MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M RAQAMLI ILMIY KENGASH

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

DADAJONOVA ZILOLA BOTIRJON QIZI

GIDROGEOLOGIK TIZIMLARDA MA’LUMOTLARGA RAQAMLI ISHLOV BERISHNING INTELLEKTUAL ALGORITMLARI VA DASTURIY MAJMUASI

05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta’minoti

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2026

UDK 004.4:556(043.3)

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

Dadajonova Zilola Botirjon qizi
Gidrogeologik tizimlarda ma’lumotlarga raqamli ishlov berishning intellektual algoritmlari va dasturiy majmuasi……..…….. 3

Дадажонова Зилола Ботиржон кизи

Интеллектуальные алгоритмы и программный комплекс цифровой обработки данных в гидрогеологических системах…… 21

Dadajonova Zilola Botirjon kizi
Intelligent Algorithms and Software Complex for Digital Data Processing in Hydrogeological Systems……..……...……... 43

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati
Список опубликованных работ
List of published works ……...……..…… 47

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M RAQAMLI ILMIY KENGASH

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

DADAJONOVA ZILOLA BOTIRJON QIZI

GIDROGEOLOGIK TIZIMLARDA MA’LUMOTLARGA RAQAMLI ISHLOV BERISHNING INTELLEKTUAL ALGORITMLARI VA DASTURIY MAJMUASI

05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta’minoti

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2026

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2026.4.PhD/T7107 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhamad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tuit.uz) va “Ziyonet” Axborot ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	**Maxmudjanov Sarvar Ulug‘bekovich** Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent
Rasmiy opponentlar:	**Nishanov Axram Xasanovich** Texnika fanlari doktori, professor
	Xushvaqtov Saydulla Xolbazarovich Texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim
Yetakchi tashkilot:	**Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil «14» dekabr da soat 16:00 dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko‘chasi, 108-uy.Tel.: (99871) 238-64-43; e-mail: tuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (474 raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko‘chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil « 26 » 11 kuni tarqatildi.
(2026-yil « 26 » 11 dagi 32 raqamli reyestr bayonnomasi).

M.M. Musayev
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

E.Sh. Nazirova
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, professor

Dj.B.Sultanov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda ilm-fan jadal rivojlanib borayotgan bugungi kunda signallarga raqamli ishlov berish, tasvirlarni qayta ishlash hamda sun'iy intellekt texnologiyalari yordamida obyektlar holatini bashorat qilish axborot texnologiyalarining zamonaviy usullariga asoslanmoqda. Xususan, gidrogeologik ma'lumotlarga raqamli ishlov berish, masofadan zondlash orqali olingan tasvirlarni qayta ishlash, sun'iy intellekt usullari va dasturiy vositalarni gidrogeologiyada qo‘llash asosiy masalalardan biri hisoblanadi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining 2022-yilgi Jahon suv resurslarini rivojlantirish to‘g‘risidagi ma'ruzasiga ko‘ra, yer osti suvlari Yerdagi suyuq holatdagi chuchuk suvning qariyb 99 foizini tashkil etadi hamda aholining maishiy ehtiyojlari uchun olinadigan suv hajmining yarmini, sug‘orish uchun olinadigan suvning esa qariyb 25 foizini ta'minlaydi.

Jahonda yer osti suvlari zaxiralarining o‘zgarishini aniqlash, masofadan zondlash usulida olingan tasvirlar yordamida yer usti suv havzalarining o‘zgarishini bashorat qilish hamda ularning yer osti suvlari bilan o‘zaro bog‘liqligini aniqlashda sun'iy intellekt usullarini qo‘llash dolzarb ilmiy-amaliy muammolardan biriga aylangan. Bu borada AQSH, Rossiya Federatsiyasi, Xitoy, Janubiy Koreya, Germaniya, Fransiya va Yaponiya kabi mamlakatlarda gidrogeologik ma'lumotlarga raqamli ishlov berish, chuqur o‘qitish va transformer arxitekturalari asosida gidrogeologik jarayonlarni modellashtirish va bashoratlash bo‘yicha keng ko‘lamli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Mazkur yo‘nalishda gidrodinamik, gidrokimyoviy o‘lchovlar va sun'iy yo‘ldosh tasvirlaridan iborat multimodal ma'lumotlarni yagona modelda birgalikda qayta ishlovchi intellektual algoritmlar hamda dasturiy majmualarni ishlab chiqish muhim vazifa hisoblanadi.

O‘zbekistonda suv resurslarini boshqarish tizimini takomillashtirish, suv xo‘jaligida raqamli texnologiyalarni keng joriy etish hamda yer osti suv resurslarini muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Suv resurslarining katta qismi transchegaraviy daryolar hisobiga shakllanishi, iqlim o‘zgarishi va antropogen ta'sirning kuchayishi sharoitida yer osti va yer usti suvlari holatini uzluksiz monitoring qilish hamda ularning o‘zgarishini oldindan bashorat qilish davlat siyosatining muhim tarkibiy qismiga aylangan. Shu bois gidrogeologik kuzatuv ma'lumotlari va masofadan zondlash tasvirlariga intellektual ishlov berish asosida yer osti suvlari holatini baholovchi mahalliy algoritmlar va dasturiy majmualarni yaratish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

O‘zbekistonda suv resurslarini boshqarish sohasida qabul qilingan me'yoriy-huquqiy hujjatlar, jumladan, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 10-iyuldagi "O‘zbekiston Respublikasi suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020–2030-yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida"gi PF-6024-son Farmoni, 2022-yil 7-dekabrdagi "Yer osti suv resurslarini muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanishni tartibga solish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida"gi PQ-439-son qarori, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2023-yil 28-dekabrdagi "Yer osti suvlariga quduqlarni burg‘ilash va ulardan foydalanish munosabatlarini tartibga solishni yanada takomillashtirish

chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 685-son qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnikasini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi.

Yer osti suvlarining gidrogeologik rejimlari, ularning statik, dinamik va tartibga soluvchi zaxiralari masalalari XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab ko‘plab mahalliy va xorijiy olimlar tomonidan o‘rganilgan. Sovet davrida A.A. Makaveyev, N.N. Verigin, V.A. Shestakov singari mutaxassislar yer osti suvlarining tabiiy rejimi, gidrodinamik qonuniyatlari va balans elementlarini chuqur tadqiq qilgan. O‘zbekistonlik olimlardan A.A. Rafiqov, A.G. Shermatov, Sh.M. Ahmedov, B.D. Abdullayev va boshqalar mintaqamiz sharoitida suv resurslari, ularning gidrodinamik o‘zgarishlarni tadqiq etishga katta hissa qo‘shgan.

Global ilmiy maydonda yer osti suvlarini sun’iy intellekt (AI), deep learning, gibrid modellar orqali tahlil qilishda H. Maier, G. Dandy, X. Shen, T. H. Nguyen, Q. Jiang, F. Yang, S. Umar, A. Kisi, H. Rajaee va boshqa yetakchi olimlar o‘z faoliyatini olib borishgan. Yurtimizda esa F.Abutaliyev, M.Kamilov, R.Usmanov, M. Musayev, X. Zaynidinov, E.Nazirova, J.Jumanov, D. Muhammadiyeva T.Kuchkorov va boshqa yetakchi olimlar ushbu yo‘nalish rivojiga o‘z xissalarini qo‘shib kelmoqdalar.

Biroq mavjud tadqiqotlarda yer osti suvlarining gidrodinamik va gidrokimyoviy ko‘rsatkichlari asosan an’anaviy statistik hamda LSTM, GRU kabi rekurrent modellar yordamida alohida tahlil qilingan bo‘lib, ular uzoq muddatli bashoratda nochiziqli o‘zgarishlar va anomaliyalarni to‘liq aks ettirmaydi. Masofadan zondlash tasvirlari va gidrogeologik kuzatuv ma’lumotlarini multimodal transformer modellari asosida birgalikda qayta ishlash, ularning o‘zaro ta’sirini miqdoriy baholash hamda Toshkentoldi arteziyan basseyni uchun bashoratlovchi intellektual algoritmlar va dasturiy majmua yaratish masalalari yetarlicha o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim va ilmiytadqiqot muassasasining ilmiy-tadqoqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasining № AL-9224104679 “Sun’iy intellektning gibrid texnologiyalari asosida yer osti qazilma boyliklari joylashgan qatlamlarini aniqlash algoritmlari va dasturiy apparat vositasini ishlab chiqish” (2026-2028) mavzularidagi amaliy loyihalasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi. Gidrogeologik tizimlarda ma’lumotlarga raqamli ishlov berishning intellektual algoritmlari va dasturiy majmuasini yaratishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

- sun’iy intellekt modellari hamda gidrogeologik ma’lumotlarni tahlil qilish;

- multimodal transformer modellaridan foydalanib taqsimlangan tizimlarda gidrodinamik ma’lumotlarga ishlov berish asosida yer osti suvlarining holatini aniqlash algoritmi ishlab chiqish;
- zondlash tizimlardan olingan tasvirlarni segformer modellari asosida ishlov berish va yer usti suvlari o‘zgarish holatini aniqlash algoritmi ishlab chiqish;
- sun’iy yo‘ldosh va gidrogeologik tizimlardan olingan ma’lumotlarni o‘zaro bog‘liqligini aniqlash algoritmi hamda foydalanuvchi interfeysi ishlab chiqish;
- geologik taqsimlangan tizimlarda yer usti va yer osti suv havzalaridan olingan ma’lumotlarni o‘zaro ta’sirini aniqlash uchun dasturiy majmua strukturasi loyihalash va uning interfeysi ishlab chiqish.

Tadqiqot obyekti. Yer osti suvlarining gidrogeologik va gidrodinamik jarayonlari hamda ularning tabiiy va antropogen omillar ta’sirida yuz beradigan o‘zgarishlaridir.

Tadqiqot predmeti. Yer osti suvlarining gidrogeologik ma’lumotlarini qayta tiklash va ularni bashoratlash jarayonida qo‘llaniladigan sun’iy intellekt algoritmlari hamda ishlab chiqilgan dasturiy majmuaning funksional imkoniyatlaridir.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida yer osti suvlarining ma’lumotlarini qayta tiklash va bashoratlash uchun mashinali o‘qitish usullari, zondlash usullarida signallarni aniqlash, ma’lumotlarga intellektual ishlov berish, chuqur o‘qitish algoritmlariga asoslangan neyron tarmoq modellaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:
- multimodal transformer modellaridan foydalanib taqsimlangan tizimlarda gidrodinamik ma’lumotlarga ishlov berish asosida yer osti suvlarining holatini aniqlash algoritmi ishlab chiqilgan;
- zondlash tizimlardan olingan tasvirlarni segformer modellari asosida ishlov berish va yer usti suvlari o‘zgarish holatini aniqlash algoritmi ishlab chiqilgan;
- sun’iy yo‘ldosh va gidrogeologik tizimlardan olingan ma’lumotlarni o‘zaro bog‘liqligini aniqlash algoritmi ishlab chiqilgan;
- geologik taqsimlangan tizimlarda yer usti va yer osti suv havzalaridan olingan ma’lumotlarni o‘zaro ta’sirini aniqlash uchun dasturiy majmua strukturasi loyihalangan va uning interfeysi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:
- ishlab chiqilgan multimodal transformer algoritmlari asosida gidrodinamik ma’lumotlarga raqamli ishlov berish orqali yer osti suvlarining holatini tezkor va yuqori aniqlikda baholash imkoniyati yaratilgan;
- SegFormer modellari asosida zondlash tizimlaridan olingan tasvirlarga ishlov berish natijasida yer usti suv havzalarining o‘zgarish dinamikasini avtomatik aniqlash va monitoring qilish samaradorligi oshirilgan;
- sun’iy yo‘ldosh va gidrogeologik tizimlardan olingan ma’lumotlarning o‘zaro bog‘liqligini aniqlash asosida suv resurslarining holatini kompleks tahlil qilish hamda prognozlash imkoniyati kengaytirilgan;
- yer usti va yer osti suv havzalariga oid ma’lumotlarni integratsiyalashgan holda qayta ishlovchi dasturiy majmua orqali gidrogeologik jarayonlarni monitoring qilish, tahlil qilish va qaror qabul qilish jarayonlarini avtomatlashtirishga erishilgan;

- ishlab chiqilgan dasturiy majmua geologik taqsimlangan tizimlarda katta hajmdagi ma’lumotlarni markazlashgan holda boshqarish, vizual tahlil qilish va foydalanuvchi uchun qulay interfeys asosida natijalarni taqdim etish imkonini yaratgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi taqdim etilgan algoritmlarning to‘g‘riligi, testlash natijalari, dissertatsiyadagi taklif qilingan algoritm va usullarning aprobatsiyasi bosma nashrlar va xalqaro ilmiy konferensiyalar ma’ruzalarida, tajribaviy tadqiqotlar va yaratilgan dasturiy vositani amaliyotga tadbiq etish bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Gidrogeologik ma’lumotlar yordamida yer osti suvlarini o‘zgarishini bashoratlashda multimodal transformer usullaridan foydalanib yaratilgan algoritmlar asosida takomillashtirilgan va ishlab chiqilgan dasturiy vosita Respublikamizdagi, “O‘zbekgidrogeologiya” Davlat muassasasidan olingan yer osti suvlarining o‘zgarishini zondlash usuli orqali olingan tasvirlardagi suv havzalarining o‘zgarishini o‘zaro bog‘liqligi va ushbu tasvirlar yordamida yer osti suvlarining holatini bashorat qilish samaradorligini oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Gidrogeologik tizimlarda ma’lumotlarga raqamli ishlov berishning intellektual algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqish bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

suv resurslari bo‘yicha mavjud ma’lumotlarni tahlil qilishning neyron tarmoqlarga asoslangan dasturiy ta’minoti va ma’lumotlarni tiklashning matematik modellari “Musaffo obi hayot magistral suv ta’minoti” aksiyadorlik jamiyati amaliyotiga joriy etilgan (“Musaffo obi hayot magistral suv ta’minoti” AJning 2024-yil 1-oktabrdagi dalolatnomasi). Natijada hisoblash jarayonlari uzoq vaqt talab etadigan katta hajmli ma’lumotlarni tez va yuqori aniqlikda tahlil qilish, suv resurslarining gidrokimyoviy holatini inson omilisiz baholash va anomal zonalarni aniqlash hamda ma’lumotlarning aniqlik darajasini 21 % ga oshirish imkonini bergan;

ma’lumotlarni tahlil qilishning neyron tarmoqlar asosidagi gibrid algoritmlari va ma’lumotlarni tiklashning matematik modellari Toshkent shahar Chilonzor tuman suv tarmoqlari bo‘limi amaliyotiga joriy etilgan (Chilonzor tuman suv tarmoqlari bo‘limining 2024-yil 15-oktabrdagi dalolatnomasi). Natijada suv resurslarining gidrokimyoviy holatini subyektiv yondashuvsiz baholash, anomal zonalarni aniqlash, ko‘p o‘zgaruvchan ma’lumotlarni tiklash hamda o‘rganilayotgan maydon matematik modelining aniqlik darajasini 21 % ga oshirish imkonini bergan;

multimodal transformer modellaridan foydalanib taqsimlangan tizimlarda gidrodinamik ma’lumotlarga ishlov berish asosida yer osti suvlarining holatini aniqlash algoritmi “O‘zbekgidrogeologiya” davlat muassasasi faoliyatiga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligining 2025-yil 20-noyabrdagi 08-4411-son ma’lumotnomasi). Natijada katta hajmli gidrogeologik ma’lumotlarni tez va yuqori aniqlikda tahlil qilish hamda yer osti suvlarining gidrogeokimyoviy holatini inson omilining subyektiv yondashuvisiz baholash va anomal zonalarini aniqlash imkonini bergan;

masofadan zondlash tizimlaridan olingan tasvirlarni SegFormer modellari asosida qayta ishlash va yer usti suvlari o‘zgarish holatini aniqlash algoritmi “O‘zbekgidrogeologiya” davlat muassasasi faoliyatiga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligining 2025-yil 20-noyabrdagi 08-4411-son ma’lumotnomasi). Natijada masofadan zondlash orqali olingan tasvirlarni qayta ishlash asosida yer usti suv havzalari holatini baholash va yer osti suvlarining o‘zgarishini bashorat qilish uchun dastlabki ma’lumotlarni shakllantirish imkonini bergan;

sun’iy yo‘ldosh va gidrogeologik tizimlardan olingan ma’lumotlarning o‘zaro bog‘liqligini aniqlash algoritmi “O‘zbekgidrogeologiya” davlat muassasasi faoliyatiga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligining 2025-yil 20-noyabrdagi 08-4411-son ma’lumotnomasi). Natijada masofadan zondlash tasvirlari asosida yer osti suvlarining o‘zgarishini bashorat qilish aniqligini 21 % ga oshirish imkonini bergan;

geologik taqsimlangan tizimlarda yer usti va yer osti suv havzalaridan olingan ma’lumotlarning o‘zaro ta’sirini aniqlash uchun yaratilgan dasturiy majmua “O‘zbekgidrogeologiya” davlat muassasasi faoliyatiga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligining 2025-yil 20-noyabrdagi 08-4411-son ma’lumotnomasi). Natijada dastur asosida tuzilgan matematik model tadqiqot obyektining geologik muhitida ko‘p o‘zgaruvchan gidrogeologik ma’lumotlarni tiklash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi

Mazkur tadqiqot natijalari 13 ta, shundan xalqaro 3 ta scopus, 4 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 24 ta ilmiy ish chop etilgan. Jumladan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tavsiya etgan ilmiy jurnallarda 6 ta maqola, shundan 1 tasi xorijiy va 5 tasi respublika jurnallarida, 3 ta maqola Scopus bazasiga kiritilgan xalqaro konferensiya materiallarida nashr etilgan. Shuningdek, 3 ta xalqaro va 8 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruzalar qilingan hamda 5 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositaga mualliflik guvohnomasi olingan.

Ishning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya krish qismi, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati, shartli belgilar va atamalar ro‘yxati hamda ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 117 betni tashkil etadi

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishiga mosligi belgilangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari ko‘rsatib o‘tilgan, olingan natijalarning haqqoniyligi asoslab berilgan, olingan natijalar nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga tatbiq etilishi, ishni sinash natijalari, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilmasi to‘g‘risidagi ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishning “Yer osti suvlarining o‘zgarish holatlarini baholashning zamonaviy usullari va tahlili” deb nomlangan birinchi bobi to‘rtta bo‘lim va bob xulosasida iborat. Bobda yer osti suvlarining holatini baholashda klassik statistik va geostatistik usullar, shuningdek, sun’iy intellekt texnologiyalari - data mining, mashinaviy va chuqur o‘rganish yondashuvlari uyg‘un qo‘llanildi. Toshkent suv havzasi misolida o‘tkazilgan tahlillar natijasida gibrid modellar yordamida suv oqimi, sathi va kimyoviy tarkib o‘zgarishlarini aniqlash hamda prognozlashning ilmiy-amaliy samaradorligi asoslab berildi.

Birinchi bo‘limda ma’lumotlarni intellektual tahlil qilish jarayoni o‘rganib chiqildi, bunda ma’lumotlarni qazib olish, ma’lumotlarni tushunish, ularni tayyorlash hamda tozalash bosqichlari tahlil qilindi;

O‘zbekiston hududidagi yer osti suvlarininh ma’lumotlari tahlili amalga oshirilib, gidrogeologik ma’lumotlarning o‘zgarish darajasi, hamda ularning xususiyatlari o‘rganib chiqildi;

Yer usti suv zaxiralarining holatini aniqlash uchun Landsat apparatidan zondash usulida olingan tasvirlarning segmentatsiya qilish usullari semantik, panoptik va instans segmentatsiya usullari tahlili amalga oshirildi;

Gidrogeologik ma’lumotlarni qayta ishlashning an’anaviy usullari va zamonaviy usullari o‘rganib chiqilib, bunda bugungi kunda rivojlanib borayotgan sun’iy intellekt usullari jarayondagi muammolarni yechishda ustunroq ekanligi taqqoslash yordamida aniqlandi. Ayniqsa mashinali o‘qitish modellari xususan, nazoratli o‘qitishdagi chiziqli regressiya, KNN, qarorlar daraxti, tasodifiy o‘rmon algoritmlari, nazoratsiz o‘qitishda, k-means, chuqur o‘qitish hamda transformerlar yordamida yer osti va yer usti suv zaxiralarini aniqlashda keng qo‘lash mumkinligi aniqlandi.

Birinchi bo‘limning ikkinchi qismida - yer osti suvlarining gidrogeologik parametrlaridan olingan ma’lumotlarining tahlili - Toshkentoldi artesian basseyining gidrogeologik sharoiti ilmiy jihatdan o‘rganildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, hududdagi yer osti suvlari turli geologik davr yotqiziqlarida tarqalgan bo‘lib, ularning minerallashuvi va sho‘rligi qatlamlarga qarab farqlanadi. Yuqori to‘rtlamchi-zamonaviy allyuvial qatlamlarda minerallashuv 0,7–2,0 g/l, Yuqori Pliotsen qatlamlarida 1,6–9,5 g/l ni tashkil etadi. Miyosen va O‘rta eotsen qatlamlari bosimli suvlar bilan xarakterlanib, sho‘rlik mos ravishda 0,6–59,7 g/l va 0,6–2,8 g/l oralig‘ida kuzatiladi. Paleotsen qatlamlarida minerallashuv 2,3–11,0 g/l gacha yetadi. Yuqori bo‘r pastki Turon gorizonti mintaqaviy suv to‘siq vazifasini bajaradi. Yuqori bo‘r senoman, quyi bo‘r Alb hamda neokomiy-aptiy suvli qatlamlarida minerallashuv asosan 0,5–2,2 g/l oralig‘ida. Paleozoy jinslari suvlarining sho‘rligi 6,4 g/l bo‘lib, yoriq-karst suvlari devon va karbon ohaktoshlari bilan bog‘langan.

Birinchi bo‘limning uchinchi qismida – Sun’iy intellektning zamonaviy modellari hamda ularning formal tuzilishi va hisoblash jarayonlarining kompleks tahlili amalga oshirildi. Mashinali o‘qitish algoritmlari ilmiy jihatdan o‘rganildi. Ushbu qismda har bir algoritmning tadbiqi ko‘rib chiqildi.

Birinchi bo‘limning to‘rtinchi qismida Yer osti suvlarini o‘zgarish holatini baholash uchun zondlash usulida olingan tasvirlarni segmentatsiya qilish usullari

ko’rib chiqildi. Xususan, semantik, panoptik hamda instans segmentatsiya usullari yordamida zondlash usulida olingan tasvirlar qayta ishlandi. Tasvir RGB formatida, ya’ni har bir piksel uchun uchta komponentdan iborat:

$$I(x, y) = [R(x, y), G(x, y), B(x, y)], \quad (1)$$

bu yerda $R, G, B \in [0,255]$. Ushbu rasm semantik segmentatsiya uchun asosiy ma’lumot manbasi sifatida ishlatiladi, chunki u hududlarning spektral, radiometrik va tekstura xususiyatlarini o‘zida mujassam etadi. Asl tasvirni kiritishning zarurligi keyingi bosqichlarda rang tahlili, HSV konversiyasi, va maskalash amallarining boshlang‘ich nuqtasidir. Bu bosqichsiz segmentatsiya moduli ma’lumotlarni aniqlay olmaydi.

Land-cover va masofadan zondlash vazifalarida, ayniqsa sinf ulushlari, maydon balansi va vaqt bo‘yicha tematik dinamika tahliliga ehtiyoj bo‘lganda, semantik segmentatsiya amaliy nuqtayi nazardan eng maqbul tanlov hisoblanadi. Zarurat tug‘ilganda, semantik asos ustiga instans yoki panoptik bosqich funksional kengaytma tarzida qo‘shiladi.

Dissertatsiyaning **“Gidrogeologik ma’lumotlarni raqamli ishlov berish uchun intellektual modellari va dasturiy-apparat yechimlari”** deb nomlangan ikkinchi bobida yer osti suv zaxiralaridan olingan ma’lumotlarni yig‘ish va ularga dastlabki ishlov berish bosqichlari ko‘rib chiqildi (1-rasm), hamda quyidagi jadvaldagi ma’lumotlar to‘plami ishlab chiqildi (1-jadval).

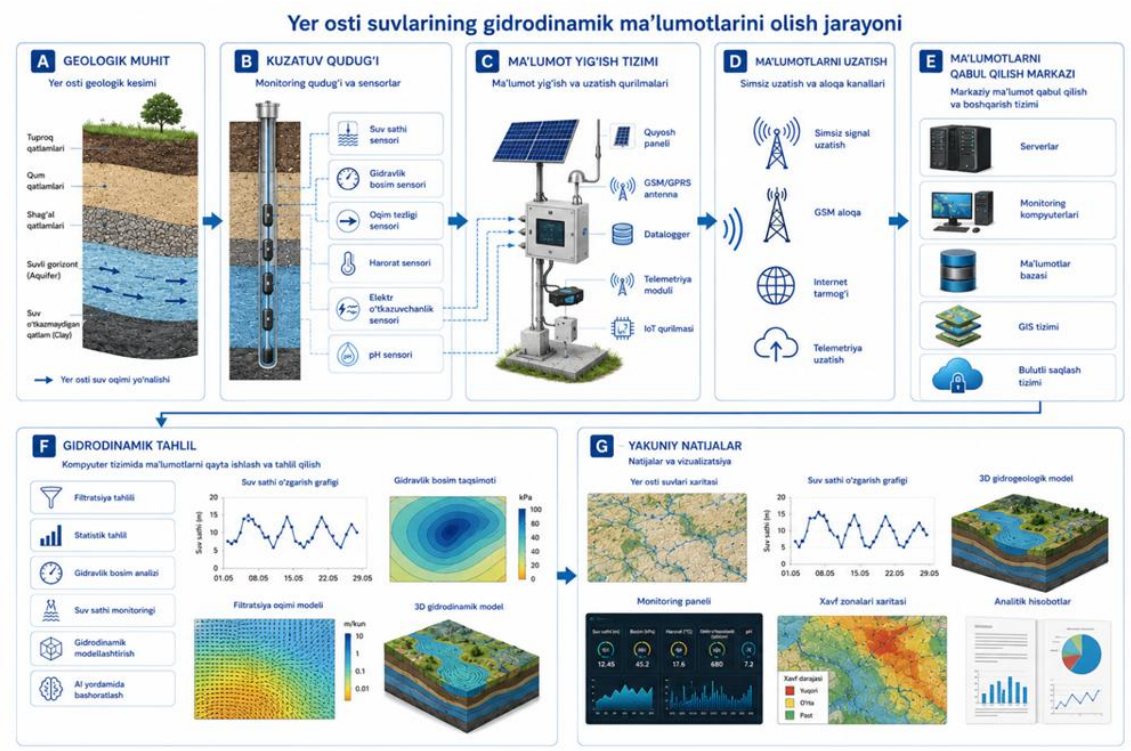
1-jadval. Yer osti suv havzaning suv-tuz oqimining o‘zgarishi

Gidrogeologik yil	1	1936 / 1937		/1938		/1939	
W_1/W_2	2	6,3	4,7	5,7	3,9	6,2	4,7
C_1/C_2	3	0,2	0,276	0,15	0,231	0,14	0,247
S_1/S_2	4	1,26	1,3	0,85	0,9	0,87	1,16
α/θ	5	0,74	1,03	0,68	1,06	0,76	1,33
$C_{тр}/C_{воз}$	6	0,2	0,076	0,15	0,081	0,14	0,107
$\omega_{тр}/\omega_{воз}$	7	0,724	0,275	0,649	0,351	0,567	0,433
$W_{тр}/W_{воз}$	8	3,4	1,3	2,53	1,37	2,66	2,04
$S_{тр}/S_{воз}$	9	0,68	0,62	0,38	0,52	0,373	0,787
$C_{воз}$	10	0,477		0,38		0,385	
$W_{вд}/W_z$	11	2,9	1,6	3,17	1,8	3,54	1,5
$S_{вд}/S_z$	12	0,58	0,32	0,475	0,27	0,495	0,21
α_2/θ_2	13	0,448	1,172	0,432	1,93	0,576	1,59
$C_{сб}/C_{ГВ}$	14	0,2	0,277	-0,15	0,23	-0,14	0,245
$\omega_{сб}/\omega_{ГВ}$	15	0,419	0,581	0,395	0,605	0,354	0,535
$W_{сб}/W_{ГВ}$	16	0,545	0,755	0,545	0,829	0,742	1,298
$C_{ГВ}/C_{сб}$	17	0,677	0,2	0,529	0,15	0,526	0,14
$S_{ГВ}/S_{сб}$	18	0,511	0,109	0,438	0,082	0,683	0,104
$S^1_{ВОЗ}$ ($S_{ГВ}$ + $S_{сб}$)	19	0,62		0,52		0,787	
$S_{ГВ1}/W_{ГВ}$	20	0,436	1,685	0,227	1,919	0,429	2,253
$C_{ГВ.1}$	21	0,259		0,118		0,19	

Mazkur bobning 2-qismida Yer osti suv zaxiralaridan olingan ma’lumotlarni qayta ishlashda chuqur o‘qitish modellari va arxitekturalari, xususan, RNN oilasiga kiruvchi LSTM, LSTM multiple, GRU, GRU multiple modellari hamda

transformerlar ko‘rib chiqilib, har bir modelning arxitekturasi gidrogeologik ma’lumotlarga sozlanib chiqildi.

Transformerning afzalligi global kontekstni oson yig‘ishi, to‘liq parallel trening, ko‘p manbali (matn+sensor+rasm) ma’lumotlarga moslashuvchanligi va pretrain–fine-tune ekotizimi bilan kuchli ishlashidir. U uzun bog‘liqliklarni rekurrent qadam-qadam yurmasdan qamrab oladi va katta hajmda tezroq o‘rganadi. Cheklov esa shundaki, e’tibor xaritasining T^2 xotira-vaqt narxi uzun ketma-ketliklarda bo‘g‘uvchi omil bo‘lishi mumkin. Shuningdek, kichik datasetlarda parametr ko‘pligi ortiqcha moslashish xavfini oshiradi va ehtiyotkor regulyarizatsiya hamda data-effektiv trening talab qiladi.



1 – rasm. Yer osti suvlarining gidrodinamik ma’lumotlarini olish jarayoni.

Katta va heterogen ma’lumotlarda, masalan, NLPda uzun kontekstli matnni tushunish va yaratishda, sensor oqimlari bilan birga matnli tavsiflar yoki boshqaruv jurnallari kiritilganda, multimodal ssenariylarda masofadan zondlash rasmlaridan fazoviy xususiyatlarni CNN orqali ajratib, ularni vaqt bo‘yicha self-attention bilan birlashtirish zarur bo‘lganda. Gidro-va geologik monitoringda masalan, sun’iy yo‘ldosh tasvirlaridan segmentatsiya natijalari (suv yuzasi, sho‘rlanish zonalari) va yer usti sensorlari oqimi (yog‘in, bug‘lanish, sarf) bilan birgalikda o‘zgarishlarni bashoratlashda Transformer global bog‘liqlikni ushlab, rejim almashinuvi davrlarida ham barqaror natija beradi. Real-vaqt talabi bo‘lsa, model siqilgan variant (distillatsiya, kvantlash) va e’tibor tezlatkichlari bilan xizmatga moslashtiriladi. Katta oflayn trening esa parallelizmdan to‘liq foydalangan holda yuqori aniqlikni ochib beradi. Shu tarzda Transformer - self-attention orqali “hammasini birdan ko‘ruvchi” yondashuv bo‘lib, resurslar to‘g‘ri boshqarilganda katta, uzun va ko‘p manbali ketma-ketliklar uchun eng mos qurolga aylanadi.

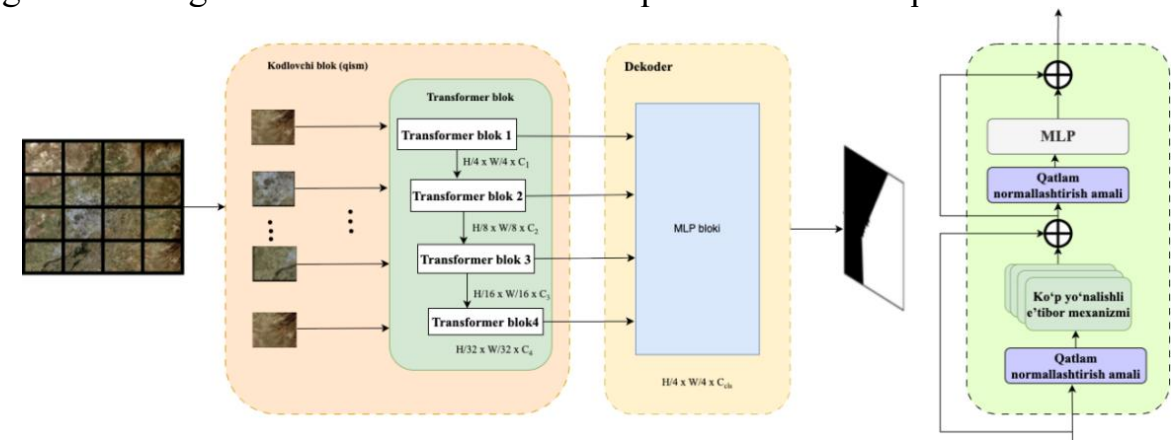
Mazkur bobning 3-qismida Tranformerlar yordamida yer usti suv zaxiralaridan olingan tasvirlarni yig‘ish, segmentatsiyalash va ularni tahlil qilish amalga oshirildi.

So‘nggi yillarda transformer arxitekturalari, tabiiy muhit tasvirlarini yuqori aniqlikda segmentatsiya qilishda samarali natija bermoqda. Avvalgi tadqiqotlarda asosan yer usti suv manbalari segmentatsiya qilingan, ammo yer osti suv zaxiralari o‘zgarishi bog‘liqligi yetarlicha o‘rganilmagan. Shundan kelib chiqib, birinchi navbatda tasvirlarni segmentlash modellari tahlilini amalga oshiramiz.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, SegFormer modeli zondlash yordamida olingan tasvirlaridan yer usti suv zaxiralari hajmini aniqlashda U-Net va DeepLabv3+ modellari bilan solishtirganda yuqori aniqlikka ega bo‘ldi [1]. Modellar tahlilidan kelib chiqib, SegFormer-B0 asosida yer usti suv zaxiralarining keskin kamayishini tahlil qilish natijasida shu va shunga yaqin hududlarda yer osti suvlari kamayishi bashorat qilindi.

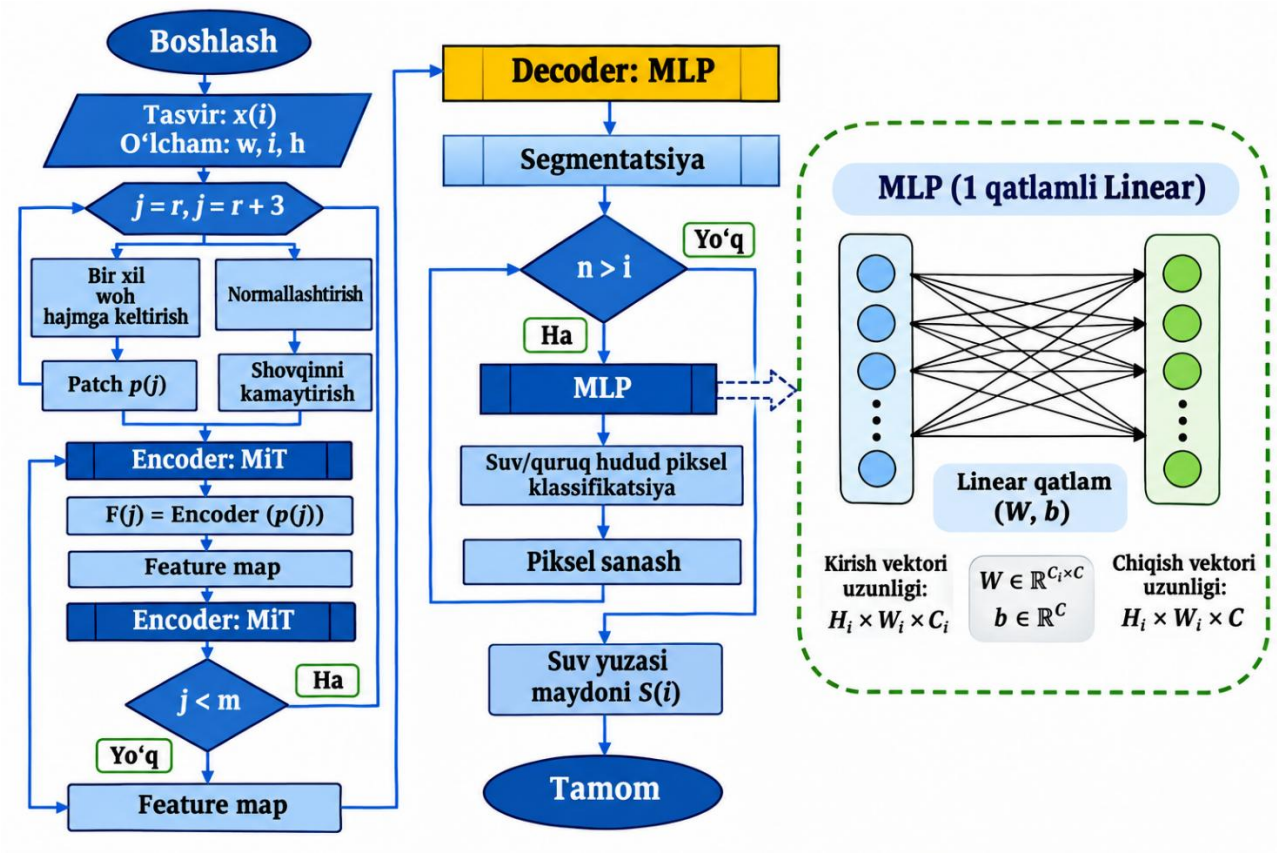
Natijalarga ko‘ra, U-Net modeli 76,5 % IoU va 83,2 % accuracy, DeepLabv3+ modeli 80,7 % IoU va 89,3 % accuracy ko‘rsatdi. Eng yuqori natija SegFormer-B0 modelida kuzatilib, IoU 87,3 %, F1-score 0,89 va accuracy 93,2 % ni tashkil etdi. Ko‘rinib turibdiki SegFormer-B0 modeli gidrogeologik ma’lumotlarni qayta ishlash uchun eng munosib model hisoblanadi (2-rasm).

Dissertatsiyaning uchinchi bobi “**Neyron tarmoqlar asosida yer osti suvlari sathlarining o‘zgarish jarayonlarini aniqlash va bashoratlash algoritmlarini ishlab chiqish**” deb nomlangan. Yer osti suv zaxiralaridan olingan ma’lumotlarni yig‘ish va ularga dastlabki ishlov berish bosqichlari ko‘rib chiqildi.



2 – rasm. Landsat apparratidan olingan tasvirlarni SegFormer arxitekturasida qayta ishlash bosqichlari

Tadqiqotda 922 ta multispektral tasvirlar SegFormer modeliga uzatilib, ular asosida suv va quruq hududlar segmentatsiya qilindi (10 – rasm). Modelni o‘qitishda yo‘qotish funksiyasi sifatida Cross Entropy kombinatsiyasi qo‘llanildi, bu esa suv obyektlarini aniq ajratishda samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Optimallashtirish jarayonida AdamW optimizatori tanlanib, o‘rganish tezligi 1e-4 qiymatida belgilandi. Model 50–100 epoch davomida, 8–12 o‘lchamdagi batch bilan o‘qitildi (3-rasm).



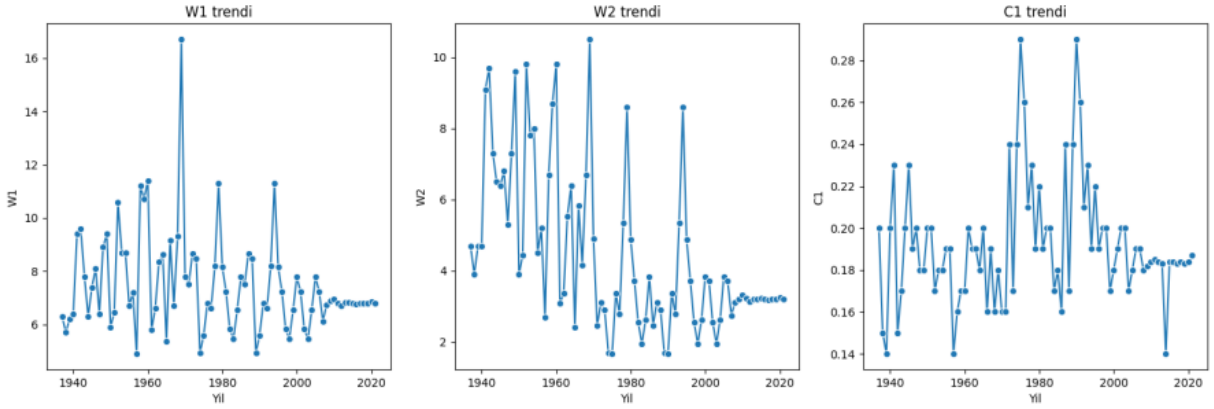
3–rasm. Sun'iy yo'ldosh tasvirlarini qabul qilish va dastlabki qayta ishlash algoritmining blok-sxemasi

Bashoratlash orqali quyidagi natijalarga erishildi. Bunda 2022-yilda suv maydoni 512,4 km² ni, 2025 yilda esa suv maydoni 412,1 km² ni tashkil etadi. Shu natijalar asosida 2026-yil uchun SegFormer-asosidagi bashoratni amalga oshirib 390,05 km² uchun 2020-2025 oralig'ida umumiy kamayishni hisoblaymiz. Bunda 19,57% ga kamayishni kuzatish mumkin. 2020-2026 yilda umumiy kamayish 23,88% ga teng.O'rtacha yillik kamayish 3,915 % ga to'g'ri kelishi mumkin.

Ushbu tadqiqotda, SegFormer modeli asosida masofadan zondlash usulida olingan tasvirlarni tahlil qilish orqali yer osti suv manbalarining holatini aniqlash va kelgusi yillar uchun bashorat qilish amalga oshirildi. Tadqiqot davomida, 2020–2025 yillar oralig'idagi tasvirlar tahlil qilindi va suv maydoni o'zgarishining chiziqli tendensiyasi aniqlanib, 2026-yil uchun yer osti suv zaxirasi kamayishi bashorat qilindi. 2020 yilda suv bilan qoplangan hudud maydoni 512,4 km², 2025 yilda esa 412,1 km² ni tashkil etdi. 2026 yil uchun SegFormer modelining chiziqli bashorati bo'yicha maydon 390,05 km² gacha kamayishi bashorat qilindi. Bu natijalar 2020–2025 yillar oralig'ida 19,6%, hamda 2020–2026 yilgacha 23,9% kamayishni ko'rsatdi. O'rtacha yillik kamayish sur'ati esa 3,9% atrofida bo'ladi. Ularda suv bilan to'lgan zonalar 2025-yildan 2026-yilga o'tishda ancha qisqarib, quruqlik maydonining ortishi kuzatildi. Bu holat, ehtimol, yog'ingarchilik miqdorining kamayishi, haroratning ortishi va yer osti suvlarining tabiiy balansining buzilishi bilan bog'liq.Olingan natijalar SegFormer modelining geologik, gidrologik

va gidrogeologik monitoring tizimlarida qo‘llanish imkoniyati yuqori ekanligini ko‘rsatadi.

3.2-bo‘limda Yer osti suvlaridan olingan ma’lumotlarni LSTM va GRU arxitekturalari yordamida tiklash amalga oshirilga bo‘lib, birinchi navbatda gidrogeologik ma’lumotlarning har bir parametri uchun yillar davomida ozgarishining trend panellari ishlab chiqildi (4-rasm).



4 – rasm. Gidro(kimyoviy) parametrlarning ko‘p o‘lchovli trend panellarining yilma-yil o‘zgarishi

Keyingi bosqich, korrelatsiya bo‘lib, u issiqlik xaritasi parametrlar juftliklari o‘rtasidagi chiziqli bog‘liqlik darajasini bir qarashda namoyon qiladi va model dizaynini ilmiy asoslashda tayanch rol o‘ynaydi.

Keyingi bosqichda normalizatsiya amalga oshiriladi, buning uchun min-max normalizatsiyasi ushbu ish uchun ma’qul deb topildi. Normalizatsiya (1) har bir ustun bo‘yicha alohida qo‘llanadi va

$$x^{norm} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

ko‘rinishida hisoblanadi.

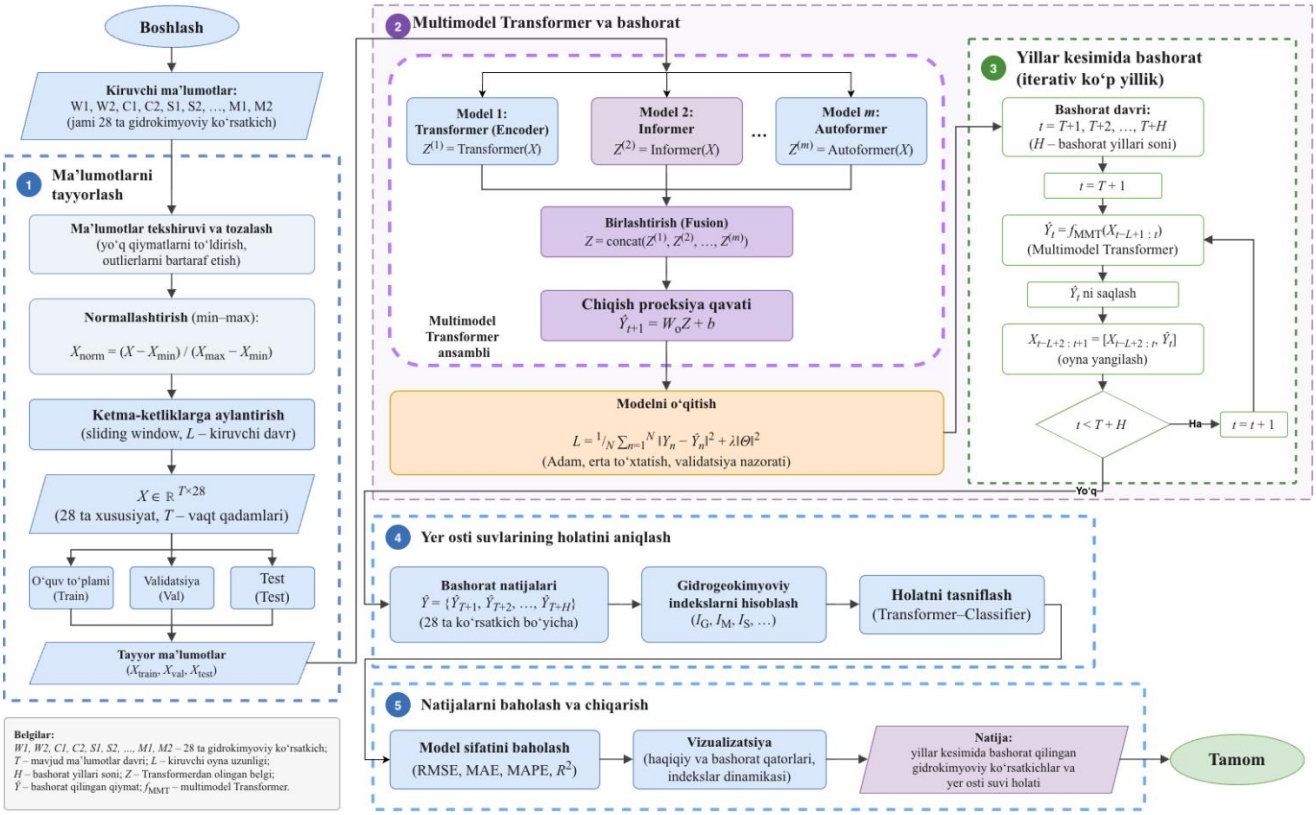
Tadqiqod davomida taklif etilgan algoritm asosida gidrogeologik ma’lumotlarning 2050-yildagi holatini LSTM modeli yordamida hisoblash amalga oshirildi. O‘qitish xatoligi 0.048, o‘qtish aniqligi 95% ga chiqqani kuzatildi, ammo LSTM modelida yillar davomida parametrlarda tebranish kuzatilmadi.

So‘ngra LSTM multiple modeli ko‘rib chiqish jarayonida o‘qitish xatoligi 0.0013ga tushurildi hamda o‘qitish aniqliligi 97.99% oshgani kuzatildi.

RNN oilasiga kiruvchi yana bir modeli, ya’ni GRU modeli yordamida ham gidrogeologik ma’lumotlarning parametrlari holati 2050-yilgacha bashorat qilinganda o‘qitish xatoligi 0.0341 ga kamaytirish, hamda o‘qitish aniqligini 96.59%ga oshirishga erishildi. So‘ng GRU multiple modelining o‘qitishdagi xatoligi hamda aniqliligi 0.0012 va 97.99% ni ko‘rsatdi.

Mazkur bobning 3-qismi “Transformer modellari yordamida yer osti suv sathini bashoratlash algoritmini ishlab chiqish” deb nomlanib, bu yerda tanlab olingan multiple transformer modeli yordamida yer osti suvlarining parametrlari holatini 2050-yilgacha bashoratini topib beruvchi algoritm ishlab chiqildi.

Quyida taqdim etilgan blok-sxemada transformer modeli asosida gidrogeologik ma’lumotlarning kelajakdagi holatini bashoratlash jarayoni bajariladi. Hisoblash bosqichlaridan so‘ng olingan natijalar jadval ko‘rinishida ifodalanadi.



5 – rasm. Gidrogeologik ma’lumotlarni multimodal transformer modeli yordamida 2050-yilgi holatini bashorat qilish algoritmi

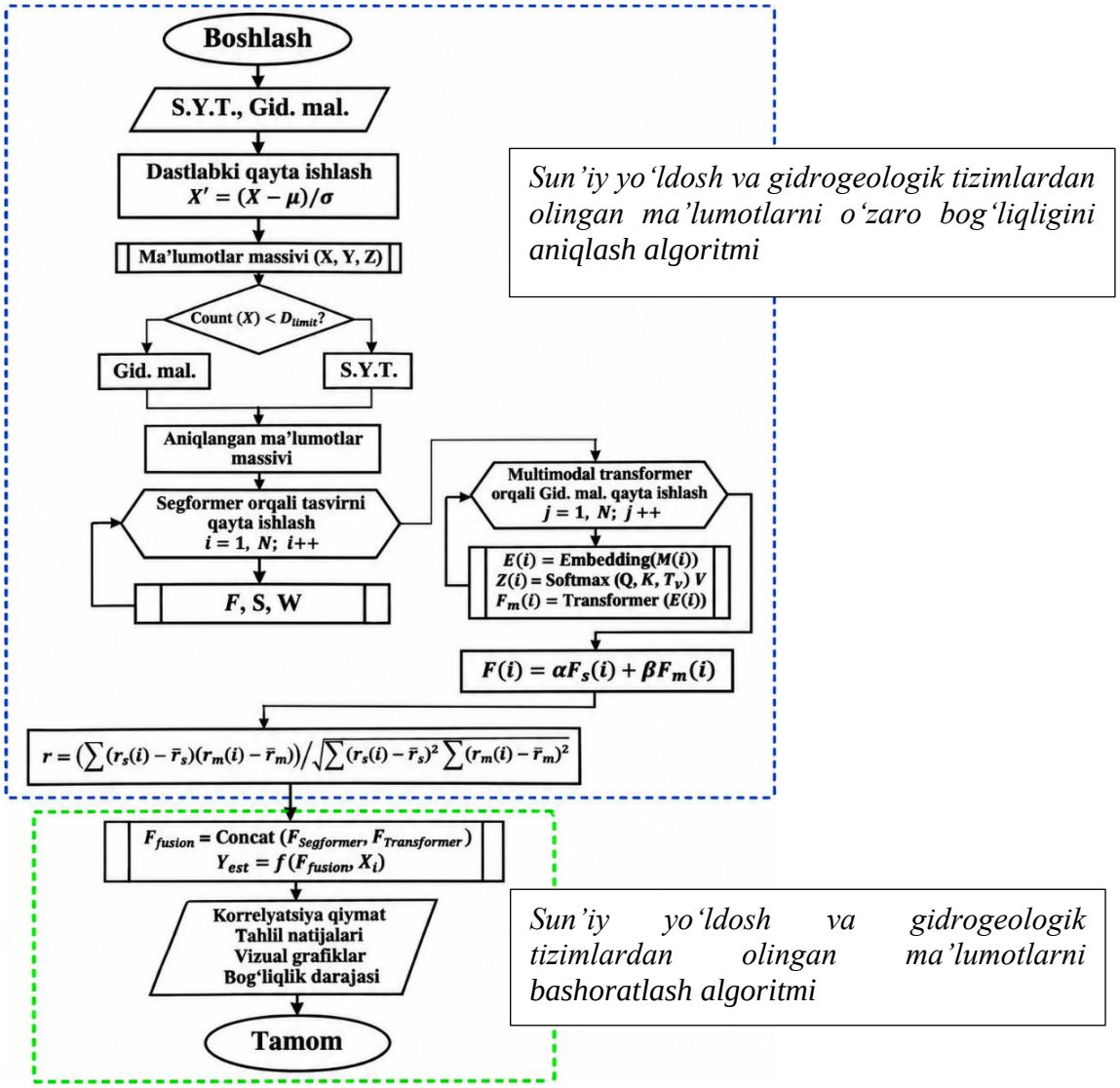
Ushbu ishlab chiqilgan algoritm orqali gidrogeologik ma’lumotlarni 2050-yilgacha o‘zgarishi qiymatlari hamda grafigi ishlab chiqildi.

2 – jadval. 2022-2051-yillar davomida dataset(w1,w2,C1,C2) qiymatlarning transformer yordamida bashorat qilingan qiymati

Ko‘rsatkich	2026	...	2048	2049	2050	2051
W1	6.631911	...	6.366868	6.346812	6.351524	6.397002
W2	3.345176	...	3.411082	3.388442	3.398014	3.456867
C1	0.175753	...	0.175852	0.175882	0.175877	0.176154
C2	0.896441	...	0.883350	0.883794	0.883263	0.879687

So‘ngra landsat apparati orqali yer ustidan zondlash orqali olingan tasvirlarni hamda yer osti suvlari ma’lumotlarining o‘zaro bog‘liqligini aniqlovchi algoritm blok sxemasi ishlab chiqildi (6-rasm).

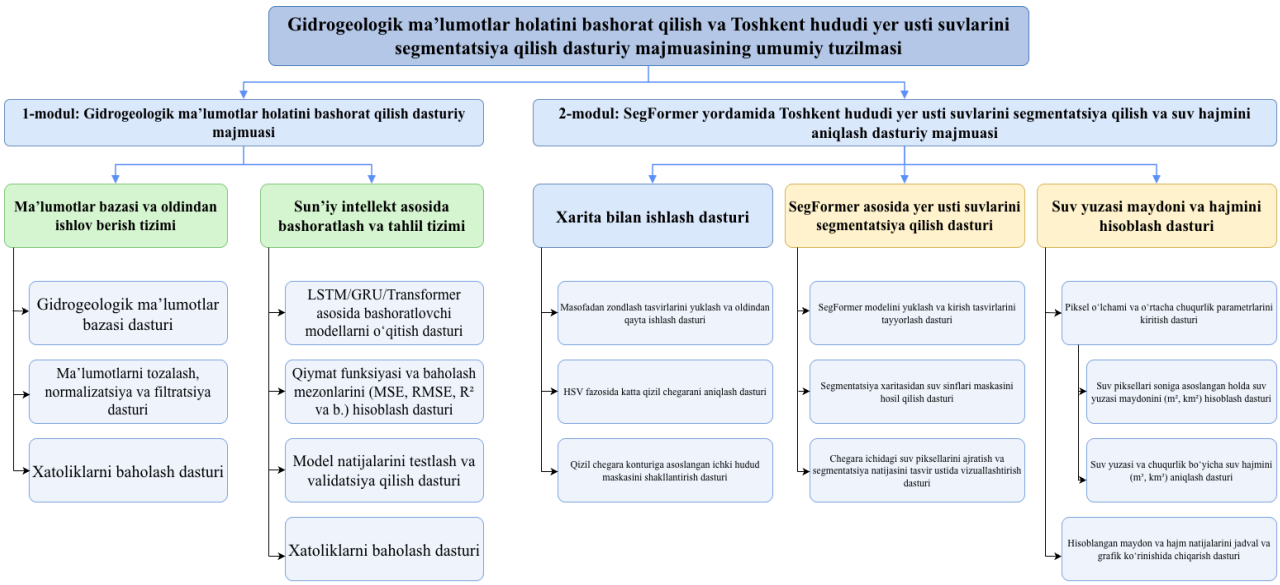
Mazkur blok-sxemada sun’iy yo‘ldosh tasvirlari hamda multimodal ma’lumotlar asosida yer usti va yer osti suv holatini tahlil qilish jarayoni tasvirlangan. Dastlab kirish ma’lumotlari sifatida sun’iy yo‘ldosh tasvirlari va gidrokimyoviy, gidrodinamik hamda iqlim ma’lumotlari qabul qilinadi. Keyingi bosqichda ma’lumotlar normalizatsiya qilinib, model uchun mos formatga keltiriladi.



6 – rasm. SegFormer va Multimodal Transformer asosida olingan xususiyatlar o‘rtasidagi korrelyatsiyani aniqlash algoritmi

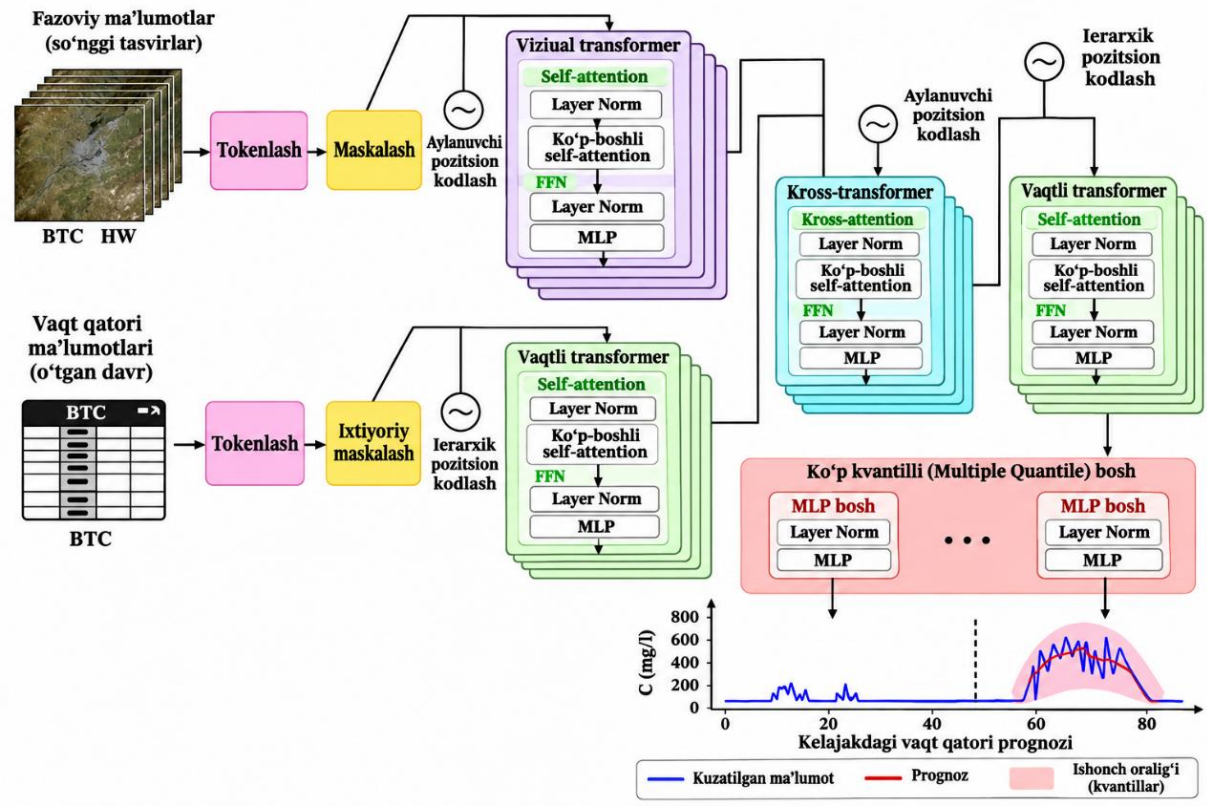
So‘ngra tasvirlar SegFormer modeli orqali qayta ishlanib, chuqur xususiyatlar ajratiladi va suv maskalari hosil qilinadi. Parallel ravishda multimodal Transformer modeli yordamida qo‘shimcha ma’lumotlardan embedding va self-attention mexanizmlari orqali muhim xususiyatlar olinadi. Olingan xususiyatlar birlashtirilib, ular orasidagi bog‘liqlik korrelyatsiya koeffitsiyenti yordamida baholanadi. Yakunda bog‘liqlik darajasi aniqlanib, korrelyatsiya qiymati, tahlil natijalari va vizual grafiklar shaklida chiqish natijalari taqdim etiladi.

Dissertatsiya ishning “Yer osti suvlari ma’lumotlarini qayta tiklash hamda bashoratlash uchun dasturiy vositalar asosida majmua yaratish va ularni tajribaviy tadqiq qilish” deb nomlangan to‘rtinchi bobi uchta bo‘lim va bob xulosasida iborat. Ushbu bobning birinchi qismida Ishlab chiqilgan dasturiy majmua strukturasi keltirib o‘tildi. Umumiy holatda dasturiy majmua uchta asosiy dastur (modullar)ni o‘z ichiga oladi:



7 – rasm. Dasturiy majmua tuzilmasi

Yuqoridagi dasturiy majmualar yordamida quyidagi natijalarni olish mumkin. Birinchi holatda yer ostida joylashgan suv miqdorlari, ularning kimyoviy tarkibi haqidgi ma'lumotlar o'lchanadi va o'quv tanlanma sifatida yig'ildi. Ikkinchi holatda yer ustki qatlamidagi suv miqdori o'lchanadi va o'quv tanlanma sifatida yig'ildi. Ushbu o'quv tanlanmalar holati bashorati amalga oshiriladi (7-rasm). So'ngra ushbu natijalarning o'zaro bog'liqligi aniqlanib soha mutaxassislariga tavsiya tizimi ishlab chiqildi (8-rasm).



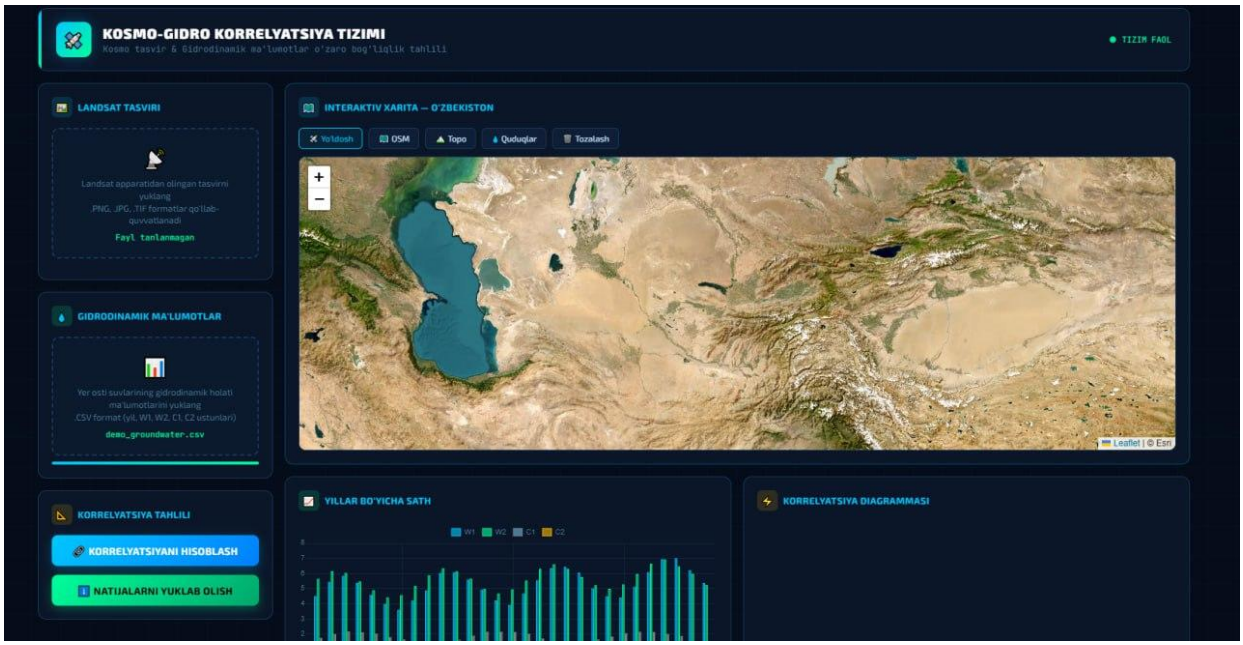
8 – rasm. Kosmo tasvir va gidrodinamik ma'lumotlarni o'zaro bog'liqligini va ta'sirini aniqlovchi struktura

Mazkur bobning 2–qismi Tajribaviy tadqiqot natijalar moduli deb nomlanib, ushbu qismda dasturiy vosita yaratishda qaysi parametrlar sozlangani keltirib o‘tildi.

Ishlab chiqilgan garfik interfeys yordamida yer ostidan olingan ma’lumotlar vizual ko‘rinishi ifoda etiladi.

Bunda transformerlar asosida gidrogeologik ma’lumotlardan foydalanib yer osti suv zaxiralari o‘zgarishi keltirilgan.

4.3–bo‘lim “Ishlab chiqilgan algoritm va dasturiy vositalar asosida yaratilgan dasturiy majmuaning amaliy masalalarni yechishdagi tadbiqi” deb nomlanadi.



9–rasm. KOSMO-GIDRO dasturiy majmuasining geografik xarita, monitoring ko‘rsatkichlari va tahliliy ma’lumotlarni aks ettiruvchi foydalanuvchi interfeysi.

Interfeysga zondlash usulida olingan yer usti suv zaxiralari tasviri yuklanadi va taklif etilayotgan algoritm asosida yer osti suv zaxirasi bilan bog‘liqligi aniqlanadi (9-rasm).

XULOSA

“Gidrogeologik tizimlarda ma’lumotlarga raqamli ishlov berishning intellektual algoritmlari va dasturiy majmuasi” mavzusidagi dissertatsiya bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

Gidrogeologik ma’lumotlarga raqamli ishlov berishda qo‘llaniladigan an’anaviy va zamonaviy usullar tahlil qilindi. Yer osti suvlari ma’lumotlari nochiziqli va ko‘p manbali bo‘lgani uchun ularni statistik usullar bilan yetarli aniqlikda qayta ishlab bo‘lmasligi aniqlandi. Mashinali o‘qitish, chuqur o‘qitish va transformer modellari solishtirilib, yer osti suvlari holatini bashoratlashda multimodal transformer modelidan, yer usti suv havzalarini aniqlashda esa SegFormer modelidan foydalanish maqsadga muvofiq ekani asoslandi.

Multimodal transformer modellaridan foydalanib, taqsimlangan tizimlarda gidrodinamik ma’lumotlarga ishlov berish asosida yer osti suvlarining holatini aniqlash algoritmi ishlab chiqildi. LSTM va GRU modellari bilan o‘tkazilgan tajribalarda bu modellar yer osti suvlari o‘zgarishidagi anomaliyalarni yo‘qotib qo‘yishi kuzatildi. Taklif etilgan algoritm esa ularni saqlab qolgan holda Toshkent oldi hududiga kiruvchi va chiquvchi suv oqimi sathlari hamda sho‘rligining 2022–2050-yillardagi o‘zgarishini 85–90% aniqlikda bashorat qilish imkonini berdi.

Zondlash tizimlaridan olingan Landsat tasvirlariga SegFormer modeli asosida ishlov berib, yer usti suvlarining o‘zgarish holatini aniqlash algoritmi ishlab chiqildi. Algoritm suv havzalari yuzasini aniqlashda IoU bo‘yicha 87,3%, F1-score bo‘yicha 0,89 va accuracy bo‘yicha 93,2% aniqlikka erishdi. Bu U-Net va DeepLabv3+ modellari natijalaridan yuqori. Tahlil natijasida tadqiqot hududidagi suv maydoni 2020-yilda 512,4 km² bo‘lgan bo‘lsa, 2025-yilga kelib 412,1 km² gacha, ya’ni 19,6% ga qisqargani aniqlandi. 2026-yilda bu ko‘rsatkich 390,05 km² gacha kamayishi bashorat qilindi.

Sun’iy yo‘ldosh va gidrogeologik tizimlardan olingan ma’lumotlarning o‘zaro bog‘liqligini aniqlash algoritmi hamda foydalanuvchi interfeysi ishlab chiqildi. Ma’lumotlar z-score usulida normallashtirilib, korrelyatsiya issiqlik xaritasi asosida ustuvor parametrlar aniqlandi. Natijada yer usti suv zaxiralarining o‘zgarishi bilan yer osti suvlari holati o‘rtasidagi bog‘liqlik 61% ni tashkil etishi aniqlandi.

Geologik taqsimlangan tizimlarda yer usti va yer osti suv havzalaridan olingan ma’lumotlarning o‘zaro ta’sirini aniqlash uchun dasturiy majmua strukturasi loyihalanib, uning interfeysi ishlab chiqildi. Majmua gidrogeologik ma’lumotlarni bashorat qilish, kosmik tasvirlar asosida suv havzalari maydoni va hajmini hisoblash hamda ular o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash modullaridan iborat. Majmua yordamida 2026–2050-yillar uchun yer osti suvlari parametrlarining o‘zgarishi bashorat qilindi. Ishlab chiqilgan dasturiy vositalarga EHM uchun yaratilgan dasturni qayd qilish bo‘yicha 3 ta guvohnoma olindi.

Ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy majmua O‘zbekiston Respublikasi Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligi amaliyotiga joriy etildi (2025-yil 20-noyabrdagi 08-4411-son ma’lumotnoma). Natijada yer osti suvlarining gidrogeokimyoviy holatini inson omilisiz baholash va anomal zonalarni aniqlash imkoniyati yaratilib, bashorat aniqligi 21% ga oshdi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ

ДАДАЖОНОВА ЗИЛОЛА БОТИРЖОН КИЗИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

05.01.04-Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2026

Тема диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Академии наук Республики Узбекистан за № B2026.4.PhD/T7107.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразми.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале "ZiyoNet" (www.ziyonet.uz)..

Научный руководитель:	**Махмуджанов Сарвар Улугбекович** доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент
Официальные оппоненты:	**Нишанов Ахрам Хасанович** доктор технических наук, профессор
	Хушвактов Сайдулла Холбазарович доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ведущая организация	**Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова**

Защита диссертации состоится «14» декабря 2026 г. в 16:00 часов на заседании научного совета DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер №474). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-70).

Автореферат диссертации разослан «26» 11 2026 года.
(протокол рассылки №32 от «26» 11 2026 г.).

М.М. Мусаев
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

Э.Ш. Назирова
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н. профессор

Дж. Б. Султанов
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, доцент.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации.

В настоящее время, когда в мире стремительно развивается наука, цифровая обработка сигналов, обработка изображений и прогнозирование состояния объектов с помощью технологий искусственного интеллекта основываются на современных методах информационных технологий. В частности, одной из основных задач является цифровая обработка гидрогеологических данных, обработка изображений, полученных методами дистанционного зондирования, а также применение методов искусственного интеллекта и программных средств в гидрогеологии. Согласно Докладу Организации Объединённых Наций о состоянии водных ресурсов мира за 2022 год, подземные воды составляют около 99 процентов пресной воды в жидком состоянии на Земле и обеспечивают половину объёма воды, забираемой для бытовых нужд населения, и около 25 процентов воды, забираемой для орошения.

В мире применение методов искусственного интеллекта для определения изменений запасов подземных вод, прогнозирования изменений поверхностных водоёмов с помощью изображений дистанционного зондирования и выявления их взаимосвязи с подземными водами стало одной из актуальных научно-практических проблем. В этом направлении в таких странах, как США, Российская Федерация, Китай, Южная Корея, Германия, Франция и Япония, проводятся масштабные научные исследования по цифровой обработке гидрогеологических данных, моделированию и прогнозированию гидрогеологических процессов на основе глубокого обучения и трансформерных архитектур. Важной задачей в данном направлении является разработка интеллектуальных алгоритмов и программных комплексов, совместно обрабатывающих в единой модели мультимодальные данные, включающие гидродинамические и гидрохимические измерения, а также спутниковые снимки.

В Узбекистане особое внимание уделяется совершенствованию системы управления водными ресурсами, широкому внедрению цифровых технологий в водное хозяйство, а также охране и рациональному использованию подземных водных ресурсов. В условиях, когда значительная часть водных ресурсов формируется за счёт трансграничных рек, а изменение климата и антропогенное воздействие усиливаются, непрерывный мониторинг состояния подземных и поверхностных вод и заблаговременное прогнозирование их изменений стали важной составной частью государственной политики. В связи с этим создание отечественных

алгоритмов и программных комплексов оценки состояния подземных вод на основе интеллектуальной обработки данных гидрогеологических наблюдений и изображений дистанционного зондирования является актуальным в научном и практическом отношении.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в нормативно-правовых актах, принятых в сфере управления водными ресурсами Узбекистана, в том числе в Указе Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № УП-6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы», Постановлении Президента Республики Узбекистан от 7 декабря 2022 года № ПП-439 «О дополнительных мерах по охране и упорядочению рационального использования подземных водных ресурсов», Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан от 28 декабря 2023 года № 685 «О мерах по дальнейшему совершенствованию регулирования бурения скважин на подземные воды и их использования», а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и техники Республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления IV «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий» развития науки и технологий Республики Узбекистан.

Степень изученности проблемы. Гидрогеологический режим подземных вод, а также вопросы их статических, динамических и регулирующих запасов изучаются многими отечественными и зарубежными учёными начиная со второй половины XX века. В советский период такие специалисты, как А.А. Макавеев, Н.Н. Веригин и В.А. Шестаков, глубоко исследовали естественный режим подземных вод, гидродинамические закономерности и элементы водного баланса. Среди учёных Узбекистана значительный вклад в изучение водных ресурсов и их гидродинамических изменений в условиях нашего региона внесли А.А. Рафиков, А.Г. Шерматов, Ш.М. Ахмедов, Б.Д. Абдуллаев и другие.

В мировой науке анализом подземных вод с применением искусственного интеллекта (ИИ), глубокого обучения (deep learning) и гибридных моделей занимаются такие ведущие учёные, как H. Maier, G. Dandy, X. Shen, T.H. Nguyen, Q. Jiang, F. Yang, S. Umar, A. Kisi, H. Rajaee и другие. В нашей республике развитию данного направления вносят вклад ведущие учёные Ф. Абуталиев, М. Камилов, Р. Усманов, М. Мусаев, Х. Зайнидинов, Э. Назирова, Ж. Жуманов, Д. Мухамедиева, Т.Кучкоров и другие.

Однако в существующих исследованиях гидродинамические и гидрохимические показатели подземных вод анализируются в основном раздельно: с помощью традиционных статистических методов, а также рекуррентных моделей типа LSTM и GRU. Эти подходы не позволяют в полной мере учитывать нелинейные изменения и аномалии при долгосрочном прогнозировании. Недостаточно изучены вопросы совместной обработки данных дистанционного зондирования и гидрогеологических наблюдений на основе мультимодальных трансформерных моделей, количественной оценки их взаимного влияния, а также создания прогнозных интеллектуальных алгоритмов и программного комплекса для Приташкентского артезианского бассейна.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках прикладного проекта № AL-9224104679 «Разработка алгоритмов и программно-аппаратного средства для определения слоёв размещения подземных полезных ископаемых на основе гибридных технологий искусственного интеллекта» (2026–2028 гг.), включённого в план научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Цель исследования заключается в разработке интеллектуальных алгоритмов и программного комплекса цифровой обработки данных в гидрогеологических системах.

Задачи исследования:

- анализ моделей искусственного интеллекта и гидрогеологических данных;
- разработка алгоритма определения состояния подземных вод на основе обработки гидродинамических данных в распределённых системах с использованием мультимодальных transformer-моделей;
- разработка алгоритма обработки изображений, полученных системами дистанционного зондирования, на основе моделей SegFormer и определения изменений состояния поверхностных вод;
- разработка алгоритма выявления взаимосвязи данных, полученных из спутниковых и гидрогеологических систем, а также разработка пользовательского интерфейса;
- проектирование структуры программного комплекса и разработка его интерфейса для определения взаимного влияния данных, полученных из поверхностных и подземных водных бассейнов в геологических распределённых системах.

Объектом исследования являются гидрогеологические и гидродинамические процессы подземных вод, а также их изменения, происходящие под воздействием природных и антропогенных факторов.

Предметом исследования являются алгоритмы искусственного интеллекта, применяемые в процессе восстановления и прогнозирования гидрогеологических данных подземных вод, а также функциональные возможности разработанного программного комплекса.

Методы исследования. В процессе исследования для восстановления и прогнозирования данных подземных вод использовались методы машинного обучения, методы определения сигналов при дистанционном зондировании, интеллектуальная обработка данных, а также модели нейронных сетей, основанные на алгоритмах глубокого обучения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан алгоритм определения состояния подземных вод на основе обработки гидродинамических данных в распределённых системах с использованием мультимодальных transformer-моделей;

разработан алгоритм обработки изображений, полученных системами дистанционного зондирования, на основе моделей SegFormer и определения изменений состояния поверхностных вод;

разработан алгоритм выявления взаимосвязи данных, полученных из спутниковых и гидрогеологических систем;

спроектирована структура программного комплекса и разработан его интерфейс для определения взаимного влияния данных, полученных из поверхностных и подземных водных бассейнов в геологических распределённых системах.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе разработанных мультимодальных transformer-алгоритмов создана возможность оперативной и высокоточной оценки состояния подземных вод посредством цифровой обработки гидродинамических данных;

в результате обработки изображений, полученных системами дистанционного зондирования, на основе моделей SegFormer повышена эффективность автоматического определения и мониторинга динамики изменений поверхностных водных бассейнов;

на основе выявления взаимосвязи данных, полученных из спутниковых и гидрогеологических систем, расширены возможности комплексного анализа и прогнозирования состояния водных ресурсов;

посредством программного комплекса, осуществляющего интегрированную обработку данных о поверхностных и подземных водных

бассейнах, достигнута автоматизация процессов мониторинга, анализа и принятия решений в гидрогеологических процессах;

разработанный программный комплекс обеспечил возможность централизованного управления большими объёмами данных в геологических распределённых системах, их визуального анализа и представления результатов на основе удобного пользовательского интерфейса.

Достоверность результатов исследования подтверждается корректностью представленных алгоритмов, результатами тестирования, апробацией предложенных в диссертации алгоритмов и методов в печатных изданиях и докладах на международных научных конференциях, а также экспериментальными исследованиями и внедрением разработанного программного средства в практическую деятельность.

Научная и практическая значимость результатов исследования заключается в повышении эффективности прогнозирования состояния подземных вод на основе гидрогеологических данных с использованием алгоритмов, разработанных на базе мультимодальных transformer-методов. Разработанное и усовершенствованное программное средство позволяет выявлять взаимосвязь изменений подземных вод, полученных из данных Государственного учреждения «Узбекгидрогеология», с изменениями водных бассейнов на изображениях, полученных методом дистанционного зондирования, а также повышать эффективность прогнозирования состояния подземных вод на основе анализа данных изображений.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных при разработке интеллектуальных алгоритмов и программного комплекса цифровой обработки данных в гидрогеологических системах:

программное обеспечение анализа имеющихся данных о водных ресурсах на основе нейронных сетей и математические модели восстановления данных внедрены в практику акционерного общества «Musaffo obi hayot magistral suv ta’minoti» (акт АО «Musaffo obi hayot magistral suv ta’minoti» от 1 октября 2024 года). Это позволило быстро и с высокой точностью анализировать большие объёмы данных, обработка которых требует длительных вычислений, оценивать гидрохимическое состояние водных ресурсов без влияния человеческого фактора, выявлять аномальные зоны, а также повысить точность данных на 21 %;

гибридные алгоритмы анализа данных на основе нейронных сетей и математические модели восстановления данных внедрены в практику Отдела водопроводных сетей Чиланзарского района города Ташкента (акт Отдела водопроводных сетей Чиланзарского района от 15 октября 2024 года). Это позволило оценивать гидрохимическое состояние водных ресурсов без

субъективного подхода, выявлять аномальные зоны, восстанавливать многомерные данные, а также повысить точность математической модели исследуемой территории на 21 %;

алгоритм определения состояния подземных вод на основе обработки гидродинамических данных в распределённых системах с использованием мультимодальных трансформерных моделей внедрён в деятельность государственного учреждения «Узбекгидрогеология» (справка Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан № 08-4411 от 20 ноября 2025 года). Это позволило быстро и с высокой точностью анализировать большие объёмы гидрогеологических данных, оценивать гидрогеохимическое состояние подземных вод и выявлять их аномальные зоны без субъективного влияния человеческого фактора;

алгоритм обработки изображений, полученных с систем дистанционного зондирования, на основе моделей SegFormer и определения изменений состояния поверхностных вод внедрён в деятельность государственного учреждения «Узбекгидрогеология» (справка Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан № 08-4411 от 20 ноября 2025 года). Это позволило оценивать состояние поверхностных водоёмов на основе обработки изображений дистанционного зондирования и формировать исходные данные для прогнозирования изменений подземных вод;

алгоритм определения взаимосвязи данных, полученных со спутниковых и гидрогеологических систем, внедрён в деятельность государственного учреждения «Узбекгидрогеология» (справка Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан № 08-4411 от 20 ноября 2025 года). Это позволило повысить точность прогнозирования изменений подземных вод на основе изображений дистанционного зондирования на 21 %;

программный комплекс, разработанный для определения взаимовлияния данных, полученных с поверхностных и подземных водных объектов в геологических распределённых системах, внедрён в деятельность государственного учреждения «Узбекгидрогеология» (справка Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан № 08-4411 от 20 ноября 2025 года). Математическая модель, построенная с помощью программы, позволила восстанавливать многопараметрические гидрогеологические данные в геологической среде объекта исследования.

Апробация результатов исследования. Результаты настоящего исследования прошли апробацию на 13 научно-практических конференциях, в том числе на 3 международных конференциях, индексируемых в базе Scopus,

на 4 международных и на 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы. В том числе 6 статей опубликованы в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан (из них 1 в зарубежном и 5 в республиканских журналах), и 3 статьи в материалах международных конференций, индексируемых в базе Scopus. Кроме того, сделаны доклады на 3 международных и 8 республиканских научно-практических конференциях, а также получено 5 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, перечня условных обозначений и терминов, а также приложений. Общий объём диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации обоснованы актуальность и необходимость темы исследования, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования, установлено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, представлены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость работы, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, апробации работы, опубликованных научных трудах и структуре диссертации.

Первая глава диссертационной работы под названием **«Современные методы и анализ оценки изменений состояния подземных вод»** состоит из четырёх разделов и выводов по главе. В данной главе при оценке состояния подземных вод комплексно применены классические статистические и геостатистические методы, а также технологии искусственного интеллекта - подходы data mining, машинного и глубокого обучения. В результате проведённых исследований на примере Ташкентского водного бассейна была обоснована научно-практическая эффективность гибридных моделей для выявления и прогнозирования изменений водного потока, уровня и химического состава подземных вод.

В первом разделе был изучен процесс интеллектуального анализа данных, включающий этапы извлечения данных, их понимания, подготовки и очистки.

Проведён анализ данных подземных вод на территории Узбекистана, исследованы уровень изменчивости гидрогеологических данных и их особенности.

Для определения состояния запасов поверхностных вод выполнен анализ методов сегментации изображений, полученных методом дистанционного зондирования с использованием аппаратов Landsat, включая семантическую, паноптическую и instance-сегментацию.

Изучены традиционные и современные методы обработки гидрогеологических данных, при этом на основе сравнительного анализа установлено, что современные методы искусственного интеллекта обладают более высокой эффективностью при решении существующих задач. В частности, выявлена широкая возможность применения моделей машинного обучения, таких как линейная регрессия, KNN, деревья решений, алгоритмы случайного леса в задачах контролируемого обучения, а также k-means, методы глубокого обучения и transformer-модели для определения запасов подземных и поверхностных вод.

Во второй части первой главы - «Анализ данных, полученных из гидрогеологических параметров подземных вод» - с научной точки зрения были исследованы гидрогеологические условия Ташкентского артезианского бассейна.

По результатам исследования установлено, что подземные воды региона распространены в отложениях различных геологических периодов, а уровень их минерализации и солёности различается в зависимости от водоносных горизонтов. В верхнечетвертично-современных аллювиальных слоях минерализация составляет 0,7–2,0 г/л, в верхнеплиоценовых слоях - 1,6–9,5 г/л.

Миоценовые и среднеэоценовые слои характеризуются напорными водами, при этом уровень минерализации составляет соответственно 0,6–59,7 г/л и 0,6–2,8 г/л. В палеоценовых слоях минерализация достигает 2,3–11,0 г/л. Верхнемеловой нижнетуронский горизонт выполняет функцию регионального водоупора. В верхнемеловых сеноманских, нижнемеловых альбских, а также неоком-аптских водоносных горизонтах минерализация в основном находится в пределах 0,5–2,2 г/л. Солёность вод палеозойских пород составляет 6,4 г/л, а трещинно-карстовые воды связаны с девонскими и каменноугольными известняками.

В третьей части первой главы проведён комплексный анализ современных моделей искусственного интеллекта, их формальной структуры и вычислительных процессов. Были научно исследованы алгоритмы машинного обучения. В данном разделе рассмотрены особенности практического применения каждого алгоритма.

В четвёртой части первой главы были рассмотрены методы сегментации изображений, полученных методом дистанционного зондирования, для оценки изменений состояния подземных вод. В частности, обработка изображений, полученных методом зондирования, осуществлялась с

использованием методов семантической, паноптической и instance-сегментации.

Изображение представлено в формате RGB, то есть каждый пиксель состоит из трёх компонентов:

$$I(x, y) = [R(x, y), G(x, y), B(x, y)], \quad (1)$$

где R, G, B $\in$ [0,255]. Данное изображение используется в качестве основного источника данных для семантической сегментации, поскольку оно содержит спектральные, радиометрические и текстурные характеристики исследуемых территорий. Необходимость использования исходного изображения обусловлена тем, что оно является отправной точкой для последующих этапов анализа цвета, HSV-конверсии и операций маскирования. Без данного этапа модуль сегментации не способен корректно идентифицировать данные.

В задачах анализа земного покрова (land-cover) и дистанционного зондирования, особенно при необходимости оценки долей классов, баланса площадей и анализа тематической динамики во времени, семантическая сегментация с практической точки зрения является наиболее оптимальным выбором. При необходимости поверх семантической основы могут быть дополнительно реализованы instance- или panoptic-сегментация в качестве функционального расширения.

Во второй главе диссертации под названием «Интеллектуальные модели и программно-аппаратные решения для цифровой обработки гидрогеологических данных» рассмотрены этапы сбора и первичной обработки данных, полученных из запасов подземных вод (рис.1), а также разработан набор данных, представленный в следующей таблице (таблица 1).

Таблица 1. Изменение водно-солевого потока подземного водного бассейна.

Гидрогеологический год	1	1936 / 1937		/1938		/1939	
W_1/W_2	2	6,3	4,7	5,7	3,9	6,2	4,7
C_1/C_2	3	0,2	0,276	0,15	0,231	0,14	0,247
S_1/S_2	4	1,26	1,3	0,85	0,9	0,87	1,16
α/θ	5	0,74	1,03	0,68	1,06	0,76	1,33
$C_{тр}/C_{воз}$	6	0,2	0,076	0,15	0,081	0,14	0,107
$\omega_{тр}/\omega_{воз}$	7	0,724	0,275	0,649	0,351	0,567	0,433
$W_{тр}/W_{воз}$	8	3,4	1,3	2,53	1,37	2,66	2,04
$S_{тр}/S_{воз}$	9	0,68	0,62	0,38	0,52	0,373	0,787
$C_{воз}$	10	0,477		0,38		0,385	
$W_{вд}/W_z$	11	2,9	1,6	3,17	1,8	3,54	1,5
$S_{вд}/S_z$	12	0,58	0,32	0,475	0,27	0,495	0,21

α_2/θ_2	13	0,448	1,172	0,432	1,93	0,576	1,59
$C_{сб}/C_{ГВ}$	14	0,2	0,277	-0,15	0,23	-0,14	0,245
$\omega_{сб}/\omega_{ГВ}$	15	0,419	0,581	0,395	0,605	0,354	0,535
$W_{сб}/W_{ГВ}$	16	0,545	0,755	0,545	0,829	0,742	1,298
$C_{ГВ}/C_{сб}$	17	0,677	0,2	0,529	0,15	0,526	0,14
$S_{ГВ}/S_{сб}$	18	0,511	0,109	0,438	0,082	0,683	0,104
$S^1_{ВОЗ}$ ($S_{ГВ}$ + $S_{сб}$)	19	0,62		0,52		0,787	
$S_{ГВ1}/W_{ГВ}$	20	0,436	1,685	0,227	1,919	0,429	2,253
$C_{ГВ.1}$	21	0,259		0,118		0,19	

Во втором разделе данной главы при обработке данных, полученных из запасов подземных вод, были рассмотрены модели и архитектуры глубокого обучения, в частности модели семейства RNN - LSTM, LSTM multiple, GRU, GRU multiple, а также transformer-модели. Архитектура каждой модели была адаптирована к особенностям гидрогеологических данных.

Преимуществом transformer-моделей является эффективное формирование глобального контекста, возможность полностью параллельного обучения, гибкость при работе с многомодальными данными (текст + сенсорные данные + изображения), а также высокая эффективность благодаря экосистеме pretrain–fine-tune. Данные модели способны охватывать длинные зависимости без пошагового рекуррентного прохождения и быстрее обучаются на больших объёмах данных.

Однако ограничением является то, что затраты памяти и времени для карты внимания T^2 могут стать сдерживающим фактором при обработке длинных последовательностей. Кроме того, большое количество параметров на небольших наборах данных повышает риск переобучения и требует применения тщательной регуляризации и data-efficient обучения.

При работе с большими и гетерогенными данными, например в задачах NLP, связанных с пониманием и генерацией текстов с длинным контекстом, а также при использовании текстовых описаний или журналов управления совместно с потоками сенсорных данных, возникает необходимость применения мультимодальных сценариев. В подобных случаях пространственные признаки, извлечённые из изображений дистанционного зондирования с помощью CNN, объединяются с временными зависимостями посредством механизма self-attention.

В гидро- и геологическом мониторинге, например при прогнозировании изменений на основе результатов сегментации спутниковых изображений (водная поверхность, зоны засоления) совместно с потоками данных наземных сенсоров (осадки, испарение, расход воды), Transformer способен удерживать глобальные взаимосвязи и обеспечивать устойчивую интерпретацию даже в периоды смены режимов.

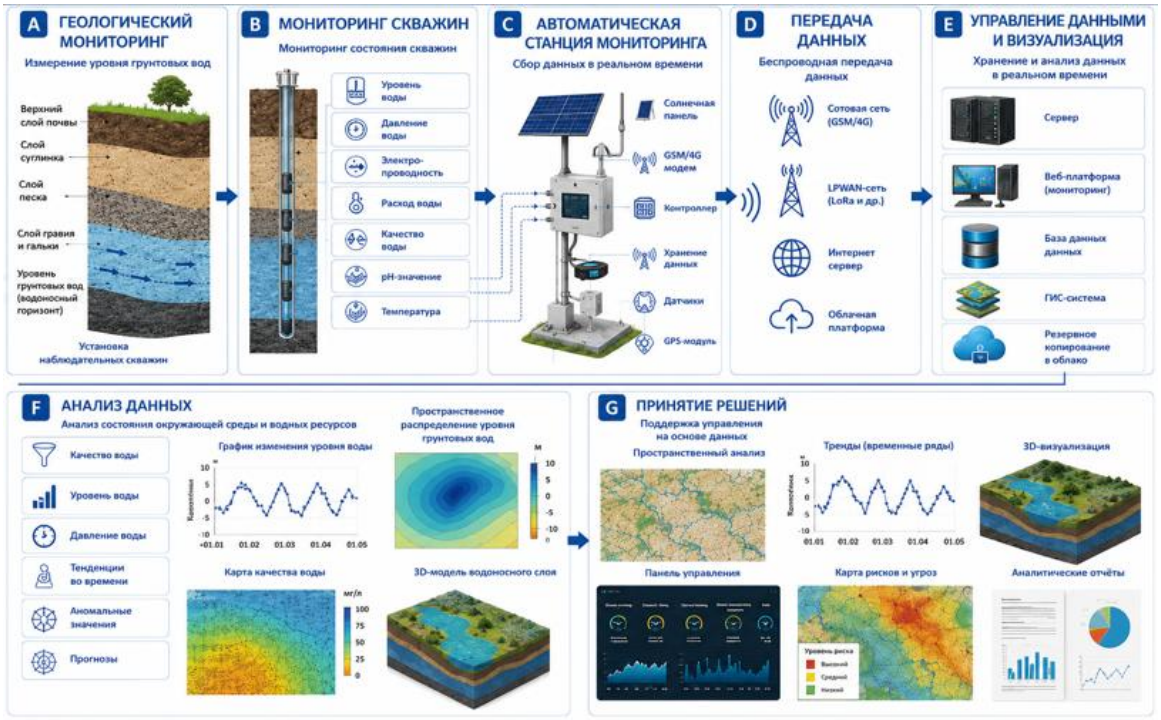


Рисунок 1. Процесс получения гидродинамических данных подземных вод.

При необходимости работы в реальном времени модель может быть адаптирована для практического применения с использованием сжатых версий (distillation, quantization) и ускорителей механизма внимания. В свою очередь, масштабное офлайн-обучение позволяет максимально эффективно использовать параллелизм вычислений и достигать высокой точности.

Таким образом, Transformer представляет собой подход, основанный на механизме self-attention, обеспечивающем «одновременный обзор всей последовательности». При грамотном управлении вычислительными ресурсами он становится наиболее эффективным инструментом для обработки больших, длинных и многомодальных последовательностей данных.

В третьем разделе данной главы с использованием transformer-моделей были выполнены сбор, сегментация и анализ изображений, полученных из данных о запасах поверхностных вод.

В последние годы transformer-архитектуры демонстрируют высокую эффективность при высокоточной сегментации изображений природной среды. В предыдущих исследованиях в основном проводилась сегментация источников поверхностных вод, однако взаимосвязь изменений запасов подземных вод изучена недостаточно. Исходя из этого, в первую очередь был проведён анализ моделей сегментации изображений.

Полученные результаты показали, что модель SegFormer обладает более высокой точностью при определении объёма запасов поверхностных вод по изображениям, полученным методом дистанционного зондирования, по сравнению с моделями U-Net и DeepLabv3+ [1]. На основе анализа моделей установлено, что использование SegFormer-B0 для анализа резкого

сокращения запасов поверхностных вод позволяет прогнозировать снижение уровня подземных вод в аналогичных и близлежащих территориях.

Согласно результатам, модель U-Net продемонстрировала 76,5 % IoU и 83,2 % accuracy, модель DeepLabv3+ - 80,7 % IoU и 89,3 % accuracy. Наилучшие результаты были получены с использованием модели SegFormer-B0, где показатель IoU составил 87,3 %, F1-score - 0,89, а accuracy - 93,2 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что модель SegFormer-B0 является наиболее подходящей для обработки гидрогеологических данных (рис. 2).

Третья глава диссертации посвящена теме «Разработка алгоритмов определения и прогнозирования процессов изменения уровней подземных вод на основе нейронных сетей».

В данной главе рассмотрены этапы сбора и первичной обработки данных, полученных из запасов подземных вод.

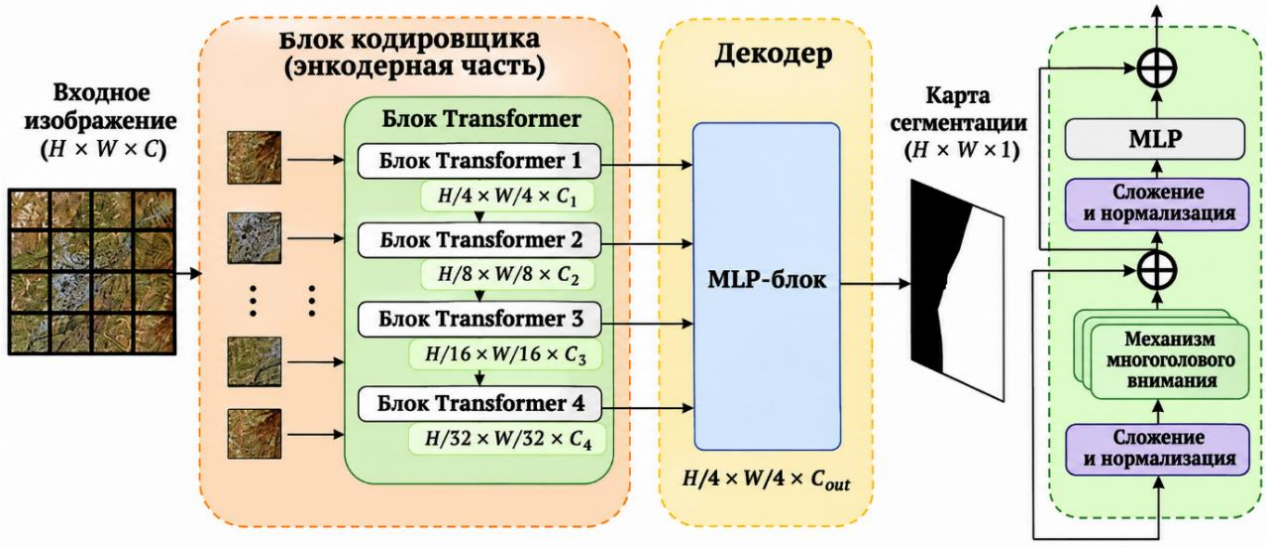


Рисунок 2. Этапы обработки изображений, полученных со спутниковых снимков, в архитектуре SegFormer.

В исследовании 922 мультиспектральных изображения были переданы в модель SegFormer, на основе которой выполнена сегментация водных и сухих территорий (рисунок 2).

В процессе обучения модели в качестве функции потерь использовалась комбинация Cross Entropy, что позволило повысить эффективность точного выделения водных объектов. В процессе оптимизации был выбран оптимизатор AdamW, при этом скорость обучения установлена на уровне 1e-4. Обучение модели проводилось в течение 50–100 эпох с использованием batch размером 8–12.

В результате прогнозирования были получены следующие результаты. В 2022 году площадь водной поверхности составляла 512,4 км², а в 2025 году - 412,1 км². На основе полученных результатов был выполнен прогноз на 2026 год с использованием модели SegFormer, согласно которому площадь водной поверхности составит 390,05 км².

При этом общее сокращение площади в период 2020–2025 годов составило 19,57%. В период 2020–2026 годов общее снижение достигло 23,88%, а среднегодовой темп уменьшения может составить около 3,915%.

В данном исследовании на основе модели SegFormer был проведён анализ изображений, полученных методом дистанцион ного зондирования, с целью определения состояния источников подземных вод и прогнозирования их изменений на последующие годы. В ходе исследования были проанализированы изображения за период 2020–2025 годов, выявлена линейная тенденция изменения площади водной поверхности и выполнен прогноз сокращения запасов подземных вод на 2026 год (рис.3).

В 2020 году площадь территории, покрытой водой, составляла 512,4 км², тогда как в 2025 году данный показатель снизился до 412,1 км². Согласно линейному прогнозу модели SegFormer, в 2026 году площадь сократится до 390,05 км². Эти результаты свидетельствуют о снижении площади водных ресурсов на 19,6 % в период 2020–2025 годов и на 23,9 % в период 2020–2026 годов. Среднегодовой темп сокращения составляет около 3,9 %.

При этом наблюдалось значительное сокращение зон, покрытых водой, в период с 2025 по 2026 год, а также увеличение площади суши. Данное явление, вероятно, связано со снижением количества осадков, повышением температуры и нарушением естественного баланса подземных вод.

Полученные результаты показывают высокий потенциал применения модели SegFormer в системах геологического, гидрологического и гидрогеологического мониторинга.

Следующим этапом является корреляционный анализ, при котором тепловая карта наглядно отображает степень линейной взаимосвязи между парами параметров и играет ключевую роль в научном обосновании проектирования модели (рис.4).

На следующем этапе выполняется нормализация данных, для которой в рамках данного исследования наиболее целесообразным признан метод min-max нормализации. Нормализация применяется отдельно для каждого столбца данных и вычисляется по следующей формуле:

$$x^{norm} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

В ходе исследования на основе предложенного алгоритма было выполнено прогнозирование состояния гидрогеологических данных на 2050 год с использованием модели LSTM. Наблюдалось, что ошибка обучения составила 0,048, а точность обучения достигла 95 %, однако в модели LSTM не были выявлены колебания параметров по годам.

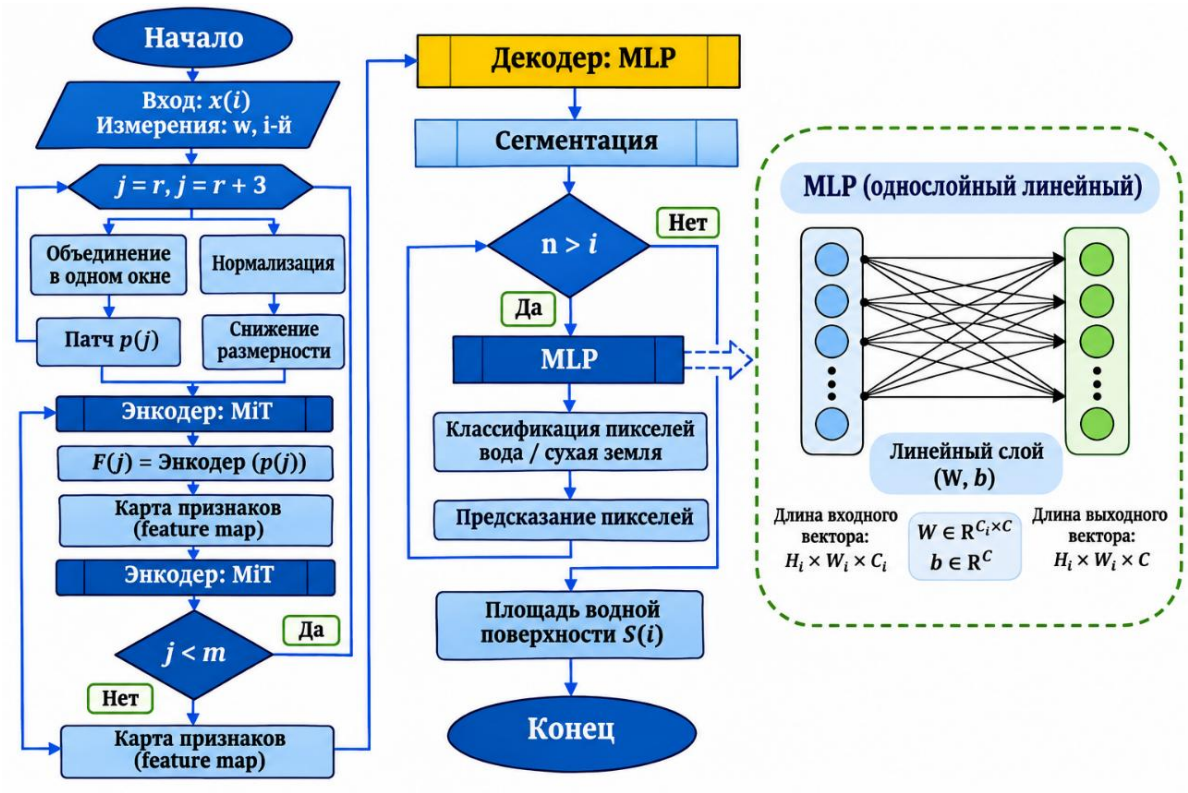


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма приёма и первичной обработки спутниковых изображений.

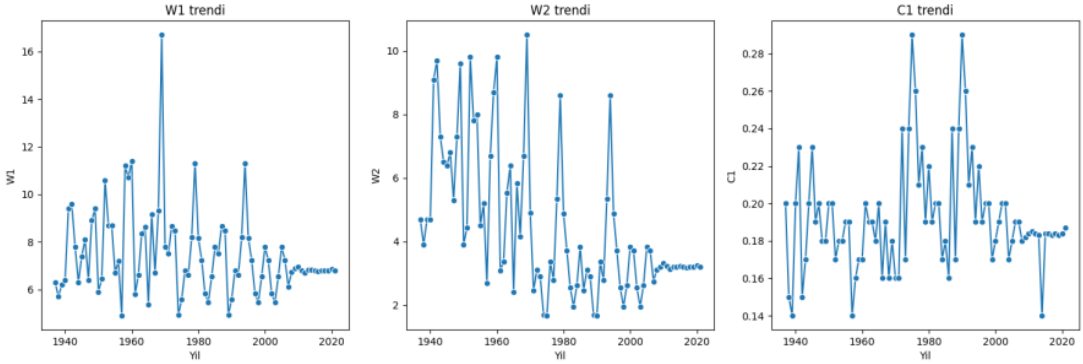


Рисунок 4. Годовые изменения многомерных трендовых панелей гидро(химических) параметров.

Затем в процессе применения модели LSTM multiple ошибка обучения была снижена до 0,0013, а точность обучения увеличилась до 97,99 %.

С использованием ещё одной модели семейства RNN - GRU - также было выполнено прогнозирование состояния параметров гидрогеологических данных до 2050 года, при этом удалось снизить ошибку обучения до 0,0341 и повысить точность обучения до 96,59 %. Далее для модели GRU multiple показатели ошибки обучения и точности составили соответственно 0,0012 и 97,99 %.

Третий раздел данной главы посвящён теме «Разработка алгоритма прогнозирования уровня подземных вод с использованием transformer-моделей». В данном разделе на основе выбранной multiple transformer-модели был разработан алгоритм прогнозирования состояния параметров подземных вод до 2050 года.

В представленной ниже блок-схеме показан процесс прогнозирования будущего состояния гидрогеологических данных на основе transformer-модели (рис. 5). Полученные после вычислительных этапов результаты представлены в табличной форме..

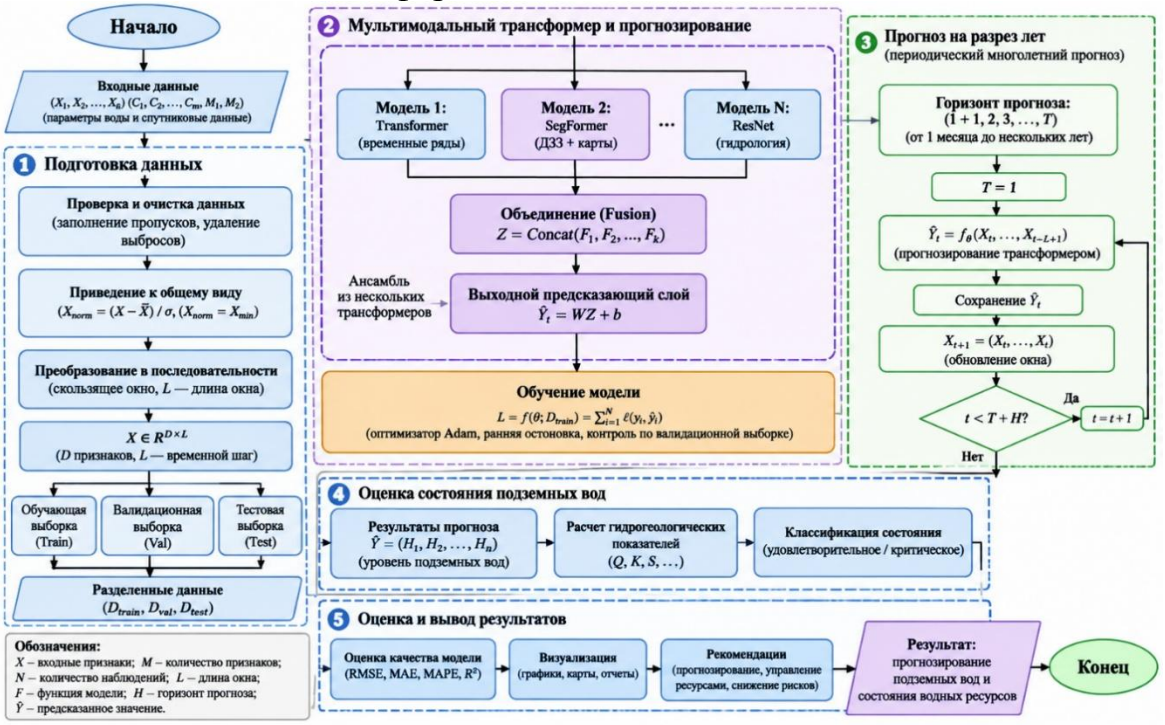


Рисунок 5. Алгоритм прогнозирования состояния гидрогеологических данных на 2050 год с использованием мультимодальной transformer-модели.

С использованием разработанного алгоритма были определены значения изменений гидрогеологических данных до 2050 года, а также построены соответствующие графики.

Таблица 2. Прогнозируемые с помощью transformer-модели значения dataset (w1, w2, C1, C2) за период 2022–2051 гг.

Показатель	2026	...	2048	2049	2050	2051
W1	6.631911	...	6.366868	6.346812	6.351524	6.397002
W2	3.345176	...	3.411082	3.388442	3.398014	3.456867
C1	0.175753	...	0.175852	0.175882	0.175877	0.176154
C2	0.896441	...	0.883350	0.883794	0.883263	0.879687

Затем была разработана блок-схема алгоритма, определяющего взаимосвязь между изображениями, полученными методом дистанционного зондирования поверхности Земли с использованием аппарата Landsat, и данными подземных вод (рисунок 6).

В данной блок-схеме представлен процесс анализа состояния поверхностных и подземных вод на основе спутниковых изображений и мультимодальных данных. На первом этапе в качестве входных данных принимаются спутниковые изображения, а также гидрохимические, гидродинамические и климатические данные. На следующем этапе данные нормализуются и приводятся к формату, пригодному для обработки моделью.

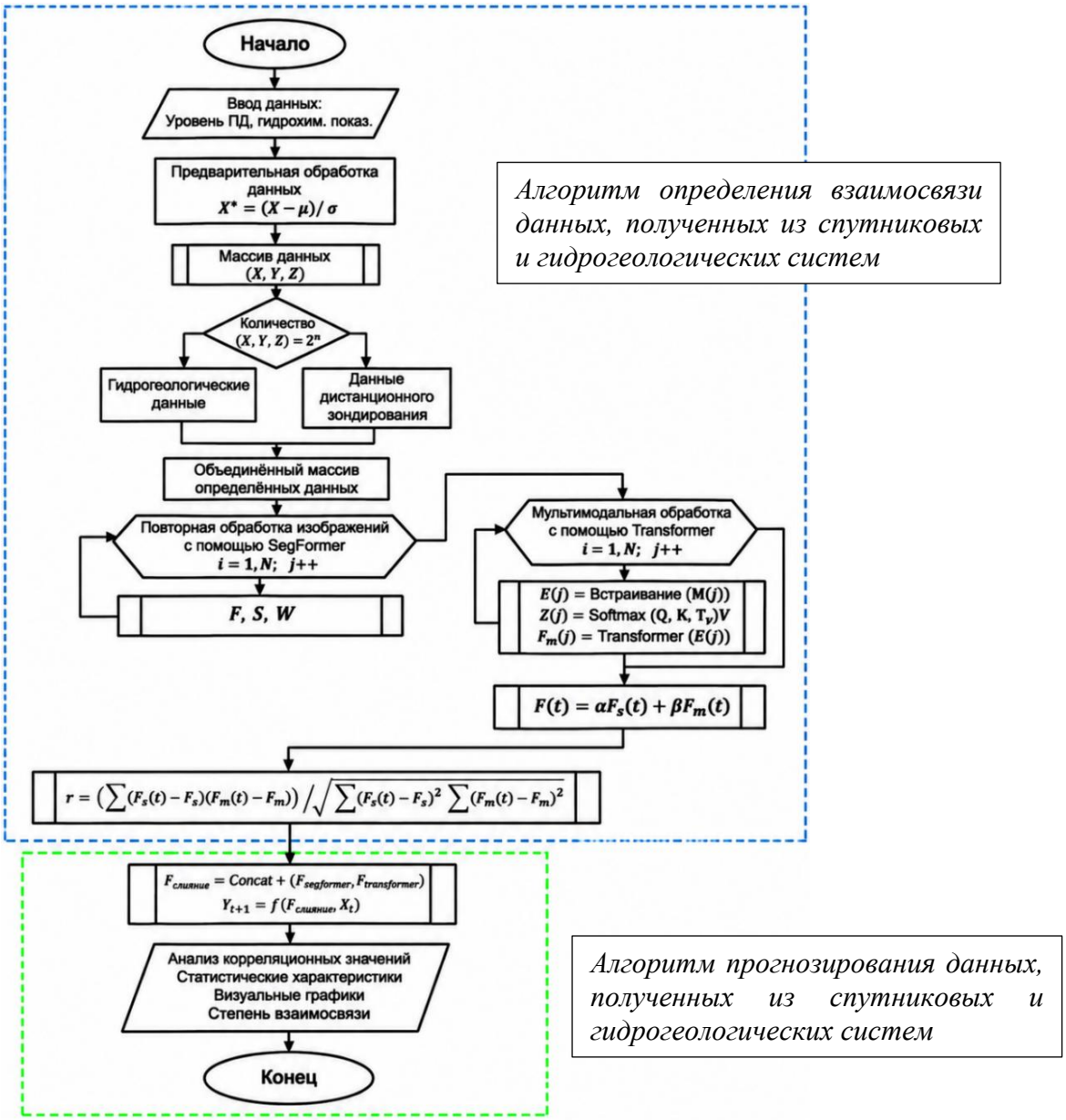


Рисунок 6. Алгоритм определения корреляции между признаками, полученными на основе SegFormer и Multimodal Transformer.

Затем изображения обрабатываются с помощью модели SegFormer, в результате чего извлекаются глубокие признаки и формируются водные маски. Параллельно с использованием мультимодальной transformer-модели посредством embedding и механизмов self-attention извлекаются важные признаки из дополнительных данных. Полученные признаки объединяются, после чего взаимосвязь между ними оценивается с помощью коэффициента корреляции. В итоге определяется степень взаимосвязи, а результаты представляются в виде значений корреляции, аналитических выводов и визуальных графиков.

Четвёртая глава диссертационной работы под названием «Создание комплекса на основе программных средств для восстановления и прогнозирования данных подземных вод и их экспериментальное исследование» состоит из трёх разделов и выводов по главе.

В первом разделе данной главы представлена структура разработанного программного комплекса. В общем виде программный комплекс включает три основные программы (модуля) (рис. 7,8):

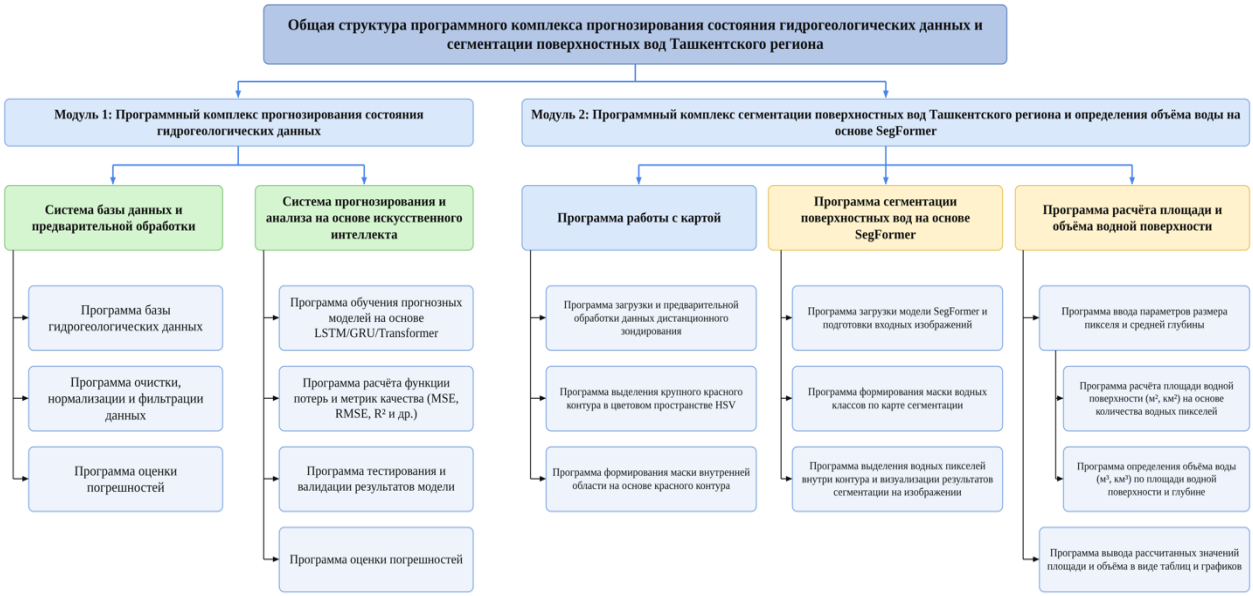


Рисунок 7. Структура программного комплекса.

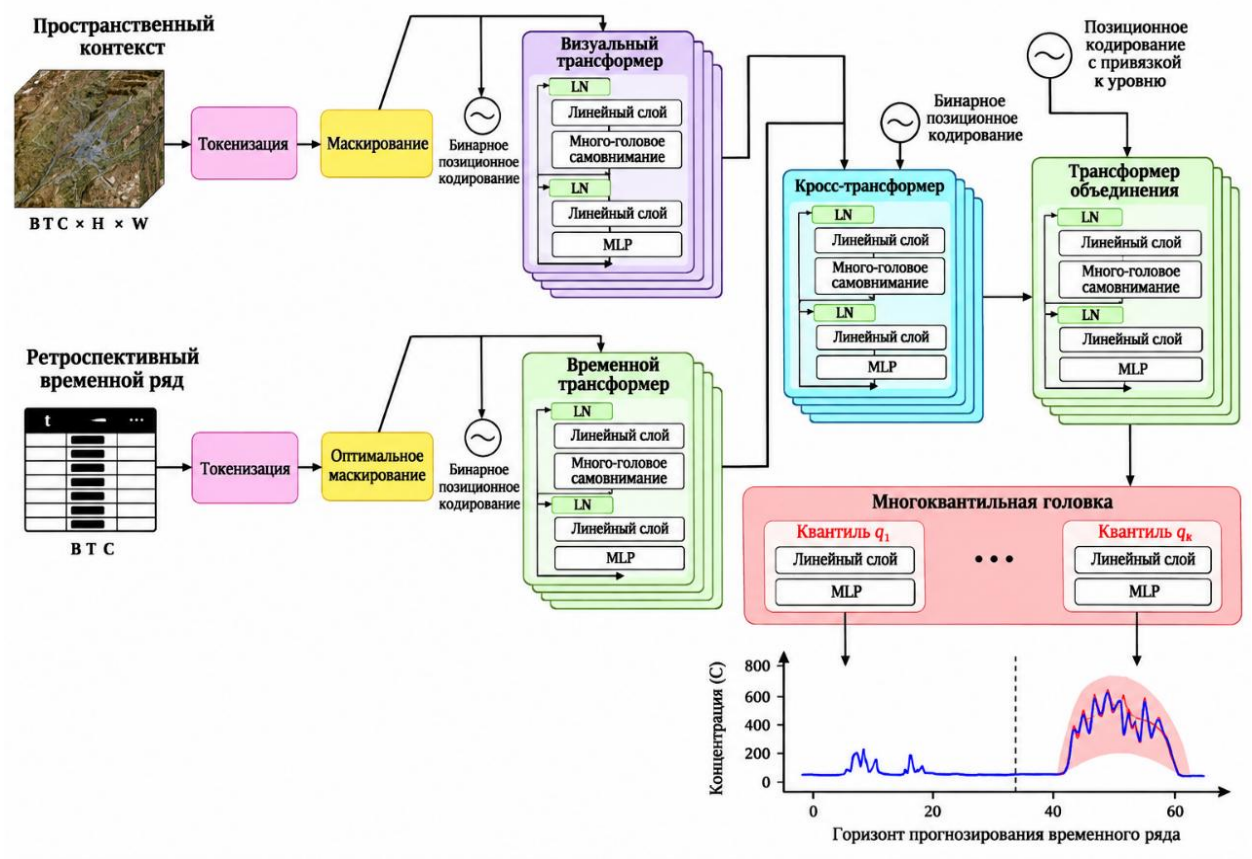


Рисунок 8. Структура определения взаимосвязи и влияния космических снимков и гидродинамических данных.

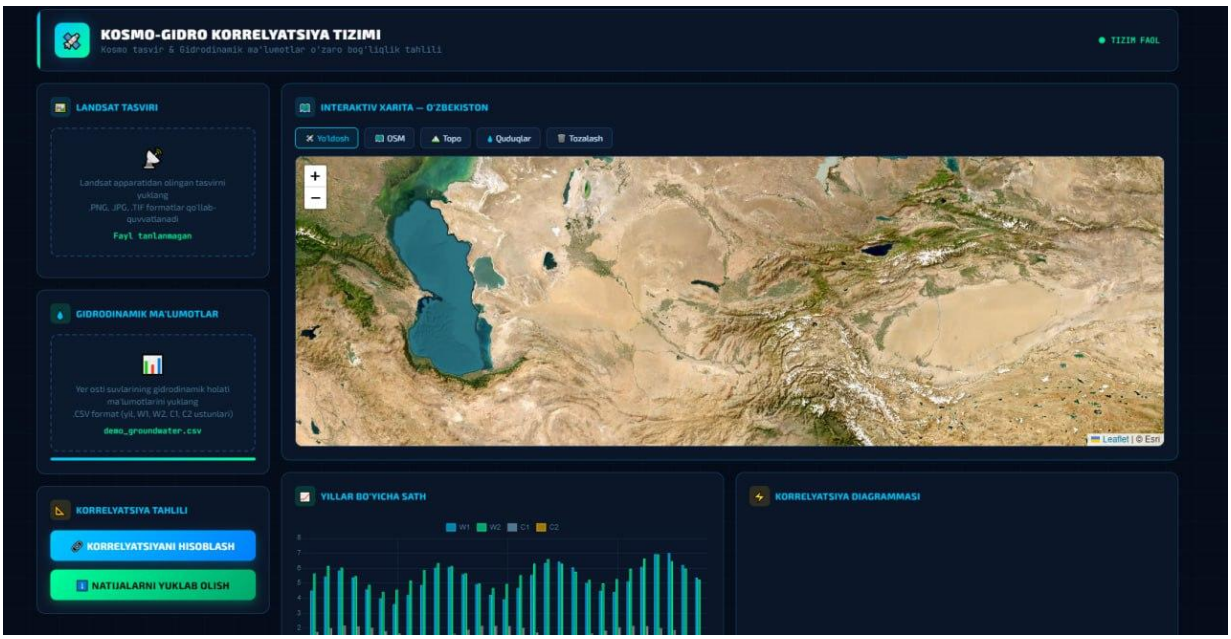


Рисунок 9. Графический интерфейс интеллектуальной системы мониторинга и анализа гидрогеологических данных с использованием модели SegFormer

В интерфейс загружается изображение запасов поверхностных вод, полученное методом дистанционного зондирования, после чего на основе предложенного алгоритма определяется его взаимосвязь с запасами подземных вод (рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведённых по диссертации на тему «Интеллектуальные алгоритмы и программный комплекс цифровой обработки данных в гидрогеологических системах», сделаны следующие выводы:

1. Проанализированы традиционные и современные методы, применяемые при цифровой обработке гидрогеологических данных. Установлено, что данные о подземных водах носят нелинейный характер и поступают из множества источников, поэтому статистические методы не позволяют обработать их с достаточной точностью. Проведено сравнение моделей машинного обучения, глубокого обучения и трансформеров. Обоснована целесообразность применения мультимодальной трансформерной модели для прогнозирования состояния подземных вод, а модели SegFormer — для выявления поверхностных водоёмов.

2. Разработан алгоритм определения состояния подземных вод на основе обработки гидродинамических данных в распределённых системах с использованием мультимодальных трансформерных моделей. Эксперименты с моделями LSTM и GRU показали, что эти модели теряют аномалии в изменениях подземных вод. Предложенный алгоритм сохраняет эти аномалии и позволил спрогнозировать изменение уровней и минерализации входящего и выходящего водных потоков Приташкентского региона на 2022–2050 годы с точностью 85–90 %.

3. Разработан алгоритм определения изменений состояния поверхностных вод путём обработки снимков Landsat, полученных с систем дистанционного зондирования, на основе модели SegFormer. При выделении площади водных объектов алгоритм достиг 87,3 % по метрике IoU, 0,89 по F1-score и 93,2 % по accuracy, что превышает результаты моделей U-Net и DeepLabv3+. Анализ показал, что площадь водной поверхности на исследуемой территории сократилась с 512,4 км² в 2020 году до 412,1 км² в 2025 году, т. е. на 19,6 %. По прогнозу, в 2026 году этот показатель уменьшится до 390,05 км².

4. Разработаны алгоритм определения взаимосвязи данных, полученных со спутниковых и гидрогеологических систем, а также пользовательский интерфейс. Данные нормализованы методом z-score, приоритетные параметры определены на основе тепловой карты корреляций. Установлено, что взаимосвязь между изменением запасов поверхностных вод и состоянием подземных вод составляет 61 %.

5. Спроектирована структура и разработан интерфейс программного комплекса для определения взаимного влияния данных, полученных с поверхностных и подземных водных объектов в геологически распределённых системах. Комплекс включает модули прогнозирования гидрогеологических

данных, расчёта площади и объёма водных объектов по космическим снимкам, а также определения взаимосвязи между ними. С помощью комплекса выполнен прогноз изменения параметров подземных вод на 2026–2050 годы. На разработанные программные средства получено 5 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

6. Разработанные алгоритмы и программный комплекс внедрены в практику Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (справка № 08-4411 от 20 ноября 2025 года). В результате обеспечена возможность оценивать гидрогеохимическое состояние подземных вод без участия человеческого фактора и выявлять аномальные зоны, а точность прогнозирования повышена на 21 %.

SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M AT TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHWARIZMI

DADAJONOVA ZILOLA BOTIRJON QIZI

INTELLIGENT ALGORITHMS AND SOFTWARE COMPLEX FOR DIGITAL DATA PROCESSING IN HYDROGEOLOGICAL SYSTEMS

05.01.04 – Mathematical and software of computers, complexes and computer networks

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON TECHNICAL SCIENCES

Tashkent – 2026

The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in Technical Sciences has been registered with the Higher Attestation Commission under the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under No. B2026.4.PhD/T7107.

The dissertation was carried out at the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

Dissertation abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Web page of the Scientific Council (www.tuit.uz) and on the information education portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz) are placed.

Scientific adviser:	**Maxmudjanov Sarvar Ulugbekovich** Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor
Official opponents:	**Nishanov Akhram Khasanovich** Doctor of Technical Sciences, Professor
	Khushvaqtov Saydulla Kholbazarovich Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Leading organization:	**Tashkent State Technical University named after Islam Karimov**

The defense of the dissertation will take place at 16:00 on Desember 14, 2026, at a meeting of the Scientific Council №. DSc.09/2025.27.12.T.01.01.M at Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. (Address: 108 Amir Temur Street, Tashkent 100084, Republic of Uzbekistan. Tel.: +998 71 238-64-43, Fax: +998 71 238-65-52, E-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation is available for review at the Information Resource Center of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi (registered under № 474). (Address: 108 Amir Temur Street, Tashkent 100084, Republic of Uzbekistan. Tel.: +998 71 238-65-44).

Abstract of the dissertation sent out on 26.11. 2026 y.
(mailing report № 32 on 26.11. 2026 y.).

M.M. Musayev
Chairman of the scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, professor

E.Sh. Nazirova
Scientific secretary of scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, professor

Dj. B. Sultanov
Chairman of the academic seminar under the scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, associate Professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The purpose of the research is to develop intelligent algorithms and a software system for digital data processing in hydrogeological systems.

The object of the research is the hydrogeological and hydrodynamic processes of groundwater, as well as the changes occurring under the influence of natural and anthropogenic factors.

The scientific novelty of the research is as follows:

- an algorithm for determining the state of groundwater based on the processing of hydrodynamic data in distributed systems using multimodal transformer models has been developed;
- an algorithm for processing images obtained from remote sensing systems based on SegFormer models and for identifying changes in surface water conditions has been developed;
- an algorithm for identifying the interrelationships between data obtained from satellite and hydrogeological systems has been developed;
- the structure of a software system for determining the interaction between surface and groundwater basin data in geological distributed systems has been designed, and its user interface has been developed.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained in developing intelligent algorithms and a software package for digital data processing in hydrogeological systems:

the neural-network-based software for analyzing existing water resources data and the mathematical models for data recovery have been implemented in the practice of the joint-stock company “Musaffo obi hayot magistral suv ta’minoti” (Act of JSC “Musaffo obi hayot magistral suv ta’minoti” dated October 1, 2024). As a result, it became possible to analyze large volumes of data, which normally require lengthy computations, quickly and with high accuracy. It also became possible to assess the hydrochemical state of water resources without the human factor, to identify anomalous zones, and to increase data accuracy by 21%;

the neural-network-based hybrid algorithms for data analysis and the mathematical models for data recovery have been implemented in the practice of the Water Networks Department of Chilanzar District, Tashkent City (Act of the Water Networks Department of Chilanzar District dated October 15, 2024). As a result, it became possible to assess the hydrochemical state of water resources without a subjective approach, to identify anomalous zones, and to recover multivariate data. It also became possible to increase the accuracy of the mathematical model of the study area by 21%;

the algorithm for determining the state of groundwater by processing hydrodynamic data in distributed systems using multimodal transformer models has been implemented in the activities of the State Institution “Uzbekgidrogeologiya” (Reference No. 08-4411 of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan dated November 20, 2025). As a result, it became possible to analyze large volumes of hydrogeological data quickly and with high accuracy. It

also became possible to assess the hydrogeochemical state of groundwater without a subjective human approach and to identify its anomalous zones;

the algorithm for processing remote sensing images based on SegFormer models and for determining changes in surface water has been implemented in the activities of the State Institution “Uzbekgidrogeologiya” (Reference No. 08-4411 of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan dated November 20, 2025). As a result, it became possible to assess the state of surface water bodies by processing remote sensing images. It also became possible to generate initial data for forecasting groundwater changes;

the algorithm for determining the correlation between data obtained from satellite and hydrogeological systems has been implemented in the activities of the State Institution “Uzbekgidrogeologiya” (Reference No. 08-4411 of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan dated November 20, 2025). As a result, it became possible to increase the accuracy of forecasting groundwater changes based on remote sensing images by 21%;

the software package developed to determine the interaction between data obtained from surface and groundwater bodies in geologically distributed systems has been implemented in the activities of the State Institution “Uzbekgidrogeologiya” (Reference No. 08-4411 of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan dated November 20, 2025). As a result, the mathematical model built with this software made it possible to recover multivariate hydrogeological data in the geological environment of the research object.

Publication of the research results. A total of 24 scientific works have been published on the topic of the dissertation. These include 6 articles in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan (1 in a foreign journal and 5 in national journals) and 3 articles in the proceedings of international conferences indexed in the Scopus database. In addition, presentations were given at 3 international and 8 national scientific and practical conferences, and 5 certificates of authorship were obtained for computer software.

Structure and scope of the dissertation.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, a list of symbols and terms, and appendices. The total volume of the dissertation is 117 pages.

The author considers it his pleasant duty to express his sincere gratitude to the scientific consultant, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kh.N. Zaynidinov for his many years of attention to the author’s research, for the hard work of consulting and evaluating the results he obtained

E’LON QILINGAN ISHLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I часть, I part)

1. Nurmurodov J. N., Dadajonova Z. B. Sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalangan holda yer osti boyliklari joylashgan konlarni tasniflash // “Al-Farg‘oniy avlodlari” elektron ilmiy jurnali. Farg‘ona – 2025. – T. 1, № 2. – ISSN 2181-4252 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084105). (05.00.00; OAK Rayosatining 30.09.2023-yildagi 343-son qarori).
2. Jo‘rayev U. S., Nurmurodov J. N., Shermatova X. N., Dadajonova Z. B. Sun’iy intellekt asosida yer osti boyliklari konlarini aniqlash va tasniflash // Farg‘ona davlat texnika universiteti “Ilmiy-texnika jurnali”. – Farg‘ona, 2025. – Maxsus son № 10. – B. 132–135. – ISSN 2181-7200 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24083926). (05.00.00; № 20).
3. Dadajonova Z. B. Masofadan olingan yer usti suv havzalari tasvirlari orqali yer osti suvlarining o‘zgarishini sun’iy intellekt modeli yordamida bashorat qilish // Farg‘ona davlat texnika universiteti “Ilmiy-texnika jurnali”. – Farg‘ona, 2025. – Maxsus son № 10. – B. 124–131. – ISSN 2181-7200 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24083800). (05.00.00; № 20).
4. Dadajonova Z. B., Maxmudjanov S. U., Nurmurodov J. N. Prediction of Groundwater Basins Data Using Artificial Intelligence Models // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies. – 2025. – № 3s (21). – 7 p (DOI:10.61663/253stuitmct21). (05.00.00; OAK Rayosatining 30.07.2020-yildagi 283/7.1-son qarori).
5. Дадажонова З. Б., Махмуджанов С. У., Нурмуродов Ж. Н. Прогнозирование данных подземных водоносных бассейнов с использованием моделей искусственного интеллекта // Development of Science. – 2026. – Vol. 5, Issue 6 (июнь). – С. 36–49. – ISSN 3030-3907 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24083561). (05.00.00; ОАК Раёсатининг 12.02.2025 йилдаги 367-сон қарори).
6. Abdullaev B. D., Mingboyev Q. R., Umarova Z. M., Dadajonova Z. B., Dadajonov B. B. Factors Affecting the Hydrodynamic State of the Sokh Groundwater Deposit // World Bulletin of Social Sciences (WBSS). – 2023. – Vol. 29 (December). – P. 1–8. – ISSN 2749-361X (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084695). (05.00.00; IF–10.265).

II bo‘lim (II часть; Part II)

7. Nasibov B. R., Jurayev F. R., Israilov I. X., Abdullaev Bm. D., Odilova M. R., Dadajonova Z. B. Monitoring of land cover using satellite images on the example of the Fergana Valley of Uzbekistan // Journal of Innovations in Scientific and Educational Research. – Uzbekistan, 2022. – Vol. 1, Issue 12. – P. 84–93 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084991).
8. Abdullaev Bm. D., Dadajonova Z. B., Jurayev F. R. Up-to-date version of

the vision of the Pritashkent underground water basin // Journal of Innovations in Scientific and Educational Research. – Uzbekistan, 2022. – Vol. 1, Issue 12. – P. 82–84 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24085026).

9. Abdullaev B. D., Na K., Lee J., Shin D., Dadajonova Z. B. A study on utilization of artificial neural network for selecting enhanced oil recovery method // Geologiya fanlari universiteti xabarlari. – 2023. – № 2 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084472).

10. Abdullayev B. D., Nasibov B. R., Abdullayev Bm. D., Dadajonova Z. B., Dadajonov B. B. Qashqadaryo viloyatining sug‘oriladigan yerlarida yer osti suvlari sifatining o‘zgarishi monitoringi // Geologiya fanlari universiteti xabarlari. – 2024. – № 2 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084330).

11. Dadajonova Z. B., Abdullaev B. D., Zaynidinov X. N., Akbaraliev B. B., Nasibov B. R. Intellectual Processing of Hydrogeological Data // British Journal of Global Ecology and Sustainable Development. Ilford – 2024. – Vol. 32 (September). – ISSN (E): 2754-9291 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084165).

12. Dadajonova Z. B. Predicting groundwater level changes using an artificial intelligence model // Экономика и социум. – Rossiya Federatsiyasi, 2026. – № 3 (142). – 11 p. – ISSN 2225-1545 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24083463).

13. Akbaraliev B. B., Dadajonova Z. B. Ma’lumotlarni intellektual tahlilida tajribaviy tadqiqotlar uchun o‘quv va nazorat tanlanmalarini shakllantirish // “Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida AKT ahamiyati” respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari. – Toshkent, 2021. – II qism. – B. 380–382 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24085069).

14. Anarbekov O., Abdullaev B. D., Marti B., Umarova Z., Siegfried T., Dadajonova Z. B. Enhanced system understanding through water balance modeling in transboundary aquifers - case study from the Sokh Aquifer in Central Asia // ISARM-2021: Book of Abstracts of the 2nd International Conference “Transboundary Aquifers: Challenges and the Way Forward”. – Paris, 2021. – P. 78 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24085129).

15. Zaynidinov X. N., Ibragimov S. S., Abdullayev B. D., Abdullayev Sh. X., Dadajonova Z. B., Motorniy I. Creation of a Three-Dimensional Model of the Underground Layer Using Digital Processing of Signals Obtained from Field Geophysical Research // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT 2023). – Tashkent, 2023. – P. 511–516 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084884).

16. Zaynidinov X. N., Nurmurodov J. N., Dadajonova Z. B. Neyron tarmoqlarda bazis splaynlarni faollashtirish funksiyasi sifatida qo‘llash natijasida rudalar qatlamlarini bashoratlash // “Axborot xavfsizligi sohasida raqamlashtirish muammolari va istiqbollari” respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. – Toshkent, 17.05.2023 (https://doi.org/10.5281/zenodo.24084652).

17. Bakhramov S. A., Kobilov S. Sh., Dadajonova Z. B. High-Order Ryabenky Spline-Based Quadrature Formulas for the Numerical Integration of Gastroenterological Signals // AIP Conference Proceedings. – 2026. – Vol. 3447. – Article 020007 (DOI: 10.1063/12.0044012).

18. Kuchkarov M., Isakov K., Nazirov K. Kh., Dadajonova Z. B. Investigating the Relationship Between AI Adoption and Student Engagement in Higher Education // International Conference on Next-Generation Data Engineering and Analytics. – United Kingdom, 2026. – 22 p (https://doi.org/10.5281/zenodo.24083354).

19. Makhmudjanov S. U., Muratbaeva G. N., Dadajonova Z. B., Omurzakov B. K. Explainable AI for Academic Success Prediction in Smart Learning Environments // International Conference on Next-Generation Data Engineering and Analytics. – United Kingdom, 2026. – 21 p (https://doi.org/10.5281/zenodo.24082894).

20. Zaynidinov X. N., Abdullayev B. D., Dadajonova Z. B. Gidrogeologik muammolarni hal qilish uchun dasturiy ta’minot // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi, EHM uchun yaratilgan dasturga guvohnoma. – № DGU 31469. – 13.12.2023.

21. Zaynidinov X. N., Ibragimov S. S., Abdullayev B. D., Abdullayev Sh. X., Dadajonova Z. B. Elektr qarshiliklarning anomal zonalarini aniqlash va chuqurlikda tarqalishini uch o‘lchamli modellashtirish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi, EHM uchun yaratilgan dasturga guvohnoma. – № DGU 31467. – 19.12.2023.

22. Zaynidinov X. N., Abdullayev B. D., Dadajonova Z. B. Yer osti suvlarining oqimini monitoring qilish va suv sifatini modellashtirishda sun’iy neyron tarmog‘ining qo‘llanilishi tizimi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi, EHM uchun yaratilgan dasturga guvohnoma. – № DGU 37086. – 17.04.2024.

23. Azimova U. A., Dadajonova Z. B., Azimov B. R., Nurmurodov J. N., Tillyaboyev A. A., Muminov E. N., Toshqobilov Sh. E. Gidrogeologik ma’lumotlarni sun’iy intellekt texnologiyalari yordamida raqamli ishlov berish algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqish // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi, EHM uchun yaratilgan dasturga guvohnoma. – № DGU 51613.

24. Dadajonova Z. B., Maxmudjanov S. U., Nurmurodov J. N., Axmadaliyev B. B., Raxmanov M. A. Geologik taqsimlangan tizimlarda yer usti va yer osti suv havzalaridan olingan ma’lumotlarning o‘zaro ta’sirini aniqlash uchun dasturiy majmua // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi, EHM uchun yaratilgan dasturga guvohnoma. – № DGU 65328.

Avtoreferat “TATU XABARLARI” ilmiy-texnika va axborot-tahliliy tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.