiyaliklari o‘zan oqimini gidravlikasiga ancha ta’sir ko‘rsatadi. Bizning tajriba ma’lumotlari qiymatlarining Borovkov formulasi bo‘yicha hisoblangan qiymatlarning kattaligiga sabab, biz tomondan o‘tkazilgan tajribalar trapetsiadal kanallarda olib borilgan, Borovkov tajribalari esa keng, ya’ni o‘zan eni oqim chuqurligiga nisbatan ancha katta bo‘lgan kanal modellarida olib borilgan.

Bizning tajribalar ham Mirsxulava va Borovkovlar o‘tkazgan tajribalaridagidek, gruntning yuvilishi jarayoni bir necha bosqichlardan iborat bo‘lishi kuzatildi. Birinchi bo‘lib asosan monolit grunt bilan bog‘lanishi uzilgan mayda elementar dispers zarrachalarning (agregatlar) yuvilishi va bu holatning g‘adir-budir sirt paydo bo‘lishi bilan to‘xtaydi. Keyingi navbatda oqim tezligining ortishi mobaynida pulsatsiyali frontal va yuqoriga ko‘tarish (agregat) kuchlarining ortishi hisobiga agregatga nisbatan tebranish va dinamik kuchlanishlar ortadi. Bu ta’sirlar asta-sekin agregatlarning buzilishiga hamda teng ta’sir etuvchi aktiv kuchlarning agregat og‘irligi va birikish kuchlardan ustivorligi natijasida agregatning grunt monolitidan uzilishiga olib keladi.

Endi olib borilgan tajribalardan yuvilish jarayonini, ya’ni kanal o‘zani ko‘ndalang kesimi bo‘yicha yuvilishni kuzatadigan bo‘lsak, birinchi navbatda kanal tubi va yon tomon qiyaliklari pastki qismi tutashgan uchastkasining yuvilishi, keyin-chalik esa kanal tubi markazining va oxirida yon tomon qiyaliklarining yuqori qismi yuvilishi kuzatildi. Shuningdek, tajribalardan qumloq gruntli kanallarning qirg‘oqlarining ham yuvilishi va kichik sohillarni sodir bo‘lishi kuzatildi.

Yuqoridagi yuvilish jarayoni bilan bog‘liq bo‘lgan masalalarni yechimini topishga harakat qilamiz. Borovkovning kritik oqim yuvish tezliklarini aniqlash (11) bog‘lanishini trapetsiadal kanallar uchun modifikatsiyalashtiramiz.



6-rasm. Tajriba ma’lumotlari bilan $(V_{kr} = 0,025C\frac{\chi}{B}\sqrt{\frac{C_s}{\rho g}})$ ***formula va*** $(V_{kr} = 0,025C\sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho g}})$ ***formulalar bo‘yicha hisoblangan qiymatlarning taqqoslanishi (m=0) (Muallif, Borovkov).***

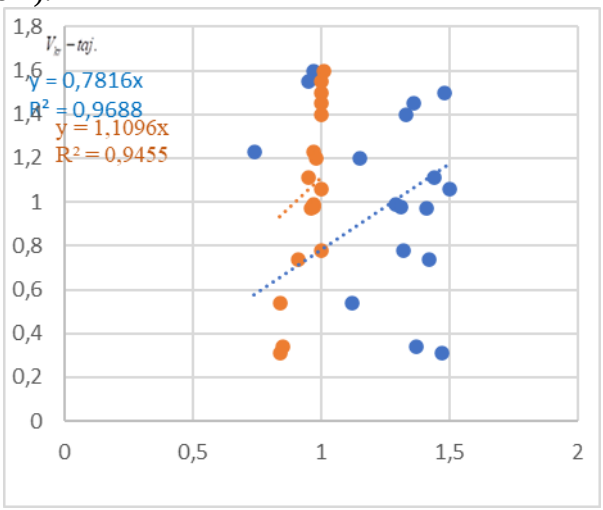
Buning uchun trapetsiadal kanal χ ho‘llanish perimetrining B suv sathini kengligiga nisbati o‘rtasida χ/B bog‘liqlik bor degan gipotezani kiritamiz. Bunga asosan trapetsiadal kanallarda oqimning yuvmaslik tezliklarini aniqlash uchun

(11) formulaga χ/B parametrni kiritsak, u holda bog‘lanish quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$V_{kr} = 0{,}025C\frac{\chi}{B}\sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho g}} \qquad (12)$$

Olingan tajriba ma’lumotlari bo‘yicha kritik oqim yuvish tezligi qiymatlarini (12) formula bo‘yicha hisoblangan qiymatlarning taqqoslanishi 6-7 chi rasmda keltirilgan.

Tajriba ma’lumotlari, muallif va Borovkov formulalari bo‘yicha hisoblangan qiymatlarning taqqoslanishi, biz tomondan modifikatsiya qilingan tenglamaning Borovkov formulasidan ancha farqlanishini, olingan tajriba ma’lumotlari qiymatlari bilan o‘zaro yaqinligini ko‘rsatadi (6-rasm).



7- rasm. Tajriba ma’lumotlari bilan $V_{kr} = 0,025C\frac{\chi}{B}\sqrt{\frac{C_s}{\rho g}}$ ***formula va*** $V_{kr} = 0,025C\sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho g}}$ ***formulalar bo‘yicha hisoblangan qiymatlarning taqqoslanishi (m=2) (Muallif, Borovkov).***

Regression tahlil natijalari bo‘yicha olingan tajriba ma’lumotlari bilan $(V_{kr} = 0{,}025C\frac{\chi}{B}\sqrt{\frac{C_s}{\rho g}})$ muallif bog‘lanishi asosida hisoblangan qiymatlarning ancha yaqinligi ko‘rinadi (7-rasm).

Demak, bog‘langan gruntli yer o‘zanli kanallardagi oqimning yuvmaslik tezliklarini aniqlashda yuqorida hosil qilingan $(V_{kr} = 0{,}025C\frac{\chi}{B}\sqrt{\frac{C_s}{\rho g}})$ foydalanish mumkin. Bu formula QN va Q larida kanallarni loyihalashda tavsiya qilingan Mirsxulava formulasidan ancha sodda ko‘rinishga ega bo‘lib, ishonchli natijalarni beradi.

Xulosa:

1. An’anaviy formulalardan farqli o‘laroq, yangi modifikatsiya o‘zanning geometrik shakli va ko‘ndalang kesimi o‘lchamlarini inobatga oladi. Bu esa oqimning o‘zan perimetri bo‘ylab ishqalanish va qarshilik kuchlarini to‘g‘ri baholash imkonini beradi.

2. Namlanish perimetri va o‘zan eni nisbatining (χ/B) kiritilishi, ayniqsa, turli shakldagi (trapetsiyasimon, uchburchak yoki to‘g‘ri burchakli) va har xil chuqurlikdagi kanallarda yuvmaslik tezligini hisoblash xatoliklarini sezilarli darajada kamaytiradi.

3. Mazkur nisbat oqimning grunt bilan aloqada bo‘lgan yuzasini ifodalagani sababli, bog‘langan gruntlarning (loyli, suglinka va gil tuproqlar) mustahkamlik va birlashish xususiyatlarini oqimning dinamik ta’siri bilan yanada realroq bog‘lashga xizmat qiladi.

4. Modifikatsiyalangan formula asosida o‘tkazilgan hisoblashlar shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy usullarga nisbatan kritik tezlikni aniqlashdagi xatolik darajasi sezilarli darajada kamaydi. Bu esa bog‘langan gruntlarning (loyli, suglinka va gil tuproqlar) birikish xususiyatlarini oqimning gidrodinamik kuchlari bilan yanada aniqroq muvozanatlashtirishga xizmat qiladi.

5. Ishlab chiqilgan modifikatsiyalangan formula irrigatsiya va melioratsiya tizimlaridagi magistral kanallarni loyihalashda tuproq eroziyasi va o‘zan yuvilishi xavfini oldindan prognoz qilish imkonini beradi. Mazkur yondashuv kanallarning barqaror va xavfsiz o‘lchamlarini iqtisodiy jihatdan samarali belgilash hamda ularning ekspluatatsion muddatini uzaytirish uchun loyihalash tashkilotlariga tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Гайимназаров, И. Х. (2024). Натурные исследования по определению расхода наносов в условиях нестационарного течения. Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences, 4(4), 317–324.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[2] Мирцхулава, Ц. Е. (1967). Размыв русел и методика оценки их устойчивости. Колос.
[3] Choo, Y.-M., Jeon, H.-S., & Seo, J.-C. (2021). Entropy-based shear stress distribution in open channel for all types of flow using experimental data. Entropy, 23(11), Article 1540. https://doi.org/10.3390/e23111540
[4] Chow, V. T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
[5] Eshev, S. S., Gayimnazarov, I. X., Latipov, S. A., Rahmatov, M. I., & Kholmamatov, I. K. (2023). Calculation of parameters of subsurface ridges in a steady flow of groundwater channels. AIP Conference Proceedings, 2612(1), Article 050033. https://doi.org/10.1063/5.0135363
[6] G‘ayimnazarov, I. X. (2025). Calculation of the parameters of the base rows in a non-stationary flow. Innovatsion texnologiyalar, 59(3), 62–66.
[7] G‘ayimnazarov, I., Eshev, S., Bazarov, O., Latipov, S., Rakhimov, A., & Guliyeva, S. (2025). Investigation of the initiation of sediment movement in mixed flows. AIP Conference Proceedings, 3256(1), Article 020041. https://doi.org/10.1063/5.0275207
[8] G‘ayimnazarov, I. X., Mamarasulov, S. R., & Toshmurodov, J. J. (2026). O‘zan tubi barqarorligini baholash usullari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(1), 237–241. https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.30
[9] Granados, J. M., Bustamante, C. A., Toro-Botero, F. M., Cuervo, A. F., & Nieto-Londoño, C. (2023). Wall shear stress in open channel flow using different configurations of groynes. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 29(2), 138–146. https://doi.org/10.1080/09715010.2022.2026827
[10] Guo, J., & Julien, P. Y. (2005). Shear stress in smooth rectangular open-channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, 131(1), 30–37. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:1(30)
[11] Henderson, F. M. (1966). Open channel flow. Macmillan.
[12] Lyapin, V. Yu., Cherkasskikh, S. N., Ryzhenkov, A. V., Volkov, A. V., & Dasaev, M. R. (2021). Some aspects of the shear stress distribution in non-uniform gradually varied open flows. International Journal of Engineering Trends and Technology, 69(12), 307–311. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I12P237
[13] Maturi, F., & Behdarvandi Askar, M. (2019). Experimental study of the effects of flow discharge, diameter, and depth on shear stress in a rectangular channel with rigid unsubmerged vegetation. Journal of Applied Engineering Sciences, 9(2), 155–160. https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0021
[14] Shiono, K., & Knight, D. W. (1991). Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. Journal of Fluid Mechanics, 222, 617–646. https://doi.org/10.1017/S0022112091001246
[15] Swamee, P. K., & Mittal, M. K. (1976). An explicit equation for critical shear stress in alluvial streams. Journal of Irrigation and Power, 33(2), 237–239.
[16] Yang, S.-Q. (2010). Depth-averaged shear stress and velocity in open-channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, 136(11), 952–958. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000271

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

Eshev, S. S., G‘ayimnazarov, I. X., Aralov, B. G., & Bozorov, B. E. (2026). Bog‘langan gruntli kanallarda yuvmaslik tezligini aniqlash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.30

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 modellashuvi, ta’limning yutuqlari va istiqbollarini, 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’sischilari:

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.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

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‘yxati**dan iborat bo‘lishi lozim.

Aannotatsiya, 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 shiriftda; 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.ilmiy.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 изложении 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.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЯМ

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 отсутствии 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.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

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/