TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

KUCHKOROV TEMURBEK ATAXONOVICH

GEOMA'LUMOTLAR VA MASOFADAN ZONDLASH TASVIRLARIGA RAQAMLI ISHLOV BERISH USULI, ALGORITMLARI VA DASTURIY MAJMUASINI ISHLAB CHIQISH

05.01.04 - Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti

TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent 2025

UDK: 004.42, 004.932

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

KUCHKOROV TEMURBEK ATAXONOVICH

GEOMA'LUMOTLAR VA MASOFADAN ZONDLASH TASVIRLARIGA RAQAMLI ISHLOV BERISH USULI, ALGORITMLARI VA DASTURIY MAJMUASINI ISHLAB CHIQISH

05.01.04 - Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti

TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent 2025

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.2.DSc/T786 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhammad 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 maslahatchi:	**Djumanov Jamoljon Xudaykulovich** texnika fanlari doktori, professor
Rasmiy opponentlar:	**Kabulov Anvar Vasilovich** texnika fanlari doktori, professor
	Muxamediyeva Dilnoz Tulkunovna texnika fanlari doktori, professor
	Babajonov Elmurod Satimbaevich texnika fanlari doktori, dotsent
Yetakchi tashkilot:	**Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "25" dekabr soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-89; faks: (+99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (385 - raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-65-44).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "03" dekabr da tarqatildi.
(2025-yil "01" 12 dagi 35 - raqamli reestr bayonnomasi).

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

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

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

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda so'ngi yillarda sun'iy yo'ldosh va uchuvchisiz uchish qurilmalari (UAV) orqali olingan multispektral, giperspektral tasvirlarga raqamli ishlov berish, sun'iy intellekt va geoaxborot texnologiyalaridan foydalanib, geointellektual amaliy dasturiy majmualarni ishlab chiqish iqtisodiyotning turli tarmoqlarida, jumladan atrof-muhitni kuzatish, ob-havoni prognozlash, shaharsozlikni loyihalash, transport hamda qishloq xo'jaligi kabi sohalarda muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, geoma'lumotlar va masofadan zondlash tasvirlarini intellektual tahlil qilish orqali qishloq xo'jaligi sohasida yerdan foydalanish, ekin maydonlarini masofadan aniqlash, tasniflash va kuzatish, ekin turlari bo'yicha monitoring olib borish, yerning qayta tiklanish potensiali indeksini hamda belgilangan hudud resurslardan foydalanishni bashorat qilish kabi masalalarni hal qilish ilmiy asos va amaliy yondashuvlarni talab qiladi. Shu bois rivojlangan mamlakatlarda ushbu sohada yangi usullar, algoritmlar va dasturiy majmualar yaratish ilgarilab bormoqda. Jumladan, masofadan zondlash ma'lumotlariga asoslangan ilovalarni ishlab chiqish, multispektral tasvirlar bilan ishlash va geoaxborot texnologiyalar asosida interaktiv geoportal ishlab chiqishda Yevropa davlatlaridan asosan Germaniya, Chexiya, Ispaniya va Shvetsariya, shu bilan birga Buyuk Britaniya, AQSH, Yaponiya, hamda Xitoy davlatlarida salmoqli ishlar va tadqiqotlar olib borilmoqda.

Jahonda ilmiy va nazariy jihatdan, raqamli ma'lumotlar infratuzilmasini shakllantirish bo'yicha masofadan zondlash va geoaxborot texnologiyalariga asoslangan matematik, algoritmik va dasturiy modellarini ishlab chiqish orqali geoma'lumotlarga ishlov berish jarayonini intellektuallashtirish tadqiqotlari olib borilmoqda. Bu borada, asosiy e'tibor sensor tarmoqlari va chuqur o'qitish algoritmlarini uyg'unlashishi masofadan zondlash tasvirlarini tahlil qilish jarayoniga tatbiq etish, katta hajmli fazoviy ma'lumotlar bilan ishlash hamda geointellektual tizimlar yaratish muhim masalalardan hisoblanadi.

Respublikamizda geoma'lumotlar va murakkab tuzilmaga ega bo'lgan masofadan zondlash tasvirlarini raqamli ishlashda sun'iy intellekt texnologiyalari, kompyuter ko'rish, avtomatlashtirilgan o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarga ishlov berish algoritmlari hamda geoaxborot texnologiyalarini tadbiq qilish orqali raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlari samaradorliginini oshirishga katta e'tibor qaratilmoqda. Bunda multispektral va giperspektral tasvirlarga dastlabki ishlov berish, masofadan zondlash tasvrilaridan foydalanib ekin maydonalari chegaralarini tanib olish, yerdan foydalanishni tasniflash va segmentlash kabilar asosiy vazifalar sifatida qaralgan. Shu bilan birga yuqori aniqlikdagi va murakkab tasvirlarga intellektual ishlov berish nazariyasini rivojlantirishda chuqur o'qitish, konvolyutsion neyron tarmoq arxitekturalari va modellarini takomillashtirish va geoma'lumotlarni taqdim etish uchun interaktiv geoportal ishlab chiqish hamda sohaga tadbiq qilish orqali raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini ko'rsatish samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkin.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 17 fevraldagi «Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-

tadbirlari to‘g‘risida»gi PQ-4996-sonli Qarorining[1] b bandida ustuvor tarmoqlar va sohalarda, shu jumladan qishloq xo‘jaligi sohasida yerni masofadan zondlash ma'lumotlari asosida tuproq va qishloq xo‘jaligi ekinlari holatini kuzatishda sun'iy intellekt texnologiyalarini qo‘llash, shu bilan birga mamlakatda qishloq va suv xo‘jaligi, ekologiya, shaharsozlik va boshqa sohalarning samaradorligini oshirish uchun yerni masofadan zondlash, navigasiya tizimlari sohasida faoliyat olib borish bo‘yicha O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 30 avgustdagi «O‘zbekiston Respublikasida kosmik faoliyatni rivojlantirish to‘g‘risida»gi PF-5806-sonli Farmonida[2] belgilangan vazifalarni bajarish hamda O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 2-avgustdagi «Qishloq xo‘jaligi sohasiga ilg‘or raqamli texnologiyalarni joriy qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PQ-257-son Qarorida[3] qishloq xo‘jaligi sohasiga ilg‘or raqamli texnologiyalarni keng joriy qilish orqali yer va suv resurslaridan samarali foydalanish, ekinlar holatini monitoring qilishning idoralararo axborot tizimlarini joriy etish yuzasidan qator vazifalar belgilangan. Bunda geoaxborot texnologiyalari va kosmik tasvirlarni tahlil qiladigan xizmatlarni ko‘rsatish platformasi joriy etish, qishloq xo‘jaligi mahsulotlari yetishtiruvchilar, klasterlarga ajratilgan ekin maydonlari va ekinlarni mustaqil ravishda multispektral kosmik tasvirlar tahlili asosida monitoring qilish, muammolarni erta aniqlash hamda hosildorlikni oshirish bo‘yicha tavsiyalar berish tizimini yaratish kabi asosiy vazifalar belgilangan.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. «Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish» ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi. Xorijiy tadqiqotchilar, oliy ta’lim muassasi professorlari, ilmiy tadqiqot institutlari yetakchi olimlari tomonidan sun’iy yoldosh orqali va uchuvchisiz uchish apparatlaridan olingan tasvirlar hamda raqamli qishloq xo‘jaligida geoma’lumotlar tahlil yo‘nalishlarida bir qancha ilmiy ishlar olib borishmoqda. Masalan, Scopus bazasi, SCImago portalida mavjud MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) ilmiy jurnallar bazasiga kiruvchi ilmiy nashrlarda oxirgi o‘n yillikda (2014-2024 yillarda) masofadan zondlash yo‘nalishida 30000 ga yaqin maqola[4], shundan 1000 tadan ko‘prog‘i tahliliy maqola, 26000 dan ortiq ilmiy maqola, o‘z navbatida geoaxborot texnologiyalari va geoma’lumotlar tahlili yo‘nalishida esa 11000 dan ko‘proq ilmiy maqola[5] chop qilingan bo‘lib, shundan 765 tasi tahliliy, 9873 tasi ilmiy maqola hamda 126 tasi ilmiy anjumanlarda chop qilingan tezislar hisoblanadi. Shundan ko‘rinib turibdiki, jahonda ushbu dissertatsiya mavzusi doirasida juda

---

[1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 17 fevraldagi “Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4996-sonli Qarori (https://lex.uz/docs/-5297046)

[2] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 30 avgustdagi “O‘zbekiston Respublikasida kosmik faoliyatni rivojlantirish to‘g‘risida”gi PF-5806-sonli Farmoni (https://lex.uz/en/docs/-4494500)

[3] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 2-avgustdagi “Qishloq xo‘jaligi sohasiga ilg‘or raqamli texnologiyalarni joriy qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PQ-257-son Qarori (https://lex.uz/uz/docs/-6553993?ONDATE=15.08.2025%2000)

[4] https://www.mdpi.com/search?q=remote+sensing&year_from=2014&year_to=2024

[5] https://www.mdpi.com/search?q=GIS&year_from=2014&year_to=2024

ko'plab ilmiy ishlar amalga oshirilmoqda, jumladan, Yevropa davlatlari, AQSH, Xitoy va Yaponiya olimlari mazkur yo'nalishda ilmiy tadqiqot olib borayotganlarning ko'pchilik qismini tashkil qiladi.

Xorijiy yetakchi olimlar, jumladan, Avstriya davlatining Vena texnologiyalar universiteti professori Dr. Wolfgang Wagner tomonidan masofadan zondlash tasvirlari va geoma'lumotlar asosida tuproq holati hamda yer yuzi gidrogeologik o'zgarishlarini monitoring qilish, AQSHning Kolumbiya universiteti yetakchi olim tadqiqotchisi Dr. Christopher Small tomonidan geoma'lumotlar tahlili, masofadan zondlash orqali tasniflashda spektral xususiyatlar va shaharsozlikni kuzatish, Janubiy Korolina universiteti professori Dr. John R. Jensen tomonidan atrof-muhitni monitoring qilish, Boston universiteti professori Dr. Magaly Koch tomonidan masofadan zondlash orqali gidrogeologik va geologik monitoring olib borish, suv resurslari va vegetatsiya jarayonini kuzatish, Shvetsariyaning Tyurix texnologiyalar federal universiteti professori Dr. Lars T. Waser tomonidan kosmik va UAV tasvirlari yordamida vegetatsiya jarayonini modellashtirish va kuzatish, ekinlar salomatligini kuzatish, o'rmonlar hamda atrof-muhit monitoringi, Chexiyaning Pragadagi tabiiy fanlar universiteti professori Dr. Jitka Kumhalova tomonidan esa Sentinel-2 va UAV tasvirlarini olish, tasvirlarga dastlabki raqamli ishlov berish, qishloq xo'jaligi ekinlarida vegitatsiya jarayoni kuzatish, tuproq holati va namligini monitoring qilish kabi asosiy mavzularda ilmiy tadqiqotlar olib borishmoqda.

Yuqorida sanab o'tilgan barcha ilmiy tadqiqot ishlari va ilmiy yondashuvlar, atrof-muhit monitoringi, yerdan foydalanishni tasniflash, vegetatsiya va o'simliklar o'zgarishini kuzatish, global iqlim o'zgarishini monitoring qilish, suv resurslarini o'rganish va tadqiq qilish hamda raqamli qishloq xo'jaligida multispektral va murakkab strukturalangan masofadan zondalash tasvirlariga ishlov berish, sun'iy intellekt, chuqur neyron tarmoqlari va geoaxborot texnologiyalarini joriy qilish orqali iqtisodiy samaradorlikka erishish etarlicha o'rganilmagan. Ushbu dissertatsiya ishi ham yuqorida tahlil qilingan ilmiy ishlarda kam o'rganilgan masofadan zondlangan multispektral tasvirlarni intellektual raqamli ishlash usuli, geoma'lumotlar tahlili, avtomatlashtirilgan o'lchash qurilmalaridan olingan sensor ma'lumotlariga ishlov berish va sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalangan holda respublikamiz hududidagi ekin maydonlari uchun raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlari sifati va iqtisodiy samaradorligini oshirishga qaratilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Mazkur tadqiqot yo'nalishida rivojlangan davlatlardagi yirik kompaniya va tashkilotlarda (Copernicus, ESA, GFW) kosmik tasvirlar va masofadan zondlash ma'lumotlarini tahlil qilish va raqamli ishlash bo'yicha bir qancha usul va modellardan foydalanib kelinmoqda. Dunyoning ko'pgina ilmiy markazlarda, jumladan AQSh, Germaniya, Chexiya, Shvetsariya, Rossiya, Yaponiya va Xitoyda masofalan zondlash texnologiyalari, sun'iy yo'ldosh tasvirlariga raqamli ishlov berishda chuqur o'qitish modellari va algoritmlari asosida dasturiy vositalar ishlab chiqish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Taniqli xorijiy olimlar W. Wagner, Ch. Small, R. Jensen, B. Alias, Magaly Koch, Lars T. Waser, R. Karzika, D. Derksen, Mark Prit, G. Chern, V. Poulain, J. Inglada, V. Paugxon, S. Mallet, X. Saxbi, A. Stoian, Sh.B. Mansor, L. Bris, X.Z. Moxd-Shafri, A.I. Ponamarchuk, Ye.S. Cherepanova, A.N. Shixov va

J.Kumhalova va L.Tuma kabilar masofadan zondlash va sun'iy yo'ldosh tasvirlarini tahlil qilish va tasniflash sohasida, O. Ronneberger, F. Fischer, T. Broks, O. Tasar, Yu. Tarabalka, P. Alliez, Sh. Minae, Yu. Boykov, A. Plaza, D. Terzopoulos, T.K. Vangbo, X. Shen, X. Zao, J. Shi, J. Jia kabi olimlar tomonidan tasvirlarni segmentlashda, neyron tarmoqlari va chuqur o'qitish algoritmlaridan foydalanib mukrakkab tuzulmali koinot tasvirlariga ishlov berishda keng qo'llaniladigan modellar va algoritmlarni yaratishda tadqiqot ishlarini olib borishmoqda.

Respublikamizdagi bir qancha ilmiy tadqiqot muassasalari olimlarining ishlarida masofadan zondlash texnologiyalari, geoma'lumotlar va kosmik tasvirlarga ishlov berish algoritmlari, usullari va geoma'lumotlar bazalarini ishlab chiqishga oid ilmiy manbalarda yoritilgan masalalar ko'rib chiqilgan. Shu jumladan, geoma'lumotlar, kosmik texnologiyalar, va tasvirlarni qayta ishlashda R.Usmanov, Sh. Fozilov, X.N .Zayniddinov, U.R. Hamdamov, J.X. Djumanov, K. Seitnazarov, R. Oteniyazaov, Sh. Shokirov, I.M. Musaev, N. Xudaykulov, A. Pulatov, I. Abduraxmanovlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilmoqda.

Hozirgi paytda bir vaqtning o'zida masofadan zondlangan multispektral tasvirlar, avtomatlashgan o'lchash qurilmalaridan olingan sensor ma'lumotlari, vegitatsiya indekslari qiymatlari va geomorfologik indikatorlarni geoma'lumotlar bazalarida saqlash, tasvirlar, sensor ma'lumotlari va geoma'lumotlarni sintezlash usuli orqali tahlil qilish, qishloq xo'jaligi ekin maydonlari samaradorligini aniqlash va bashorat qilish uchun intellektual usullar, modellar va alogritmlar yaratish yetarlicha o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Mazkur dissertatsiya ishi Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining Erasmus+ doirasida bajarilgan «Raqamli qishloq xo'jaligi uchun yangi va innovatsion kurslar» (2018-2022), O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 6-iyuldagi «2022-2026 yillarda O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo'yicha tashkiliy chora-tadbirlar to'g'risida»gi PQ-307-son qarorida belgilangan vazifalardan «Geologik ma'lumotlar milliy geoaxborot tizimini yaratish» (2023) va № I-AT-2021-493 «Yer osti suvlarining sathini, haroratini va elektr o'tkazuvchanligini masofadan aniqlovchi innovatsion uskuna yaratish» (2022-2023) mavzularidagi ilmiy va amaliy loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi geoma'lumotlar va masofadan zondlash multispketral tasvirlariga ishlov berish usuli, modellari, algoritmlari, dasturiy majmuasi hamda raqamli qishloq xo'jaligi geoportalini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

masofadan zondlash texnologiyalari, multispektral tasvirlarga raqamli ishlov berish usullari, yerdan foydalanishni an'anaviy va sun'iy intellekt texnologiyalari asosida tasniflash algortimlari hamda raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini taqdim qilish yondashuvlarini tahlil qilish;

raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini tashkil qilishning masofadan zondlash tasvirilarga raqamli ishlov berish va geoaxborot modeliga asoslangan usulini ishlab chiqish;

Sentinel platformasi va uchuvchisiz uchish qurilmalaridan olingan multipektral tasvirlarga dastlabki ishlov berish, sifatini yaxshilash modellari va algoritmlarini ishlab chiqish;

qishloq xo'jaligi uchun mo'ljallangan yerlarda ekin maydonlari chegaralarini aniqlash va yerdan foydalanishni tasniflashning chuqur o'qitishga asoslangan modifikatsiyalangan modeli va algoritmlarini ishlab chiqish;

sensorlar ma'lumotlari, katta hajmli masofadan zondlash ma'lumotlari va multispektral indekslar asosida yerning qayta tiklanish potensiali indeksini hisoblash modeli va algoritmini ishlab chiqish;

geoma'lumotlar va masofadan zondlash tasvirlarini geoportalga integratsiya qilish algoritmlari va qishloq xo'jaligi yerlari samaradorligini baholash dasturiy majmuasining funksional tuzilmasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti sifatida Sentinel platformasi va UAV dan olingan multispektral tasvirlar, tajribadan olingan masofadan zondlash ma'lumotlarini raqamli ishlash va geoma'lumotlarni tahlil qilish jarayonlari qaralgan.

Tadqiqotning predmeti sifatida tasvirlarga raqamli ishlov berish modellari va algoritmlari, geoma'lumotlar nazariyasi, chuqur o'qitishga asoslangan modellar, sensorlar ma'lumotlari hamda geoma'lumotlarga ishlov berish algoritmlari olingan.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida tasvirlar va signallarga raqamli ishlov berish nazariyasi, matematik modellashtirish nazariyasi, vektorlar va matritsalar nazariyasi, masofadan zondlash texnologiyalari va geoma'lumotlar tahlili usullari, fazoviy ma'lumotlar nazariyasi, ehtimollar nazariyasi, chuqur neyron tarmoqlari hamda sonli hisoblash usullari nazariyalaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

masofadan zondlash multispektral tasvirlariga raqamli ishlov berish va geoaxborot texnologiyalari nazariyasi asosida qishloq xo'jaligi yerlari holatini baholashning ko'p bosqichli tahlil usuli ishlab chiqilgan;

kengaytirilgan konvolyutsion neyron tarmoq asosida Sentinel-2 platformasi va uchuvchisiz uchish qurilmalaridan olingan multispektral tasvirlarning sifatini yaxshilash modeli va algoritmi ishlab chiqilgan;

multispektral tasvirlarning fazoviy va spektral aniqligini oshirish asosida qishloq xo'jaligi yerlari kontur chegaralarini avtomatik aniqlash hamda yerdan foydalanishni tasniflashning modifikatsiyalangan TL-ResUnet modeli yaratilgan;

katta hajmli masofadan zondlash ma'lumotlari va avtomatlashgan o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarga raqamli ishlov berish asosida yerning qayta tiklanish potensiali indeksini hisoblash modeli va algoritmi ishlab chiqilgan;

geoma'lumotlar va masofadan zondlash tasvirlarini yagona geoportalga integratsiya qilishning intellektual tizimi asosida qishloq xo'jaligi yerlari samaradorligini baholash algoritmi va agroindikatorlarni xaritalashtirishga mo'ljallangan dasturiy majmuaning funksional tuzilmasi yaratilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Sentinel-2 platformasi va uchuvchisiz uchish qurilmalaridan (UAV) olingan multispektral masofadan zondlash tasvirlariga dastlabki ishlov berish algoritmlari va dasturiy vositasi ishlab chiqildi, bu tasvirlarni fazvoiy va radiometrik tuzatish jarayonlarining aniqligini 10-12% gacha oshirish imkonini berdi;

ekin maydonlari chegaralarini aniqlashda chuqur o'qitish va konvolyutsion neyron tarmoq texnologiyalariga asoslangan algoritm ishlab chiqildi, natijada multispektral tasvirlardan agrar maydonlar kontur chegaralarini topish aniqligi 9 foizga oshirildi va yerdan foydalanish monitoringi jarayonlari tezlashtirildi;

yer resurslarini segmentlash va tasniflash uchun modifikatsiyalangan TL-ResUnet neyron arxitekturasi asosida dasturiy vosita ishlab chiqildi, bu esa sun'iy yo'ldosh tasvirlari orqali yer qoplami va yerdan foydalanishni turlari bo'yicha tasniflash va segmentlashda aniqlikni oshirish hamda qayta ishlov berish vaqtini kamaytirish imkonini berdi;

geoma'lumotlar va multispektral tasvirlarga asoslangan yerning qayta tiklanish indeksini hisoblash va samaradorlikni baholash algoritmi ishlab chiqildi, bunda multispektral tasvirlar yordamida masofadan monitoring qilish, o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash orqali qishloq xo'jaligi ekin maydonlarini tahlil qilish samaradorligini 10-15% ga oshirish imkonini yaratdi;

masofadan zondlash va geoma'lumotlar natijalarini integratsiyalovchi raqamli geoportal va dasturiy majmua ishlab chiqildi, bu qishloq xo'jaligi yerlarining holatini onlayn baholash, agroindikatorlar xaritalarini shakllantirish hamda raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini avtomatlashtirish imkonini berdi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalari Sentinel-2 platformasi va uchuvchisiz uchish qurilmalaridan olingan real multispektral tasvirlar asosida eksperimental sinovlardan o'tkazilgan, hamda ularning tasvirni tasniflash aniqligi, tahlili qat'iy matematik va statistik ifodalar orqali tasdiqlangan. Ishlab chiqilgan TL-ResUnet modeli va yerdan qayta foydalanish indeksini hisoblash algoritmlari natijalari SNAP, MATLAB, Python (TensorFlow, Keras) va QGIS muhitlarida tajriba asosida sinovdan o'tkazilib, mavjud klassik modellar (DeepLab) bilan taqqoslash orqali ularning aniqlik ko'rsatkichi ustunligi izohlangan.

Multispektral tasvirlarni raqamli ishlash va geoaxborot tahlil modullari QGIS va Google Earth Engine platformalarida testdan o'tkazilgan bo'lib, ko'p qatlamli geoma'lumotlarni tahlil qilish aniqligi (NDVI, NDWI, EVI indikatorlari asosida) tajriba ma'lumotlari bilan mosligi orqali ishonchligi asoslangan. Tadqiqot davomida olingan natijalar xalqaro ilmiy jurnallarda e'lon qilingan maqolalar, konferensiya ma'ruzalar va dasturiy guvohnomalar bilan tasdiqlanib, ularning amaliy tadbiqi raqamli agromonitoring tizimlarini ishlab chiqish jarayonida sinovdan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati geoma'lumotlar va masofadan zondlash orqali olingan multispektral tasvirlarni raqamli ishlash, tasvirlar sifatini oshirish va tasniflashning nazariy asoslarini istiqbolli rivojlanishida ishlab chiqilgan usul, modellar va algoritmlarning hissa qo'shishi bilan ifodalanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati masofadan zondlash tasvirilariga raqamli ishlov berish va geoaxborot modeliga asoslangan usul, modellar hamda algoritmalari bo'yicha yaratilgan dasturiy majmua va geoportalni raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini tashkil qilish jarayonida qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliyotga tatbiq etilishi. Dissertatsiya tadqiqotlari doirasida geoma'lumotlar va masofadan zondlash tasvirlariga raqamli ishlov berish usuli, algoritmlari va dasturiy majmuasi asosida:

masofadan zondlash multispektral tasvirlariga raqamli ishlov berish va geoaxborot texnologiyalari nazariyasi asosida qishloq xo'jaligi yerlari holatini baholashga tayangan ko'p bosqichli tahlil usuli, kengaytirilgan konvolyutsion neyron tarmoq asosida Sentinel-2 platformasi va uchuvchisiz uchish qurilmalaridan olingan multispektral tasvirlar sifatini yaxshilash modeli hamda algoritmi O'zbekiston Respublikasi Tog' kon sanoati va geologiya vazirligining «O'zbekgidrogeologiya» Davlat muassasasining «Orolbo'yi gidrogeologik ekspeditsiyasi» kuzatuv quduqlarida yer osti suvi monitoring tizimiga joriy qilingan. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi 2025 yil 23 iyundagi 33-8/4337-son ma'lumotnomasi). Natijada, qishloq xo'jaligi monitoringida mavzuli ma'lumotlarni ko'p qatlamli tahlil va vizualizatsiya qilish imkoniyati yaratilgan;

multispektral tasvirlarning fazoviy aniqligi va spektral barqarorligini oshirish asosida qishloq xo'jaligi yerlari kontur chegaralarini aniqlash va yerdan foydalanishni tasniflashning fazoviy segmentatsiyasiga asoslangan TL-ResUnet modeli, katta hajmli masofadan zondlash ma'lumotlari va sensorlardan olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash algoritmi "Uzinfocom" davlat axborot tizimlarini yaratish va qo'llab-quvvatlash bo'yicha yagona integratori faoliyatiga joriy qilingan. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi 2025 yil 23 iyundagi 33-8/4337-son ma'lumotnomasi). Natijada, yerdan foydalanishni avtomatik tasniflashda ekin maydonlari, uning holatini baholash, agromaydonlardagi kontur chegaralarini aniqlashda tezkorlik va aniqlikni oshirish imkonini bergan;

geoma'lumotlar va masofadan zondlash tasvirlarini yagona geoportalga integratsiya qilishning intellektual tizimi asosida qishloq xo'jaligi yerlari samaradorligini baholash, yerdan qayta foydalanish potensiali indeksini hsioblash algoritmi va agroindikatorlarni xaritalashtirishga mo'ljallangan dasturiy majmuaning funksional tuzilmasi Xorazm viloyati Hazorasp tuman xokimyati qishloq va suv xo'jaligi bo'limiga joriy qilingan. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi 2025 yil 23 iyundagi 33-8/4337-son ma'lumotnomasi). Natijada, multispektral tasvirlar yordamida masofadan monitoring qilish, o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash orqali qishloq xo'jaligi yerlarini raqamli xaritalash, ekin maydonlarini tahlil qilish va hosildorlikni baholash samaradorligi 10-15 foizga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining approbatsiyasi. Tadqiqot natijalari 18 ta, jumladan, 10 ta xalqaro, 8 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 47 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 21 ta ilmiy maqola, shundan 10 ta xalqaro (6 ta Scopus) va 11 ta respublika ilmiy jurnallarida nashr qilingan, mavzu doirasida 1 ta monografiya, 2 ta grifli o'quv qo'llanma chop qilingan va 6 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilish va hajmi. Dissertatsiya kirish, beshta bob, xulosa, adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat bo'lib, hajmi 200 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi, muammoning o'rganilganlik darajasi, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyekti, predmeti, usullari va ilmiy farazi, himoyaga olib chiqilayotgan asosiy natijalar, ilmiy yangiligi, nazariy va amaliy ahamiyati, natijalarning joriy qilinishi va ishning sinovdan o'tishi, natijalarning e'lon qilinganligi, foydalanilgan model va algoritmlar, qo'llanish sohasi va amalga oshirish bosqichlari qisqacha bayon etilgan.

Dissertatsiyaning birinchi bobi **«Masofadan zondlash tasvirlariga raqamli ishlov berish, sensor tarmoqlari va geoaxborot modeliga asoslangan raqamli qishloq xo'jaligi tizimining nazariy asoslari va rivojlanish istiqbollari»** deb nomlangan bo'lib, masofadan zondlash texnologiyalarining zamonaviy rivojlanish yo'nalishlari va raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarining xalqaro tajribalar tahlili, geoma'lumotlar infratuzilmasi va multispektral tasvirlarga raqamli ishlov berishning ilmiy asoslari va yondashuvlari, UAV va sun'iy yo'ldosh multispektral tasvirlariga ishlov berish geoaxborot texnologiyalarining nazariy asoslari hamda raqamli agro-geoportalni shakllantirish bosqichlari va raqamli qishloq xo'jaligi konsepsiyasi bo'yicha tadqiqot maqsadi, muammoning qo'yilishi va ularni hal etishning ilmiy yondashuvlari keltirib o'tilgan.

Tahlillarga ko'ra, ekin maydonlaridan foydalanish bo'yicha yetakchi davlatlar Hindiston, Xitoy va AQSH davlatlari hisoblanadi va hozirgi kunda umumiy holda yer yuzidagi aholi jon boshiga 0,2 *ga* o'lchamdagi ekin maydoni to'g'ri keladi. Ushbu ko'rsatkich 2000-yilga nisbatan solishtirilganda jahonda aholi soni oshganligi sababli aholi jon boshiga to'g'ri keladigan ekin maydonlari qiymati sezilarli darajada 0,24 *ga* dan 0,2 *ga* gacha kamaygan. Bu esa mavjud ekin maydonlari samaradorligini doimiy kuzatish va tahlil qilish, bunda yuqori aniqlikdagi va murakkab tasvirlarga intellektual ishlov berish, chuqur o'qitish, konvolyutsion neyron tarmoq arxitekturalari va modellarini takomillashtirish, avtomatlashgan o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarga ishlov berish va geoma'lumotlarni taqdim etish uchun interaktiv geoportal ishlab chiqish hamda sohaga tadbiq qilish orqali raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini ko'rsatish samaradorligini sezilarli darajada oshirishga ehiyoj mavjudligini anglatadi.

Qishloq xo'jaligi ekinlari va ularning hosildorligini rejalashtirish jarayonini avtomatlashtirish uchun geoma'lumotlar bazasi va kerakli ma'lumotlarning yetishmasligi, zarur texnologiyalar to'liq ishlatilmasligi sohada raqamlashtirish jarayonlarini sezilarli darajada orqada qoldiradi. Bunda qishloq xo'jaligi uchun mo'ljallangan hududlar multispektral va giperspektral tasvirlarini raqamli ishlashning modifikatsiyalangan algoritmlari yetarlicha qo'llanilmaganligini kam o'rganilgan masalalardan biri sifatida qarash mumkin. Sensorlardan olingan ma'lumotlar va tasvir ma'lumotlarini integratsiyalash va hudud holatining yerdan qayta foydalanish yoki tiklanish potensiali indeksini hisoblash algoritmlari yetarlicha joriy qilinmaganligi esa hududni kompleks baholash va uning samaradorligini aniqlashda kamchiliklarni vujudga keltiradi.

Bunda sun'iy yo'ldosh orqali olingan tasvirlarning sifatini bosqichma-bosqich oshirishning modifikatsiyalangan va konvolyutsion neyron tarmoqlari

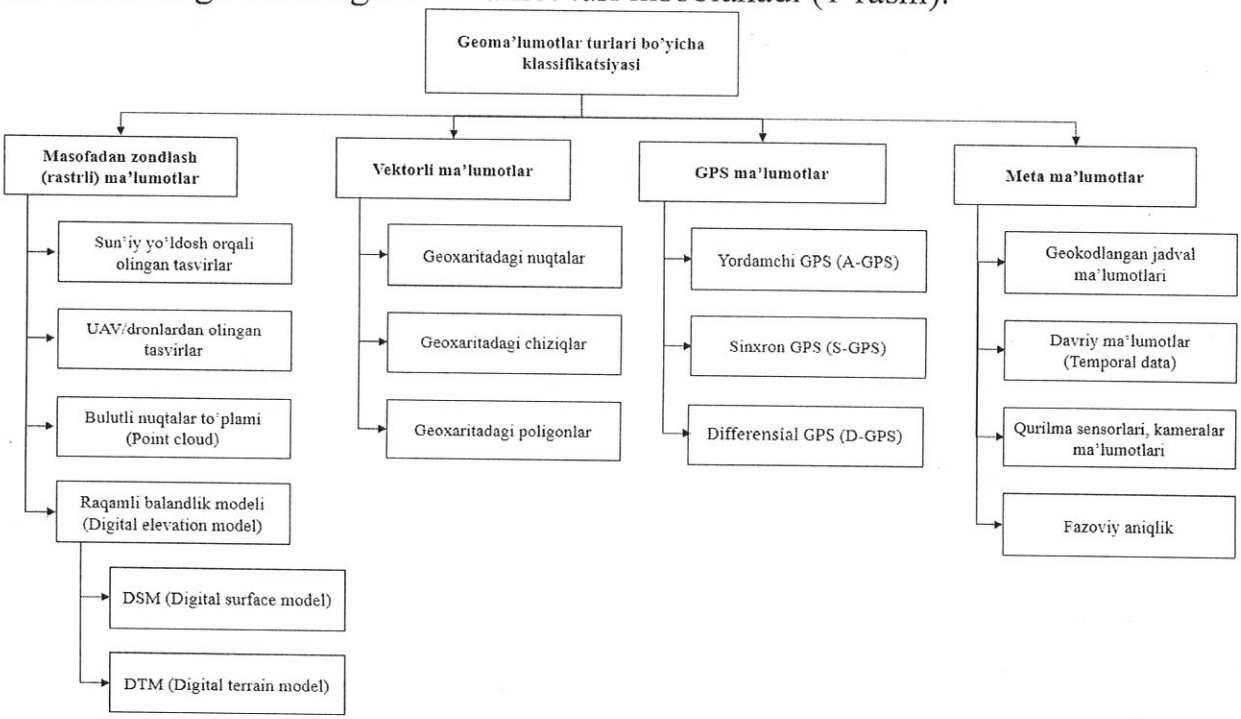
modellari va algoritmlari yetarlicha ishlab chiqilmaganligini ham ko'rsatib o'tish mumkin. Foydalanuvchilar va mutaxassislar uchun turli xil xizmatlarni ko'rsatuvchi qishloq xo'jaligi uchun mo'ljallangan yerlar tasvirlarini raqamli ishlash natijalarini ochiq geoaxborot tizimlarida vizuallashtirish uchun interaktiv geoportal mavjud emasligi yoki to'liq joriy qilinmaganligi o'rganilgan tahlillar asosida namoyon bo'ldi. Quyidagi jadvalda raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini geoportal va geozxizmatlar orqali taqdim qiluvchi mavjud tizimlar asosiy ko'rsatkichlar bo'yicha solishtirma tahlili keltirilgan.

1-jadval

Mavjud tizimlar va amaliy yechimlar tahlili

Ko'rsatkich /Tizim	Onesoil.ai	NASA Harvest	Copernicus CLMS	Agrohub Uzbekistan	ISRO Bhuvan
Ma'lumot manbasi	Sentinel-2, Mandsat	Sentinel, Landsat, MODIS	Sentinel-2, SPOT	Sentinel-2	IRS, CartoSat
Multispektral indekslarni hisoblash	Mavjud	Mavjud	Mavjud	NDVI, EVI, sug'orish tahlili	Mavjud
SI modellari	Mavjud	Mavjud	Faqat statik tahlil	Mavjud emas	Mavjud emas
Foydalanuvchi interfeysi	Professional GIS	Tadqiqotchilar uchun	WebGIS	Fermer va tadqiqotchilar uchun	Davlat monitoring
Yerning qayta tiklanish indeksini hisoblash	Mavjud emas	Mavjud emas	Mavjud emas	Mavjud emas	Mavjud emas
Ochiqlik darajasi	Ochiq	Qisman ochiq	Ochiq	Ochiq	Cheklangan

Geoma'lumotlar (*geofazoviy ma'lumotlar, geospatial data*) yer yuzasidagi hududlar, obyektlar, hodisalar va boshqa xususiyatlarni tavsiflovchi joylashuv ma'lumotlariga asoslangan ma'lumot turi hisoblanadi (1-rasm).



1-rasm. Geoma'lumotlar klassifikatsiyasi.

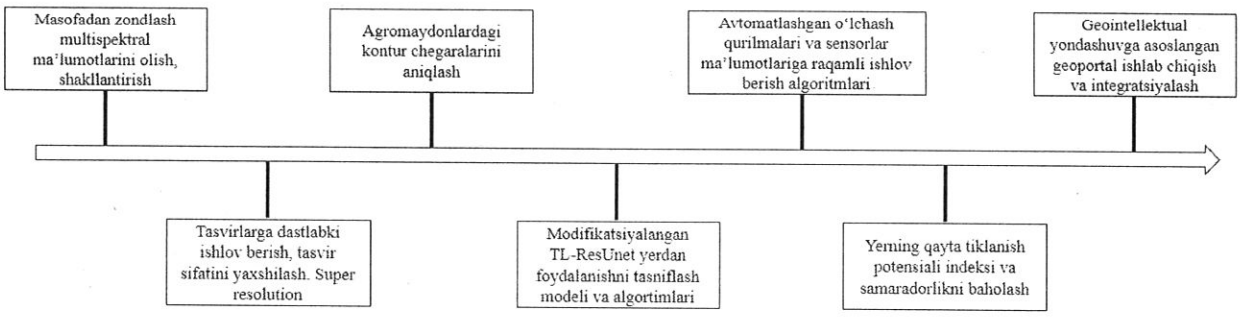
Tadqiqotlar doirasida va amaliy jihatdan foydalanish bo'yicha geoma'lumotlar asosan 4 ta toifaga, masofadan zondlash ma'lumotlari, ya'ni rastrli ma'lumotlar, vektroli ma'lumotlar, GPS ma'lumotlari hamda geografik metama'lumotlar toifalariga ajratiladi. Mazkur dissertatsiya ishi asosan masofadan zondlash orqali shakllantirilgan rastrli ma'lumotlarga raqamli ishlov berish, geoportal xizmatlari uchun vektorli ma'lumotlardan foydalanish hamda metama'lumotlar bilan ishlash tamoyillari va usullarini o'z ichiga oladi.

Geofazoviy ma'lumotlar o'zgaruvchilar tegishli bo'lgan fazoviy obyekt turiga va bu o'zgaruvchilarni o'lchash darajasiga qarab tasniflanadi. Tadqiqotda Z_1, Z_2, Z_3, ..., Z_k lar geofazoviy obyektni ifodalash uchun k ta o'zgaruvchi deb qaralgan va S esa nuqta yoki maydonning joylashuvi hisoblanadi. Bunda umumiy holda geoma'lumotlar matritsasi quyidagicha ifodalanadi.

$$\begin{bmatrix} z_1(1) & z_2(1) & \cdots & z_k(1) & \mathbf{s}(1) \\ z_1(2) & z_2(2) & \cdots & z_k(2) & \mathbf{s}(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_1(n) & z_2(n) & \cdots & z_k(n) & \mathbf{s}(n) \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Case } 1 \\ \text{Case } 2 \\ \vdots \\ \text{Case } n \end{matrix} \qquad (1)$$

bu yerda, $\{z_1(i), z_2(i), \ldots\ldots\ldots, z_k(i) | \boldsymbol{s}(i)\}_{i=1,\ldots,n}$, $i=1,\ldots\ldots,n$ gacha bo'lgan holatlar uchun mos holda k ta o'zgaruvchiga mos ma'lumotlar va geoma'lumotni ifodalaydi. Bunda $s(i)$vektor bo'lib, i ta holat uchun geoma'lumotlarni ifodalaydi. Geoma'lumotlar modelini qurish bevosita vaqtga bog'liq jarayon bo'lganligi sababli, ma'lumotlar matritsasi ham vaqtga bog'liq holda quriladi.

Tadqiqot ishida masofadan zondlash multispektral tasvirlariga raqamli ishlov berish va qishloq xo'jaligi yerlari holatini baholashning geoaxborot texnologiyalari asoslangan ko'p bosqichli tahlil usuli taklif qilingan. Mazkur taklif qilinayotgan usulning tashkil etuvchi va bir-biriga uzviy bog'liq bosqichlari quyidagicha ifodalanadi (2-rasm). Masofadan zondlash multispektral tasvirlarini shakllantirish, tasvirlarga dastlabki ishlov berish, tasvir sifatini yaxshilashning super-resolution modeli dissertatsiyaning ikkinchi bobida, agromaydonlardagi kontur chegaralarini aniqlash va yerdan foydalanishni tasniflashning modifikatsiyalangan modeli uchunchi bobda keltirilgan va ilmiy yangiliklar sifatida asoslangan.



2-rasm. Masofadan zondlash multispektral tasvirlariga raqamli ishlov berish va qishloq xo'jaligi yerlari holatini baholashning geoaxborot texnologiyalari asoslangan ko'p bosqichli tahlil usulining asosiy bosqichlari.

Usulning avtomatlashgan o'lchash qurilmalari va sensorlardan olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash va geoma'lumotlar bazasini loyihalash bosqichi to'rtinchi bobda, yerning qayta tiklanish indeksi, samaradorlikni baholash, geointellektual yondashuvga asoslangan geoportal integratsiyasi bosqichi mos ravishda dissertatsiyaning so'ngi bobida asoslangan.

Geointellektual yondashuv asosidagi geoportal integratsiyasining umumiy kontseptual modeli (2) ko'rinishida ifodalanadi.

$$\mathcal{G}: (D, S) \overset{\text{AI + GIS}}{\rightarrow} \{L(x, y), C_i, E_i\}, \tag{2}$$

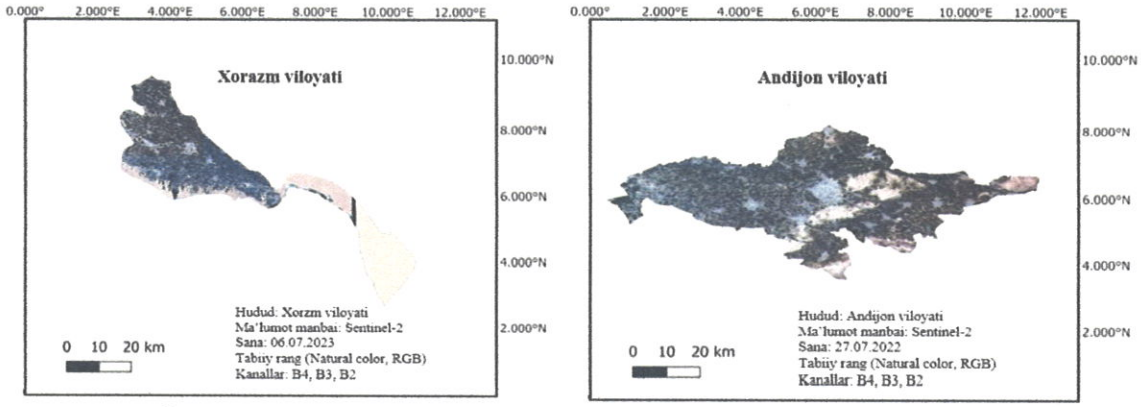
bunda $\mathcal{G}$ – geointellektual portal funksiyasi bo'lib, barcha modullarni yagona axborot muhitida birlashtiradi. Demak, umumiy holatda tizimga kiruvchilar χ bilan, chiquvchi ma'lumotlar Υ bilan belgilanadigan bo'lsa, unda $\chi = D \times S$ va $\Upsilon = \mathcal{L} \times C \times \mathcal{E}\ (sinflar\ \times konturlar\ \times indekslar)$ ko'rinishida umumlashtiriladi va geoportal tizimi $\mathcal{G}$ quyidagicha ifodalanadi

$$\mathcal{G}: \chi \longrightarrow \Upsilon\ (geoportal\ natijalari) \tag{3}$$

Tadqiqot doirasida kiruvchi parametlar sifatida atrof-muhit parametrlari ($SP_1^{P_i}$), suv va tuproq sharoitlari ($SP_2^{P_i}$), vegitatsiya indekslari ($SP_3^{P_i}$), multispektral tasvirlar ($SP_4^{P_i}$) va geomorfologik indikatorlar ($SP_5^{P_i}$) mos ko'rinishlarda ifodalangan. Bu yerda $P_i, i = \{1 \dots \dots n\}$ har bir parametrlar sinfidagi alohida parametrlarni ifodalaydi.

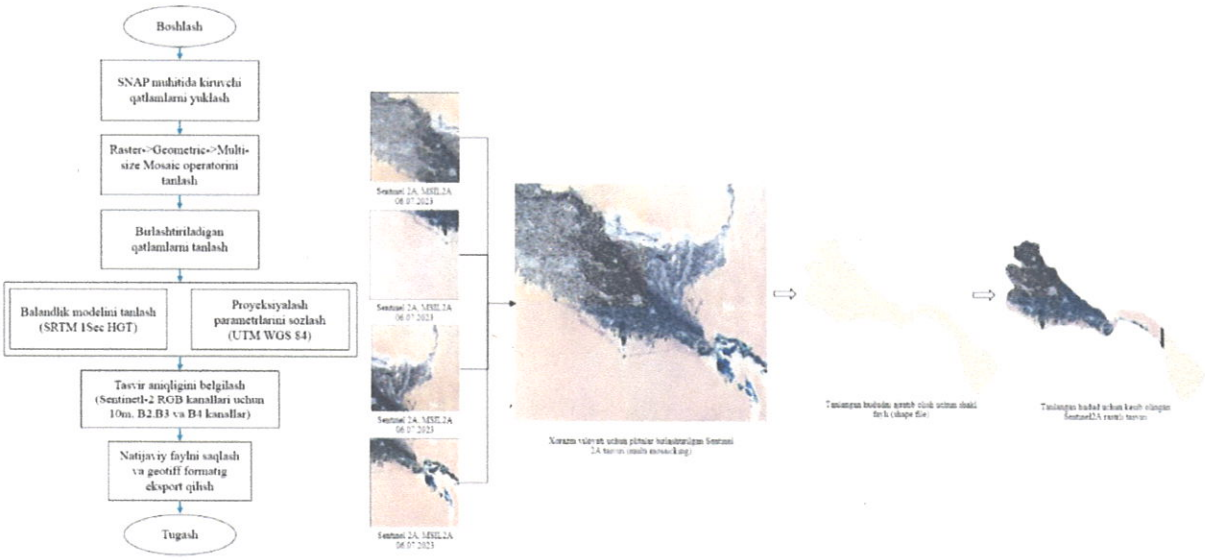
Dissertatsiya ishining **«Sun'iy yo'ldoshdan olingan tasvirlarni shakllantirish, raqamli ishlov berish va sifatini yaxshilashga oid intellektual apparat-dasturiy modellar»** deb nomlangan ikkinchi bobida, sun'iy yo'ldosh qurilmalarida masofadan zondlash tasvirlarini shakllantirish bosqichlari va multispektral tasvirlarga ishlov berish usullari, UAV qurilmari yordamida masofadan zondlash tasvirlarini shakllantirish bosqichlari, modeli va ishlov berish algoritmlari, ikki o'lchovli masofadan zondlash tasvirlarining matematik modellarini shakllantirish, multiparametrli aniqlik tahlili va multispektral kanal xususiyatlarini qo'llash, multispektral tasvirlar sifatini yaxshilashning konvolyutsion neyron tarmoqlariga asoslangan superaniqlik modeli va panxromatik kanaldan foydalanib tasvir aniqligini oshirish algoritmini ishlab chiqish kabi ilmiy va amaliy natijalar ma'lumotlari keltirilgan.

Mazkur tadqiqot ishi uchun respublikamizning shimoliy qismida joylashgan Xorazm viloyati hamda natijalarni solishtirish uchun janubi-sharqiy chekkasida joylashgan Andijon viloyati hududlari tanlab olingan (3-rasm).



3-rasm. Sentinel-2 platformasi yordamida olingan tasvirlar bo'yicha Xorazm va Andijon viloyati hududlari ko'rinishi.

Xorazm viloyati respublikamizning shimoliy g'arbida joylashgan bo'lib, yer maydoni 6,1 ming km^2 ni tashkil etadi va O'zbekiston hududining 1,4 foizini egallaydi. Xorazm viloyatdagi qishloq xo'jaligi yerlarining umumiy maydoni esa 408,7 ming gektarni, umumiy ekin maydoni esa 262,1 ming gektarni tashkil etadi. Asosiy qishloq xo'jaligi paxtachilik, g'allachilik, uzumchilik, chorvachilik va sabzavotchilikni o'z ichiga oladi. Xorazm viloyati hudud tasvirini shakklantirishda 2023-07-06 sanasidagi Sentinel-2B sun'iy yo'ldoshining 3 ta Level-1C ma'lumotlari olingan. Sentinel-2B multispektral tasvirlari SNAP dasturi orqali 4 ta alohida mozayka birlashtirilgan bo'lib (4-rasm), hosil bo'lgan katta hajmli tasvirdan tadqiqot obyektida tanlangan hudud tasvirini shakllantirish uchun shapefile qatlamini birlashtirish yordamida ajratib olingan. Ma'lumotlar to'plamida 13 ta spektral kanal mavjud.



4-rasm. Tanlangan hududning ortomozaykasi va rastrli tasvirini shakllantirish (Xorazm viloyati).

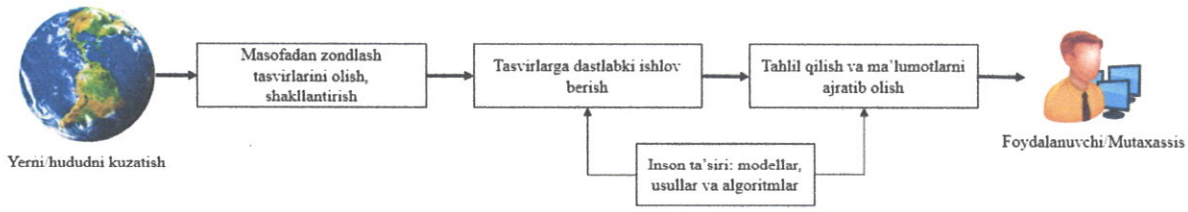
Xorazm viloyati uchun ham tanlangan hudud uchun 4 ta alohida Sentinel-2 ma'lumotlarini birlashtirib, keyinchalik yaxlit *.geotiff* formatidagi rastrli ma'lumotlar bilan ishlash uchun SNAP dasturidan foydalanib tanlangan hudud ortomozaykasi hosil qilinadi. Masofadan zondlash tasvirlarini umumiy matematik ifodalanishi quyidagi formula orqali belgilanadi.

$$I(x, y, \lambda_i), \tag{4}$$

bu yerda, x va y mos ravishda fazoviy koordinatalar qiymati bo'lib, $I(x, y)$ belgilangan hudud uchun (masalan *1km x 1km*) nurlanish yoki aks ettirishni ifodalovchi piksel qiymatini ko'rsatadi, λ_i esa masofadan zondlash ma'lumotlaridagi kanallar sonini bildiradi ($i = 1 \ldots\ldots n$). Demak bitta kanaldan iborat bo'lgan masofadan zondlangan tasvir $I(x, y)$ bilan belgilanadi. Misol uchun Sentinel-2 missiyasi asosida olingan masofadan zondlash tasvirlari $I(x, y, \lambda)$, ko'rinishida ifodalanib, Sentinel-2 da kanallar soni 13 ta bo'lganligi sababli, bu yerda $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{13}\}$ ko'rinishida ifodalanadi. Umumiy holda esa matematik model quyidagicha ifodalanadi.

$$I_\lambda(x, y) = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \rho(x, y, \xi) \cdot \Phi(\xi, \theta, \psi) \cdot \tau(\xi) d\xi + \varepsilon(x, y) \tag{5}$$

$I_\lambda(x, y)$ koordinatalaridagi i-spektral kanal uchun qayd etilgan intensivlik; $\rho(x, y, \xi)$ – obyektning spektral qaytaruvchanlik funksiyasi (reflectance); $\Phi(\xi, \theta, \psi)$ – quyosh nurlanishining spektral zichligi, bu yerda θ va ϕ – burchak koordinatalari; $\tau(\xi)$ – atmosfera orqali o'tish koeffitsienti (transmittance); λ – elektromagnit to'lqin uzunliklari diapazoni; $\varepsilon(x, y)$ – shovqin (noise) komponentasi. Masofadan zondlash tasvirlarini ifodalashda o'z navbatida sensor turi (aktiv, passiv), tasvirning aniqligi (*fazoviy, radiometrik, davriy, spektral*) ham hisobga olinishi mumkin. Bu yerda λ_i multispektral tasvirlarni shakllantirishdagi kanallar soni va to'lqin uzunligi diapazonini anglatadi. Soddaroq qilib aytganda, diskret tasvirni $\boldsymbol{m} \times \boldsymbol{n} \times \boldsymbol{k}$ o'lchamlardagi gipermatritsa **C** sifatida belgilash mumkin, bu yerda *i,j,k* mos ravishda indeks sifatida belgilanadi, *i* va *j* pixellar indeksi, *k* esa kanallar indeksi sifatida ishlatiladi. Bu yerda $m = n = k = 3$ holat uchun tasvir berilgan bo'lib, $C(m, n, k)$ uchun C_{ijk} bitta pixel qiymatini ifodalaydi.



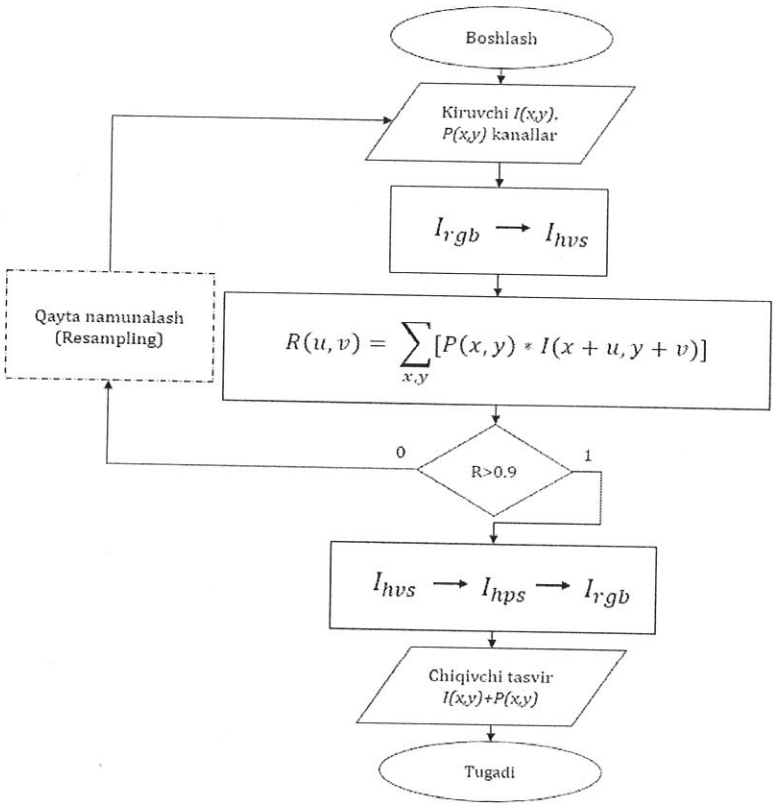
5-rasm. Masofadan zondlash tasvirlaridan foydalanish bosqichlarining umumiy sxemasi.

Tasvirlarni tahlil qilish, tanib olish, tasniflash va murakkab tuzilmali tasvirlarni yaxshiroq tahlil qilish kabi vazifalarni amalga oshirishda tasvirlarning tiniqligi va aniqligini oshirish juda muhim vazifalardan biri bo'lib hisoblanadi. Murakkab tuzilishga ega sun'iy yo'ldosh tasvirlarida yaqinroq masshtablarda tanib olish, tasniflash kabi vazifalarni past aniqlikdagi tasvirlar orqali yaxshi natijalarga erishib bo'lmaydi. Shuning uchun past, o'rta va yuqori aniqlikdagi tasvirlar turli xil imkoniyatlarga ega va tasvir o'lchamlari aniqlik bilan bog'liq turli vazifalarni bajarishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot ishi doirasida panxromatik va

multispektral kanallarni birlashtirish algoritmi va super aniqlik modeli asosida ishlab chiqilgan algoritmlar taklif qilingan.

Multipektral kanallarning yorqinligini oshirish uchun panchromatik kanalni birlashtirish amalga oshiriladi. Panxromatik kanal va multispketral kanallarni birlashtirish umumiy algoritmi quyida keltirilgan (6-rasm). Algoritmga ko'ra, belgilangan hudud uchun multispektral tasvir va aynan ushbu sensorlarga mos panxromatrik kanal ma'lumotlari olinadi. Rangli tasvir I_{rgb} ko'rinishdan I_{hvs} ko'rinishga o'tkaziladi.

Bundan asosiy maqsad, HVS (hue, value, saturation) kombinatsiyasidagi «value» ya'ni tasvir pikselining asosiy ma'lumotlari va intensivligini saqlaydigan kanal ma'lumotlari birlashtirish uchun kerak bo'ladi. Multispektral va panxromatik kanallar birlashtirilishidan oldin, kiruvchi ma'lumotlarning bir-biriga mosligi kross-korrelyatsiya usuli yordamida tekshiriladi va korrelyatsiya koeffitsenti R > 0,9 dan yuqori bo'lgan holat uchun keyingi qadamga o'tkaziladi, aks holda kiruvchi ma'lumotlar qayta namunalash (resampling) uchun yuboriladi. Shart qanoatrilganidan keyin tasvirning HVS kanallar kombinatsiyasidagi V kanali P kanal bilan almashtiriladi va natijaviy I_{hvs} tasvir an'anaviy RGB ko'rinishga o'tkaziladi.



6-rasm. Panxromatik va multispektral kanallarni birlashtirish orqali tasvir aniqligini oshirish algoritmi.

Tadqiqot ishida aniqligi past tasvirlar sifatini yaxshilash uchun konvolyutsion neyron tarmoq tamoyillariga asoslanga sepur-aniqlik modeli va o'qitish oson bo'lgan DAN algoritmi taklif qilingan va natijalar olingan (7-rasm). Super aniqlik modilini baholashda model va algoritmning aniqligidan tashqari ularning o'lchami va tezligi ham muhim ahamiyatga ega. EDSR parametrlari soni ko'pligi sababli tezligi WDSR va DAN modellariga qaraganda sekinroq ishlaydi. Ushbu super-

aniqlik usullari uchun tajribalar Ubuntu operatsion tizimida, Intel i9 11900K, 64 GB RAM va GeForce RTX 3070 Ti bilan jihozlangan kompyuterda o'tkazildi. Ushbu usullar samaradorligi PSNR, IFC va LPIPS kabi tasvir sifatini baholash mezonlari yordamida baholandi (2-jadval).

2-jadval

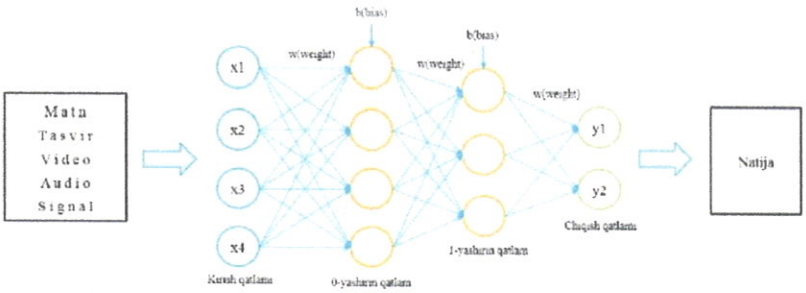
Tasvirni yaxshilash algoritmlarining PSNR qiymatlarining solishtirish

Tasvir sifatini yaxshilash algoritmi	PSNR	IFC	LPIPS
Bilinear interpolyatsiya	21.23	1.942	0.3127
Bikubik interpolyatsiya	22.08	2.034	0.2952
DWT asosidagi algoritm	22.92	2.128	0.2601
DL asosidagi EDSR	28.87	3.881	0.1949
DL asosidagi WDSR	29.13	4.109	0.1961
DAN (taklif qilingan)	**30.19**	**4.381**	**0.1713**

7-rasm. Sun'iy yo'ldosh tasvirlarini super-aniqlik uchun chuqur o'rganish algoritmlarining solishtirish natijasi.

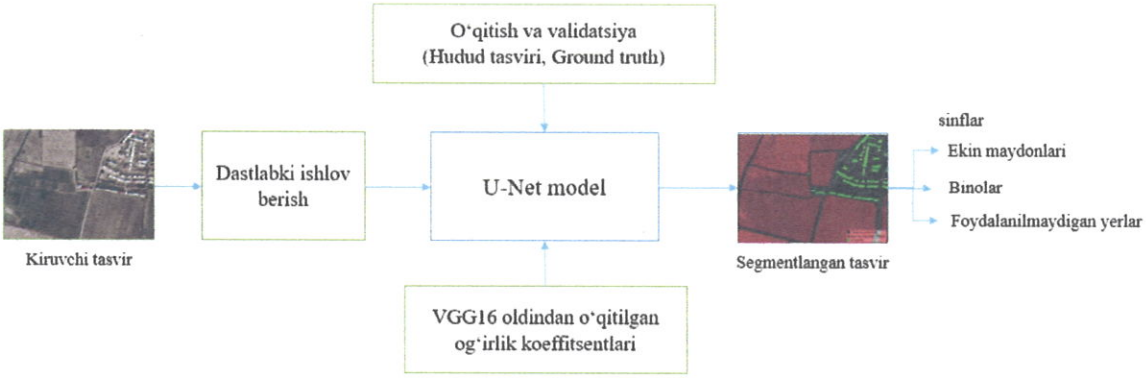
Dissertatsiya ishining **«Masofadan zondlash tavirlarini tasniflashning chuqur o'qitishga asoslangan modellari va algoritmlari»** deb nomlangan uchinchi bobida, sun'iy neyron tarmoqlari yordamida tasvirlarni tasniflash usullari, modellari va algoritmlari, tasvirlarni segmentlashning chuqur o'qitishga asoslangan algoritmlari tavsifi va oldindan o'qitilgan model bilimlarini yerdan foydalanishni tasniflash modeliga birlashtirishning dastlabki natijalari keltirilgan. Bundan tashqari, CNNga asoslangan UNet arxitekturasi, residual neyron tarmoq (ResNet), bilimlarni transfer qilish asosida o'qitish (*transfer learning – TL*) kabi yondashuvlarni birlashtirish orqali sun'iy yo'ldosh tasvirlarida yerdan foydalanishni tasnishlashning modifikatsiyalangan semantik segmentlash TL-ResUNet modeli va algoritmi, Mask R-CNN algoritmida ekin maydonlarini kontur chegaralarini aniqlash algoritmi hamda olingan natijalar keltirilgan.

Tasvirlardan ma'lumotlarni ajratib olish, tasvirdagi obyektni tanib olish turli sohlardagi masalalarni yechish uchun katta ahamiyatga ega. Hozirda ushbu yo'nalishda juda ko'p ilmiy tadqiqotlar olib borilgan bo'lib, tibbiyot, qishloq xo'jaligi, transport va shunga o'xshash sohalarda aniq yechimlar olinmoqda. Tasvirdan kerakli ma'lumot yoki xususiyatlarni ajratib olish uchun sinflashtirish, yoki tasvirda bir nechta sinfga tegishli obyektlar bo'lsa, segmentlash masalalarini yechish talab qilinadi. Quyidagi rasmda ko'rsatilganidek kiruvchi parametr sifatida turli xildagi ma'lumotlar qaralishi mumkin (8-rasm), holatni aniq ifodalash maqsadida kiruvchi tasvir sifatida 144×144 o'lchamdagi tasvir olingan.



8-rasm. Ko'p sathli neyron tarmoq tuzilishi.

UNet arxitekturasi sun'iy yo'ldoshdan olingan tasvirlarni qayta ishlash asosida qishloq xo'jaligi uchun mo'ljallangan yerlar, binolar, foydalanilmayotgan yerlar kabilarni tasniflash segmentlash orqali yechilgan. Bunda UNet modeli bilan birgalikda oldindan o'qitilgan model (ImageNet, VGG16) koeffitsentlaridan foydalanib sun'iy yo'ldoshdan olingan tasvirlani segmentlash sxemasi taqdim qilingan (9-rasm).



9-rasm. UNet va oldindan o'qitilgan model koeffitsentlaridan foydalanib tasvirni segmentlash sxemasi.

Ushbu taklif qilingan model Inter-IIT-CSRE o'quv tanlanma asosida NVidia, GeForce GTX 1080Ti, RAM 64 GB va GPU 11 GB texnik parametrli hisoblash tizimida o'qitilgan bo'lib, boshqa modellarga qaraganda kam sonli o'quv tanlanma asosida, kam vaqt sarflagan holda 3 ta sinf uchun model IoU ko'rsatkichi bo'yicha 94,3% aniqlikka erishilgan.

Tadqiqot ishida tasvir sifatini oshirish hamda yerdan foydalanishni tasniflash jarayonida ishlatilgan va takomillashtirilgan CNN modellarida kengaytirilgan konvolutsion qatlamlaridan foydalanilgan (10-rasm). Ushbu kengaytirilgan konvolutsiya arxitekturasida *dilation rate* nomli parametr kiritilgan bo'lib, bu konvolyutsion filtr orasidagi bo'sh joylarni bildiradi. Agar ushbu qiymat 2 ga teng bo'lganda 3x3 filtr oddiy konvolutsion qatlamlardagi 5x5 o'lchamdagi filtrga mos keladi, ammo parametrlari soni 9 taga teng bo'ladi. Kengaytirilgan konvolutsiya amali semantik segmentlash masalalari uchun juda mos tushadi. Kengaytirilgan konvolutsiya amalining asosiy yutuqlari qirralarni aniqroq ajratib olishi hamda segmentlangan tasvirning tiniqroq ko'rinishini hosil qiladi.

10-rasm. Oddiy va kengaytirilgan konvolutsion qatlam. ***a*** – oddiy konvolutsion qatlam (Filtr: 3×3, oraliq : 1); ***b*** – kengaytirilgan konvolutsion qatlam (Filtr: 3×3, dilation rate : 2).

Dissertatsiyaning ushbu bobida chuqur o'rganishga asoslangan semantik segmentatsiya usullari o'rganilib, yerdan foydalanish semantik segmentlash asosida tasvniflashning takomillashtirilgan TL-ResUNet modeli va algoritmlari ishlab chiqilgan.

Past va o'rta aniqlikdagi sun'iy yo'ldosh tasvirlari sun'iy yo'ldosh tasvirlarini segmentatsiyalashda kutilgan aniqlikni bermasligi mumkin hamda segmentlash masalasi uchun begilangan ma'lumotlar to'plamini hosil qilish qiyin vazifalardan biri hisoblanadi. Shu sababli o'qitish uchun ma'lumotlar yetishmasligini oldini olish uchun tahlil qilish ko'rilgan tadqiqotlarga mos holda qisman nozaratli o'rganish strategiyasidan foydalanilgan. Tadqiqot ishi doirasida yerdan foydalanishni tasniflash jarayoni aniqligi va samaradorligini oshirish maqsadida, segmentlash uchun ishlatiladigan UNet arxitekturasi va ResNet chuqur neyron tarmoqlari kombinatsiyasidan foydalanilgan. Bu yerda ResNet-50 modeli ham tasniflash vazifasini bajarish uchun, ham UNet arxitekturasini modifikatsiya qilish orqali «encoder» qismi uchun ishlatilgan. Natijada yerdan foydalanishni tasniflashning modifikatsiyalangan UNet modeli ResNet neyron tarmog'ini o'qitish usullar, jumladan tasodifiy og'irlik koeffitsentlari va ImageNet o'quv tanlanmasi orqali oldingan o'qitilgan model koeffitsentlari yordamida o'qitilgan.

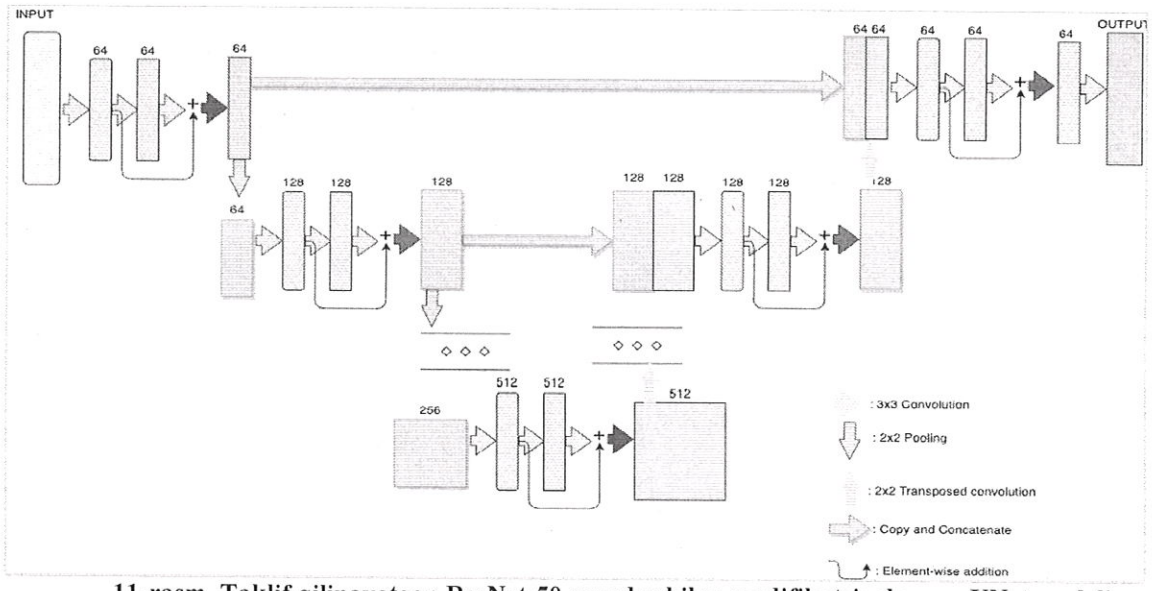
Dissertatsiya doirasida ishlab chiqilgan modifikatsiyalangan TL-ResUnet modelini o'qitish uchun ochiq manbalardan olingan sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan foydalanilgan.

3-jadval

O'quv tanlanmaning asosiy xususiyatlari

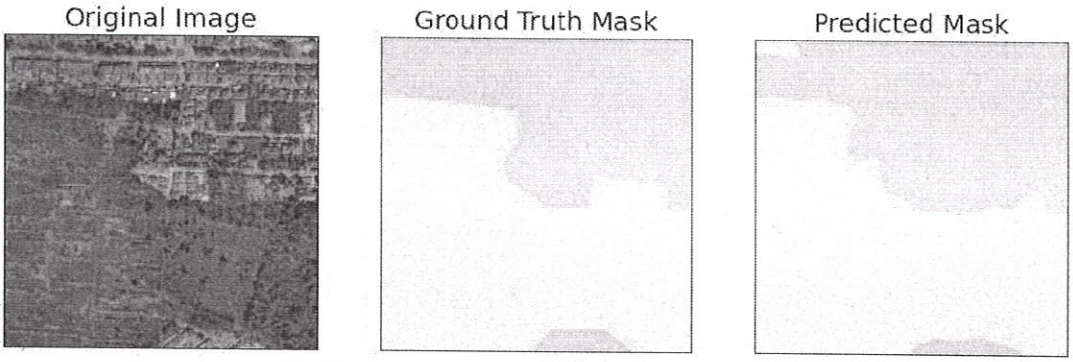
O'quv tanlanma	Sinflar soni	Fazoviy aniqlik, m	Tasvirlar soni
DeepGlobe	7	1,24	1,146
Dstl satellite	10	1,24	57
LandCoverNet	7	10	1,980
Augmented (sintetik tasvirlar)	7	-	6,517
JAMI			**9,700**

Ushbu modelni o'qitish jarayonida uning samaradorligi va aniqligini oshirish hamda o'qitish vaqtini qisqartirish maqsadida, o'qitilgan koeffitsentlari (bilimlarni) transfer qilish asosida modelni o'rgatish algoritmidan foydalanilgan. Shu sababli modifikatsiyalangan UNet modeli TL-ResUNet deb nomlangan va chuqur o'qitishga asoslangan arxitekturasi keltirilgan (11-rasm).



11-rasm. Taklif qilinayotgan ResNet-50 encoder bilan modifikatsiyalangan UNet modeli.

Ishlab chiqilgan TL-ResUNet modelini baholash uchun umumiy ma'lumotlar to'plamining 20% qismini tashkil etadigan validatsiya to'plamidan foydalanilgan. Model natijalarini (12-rasm) baholash uchun *precision*, *recall*, *F1 ko'rsatkichi* va *Jaccard indeksi* kabi me'zonlardan foydalanilgan.



12-rasm. TL-ResUnet modeli natijasi.

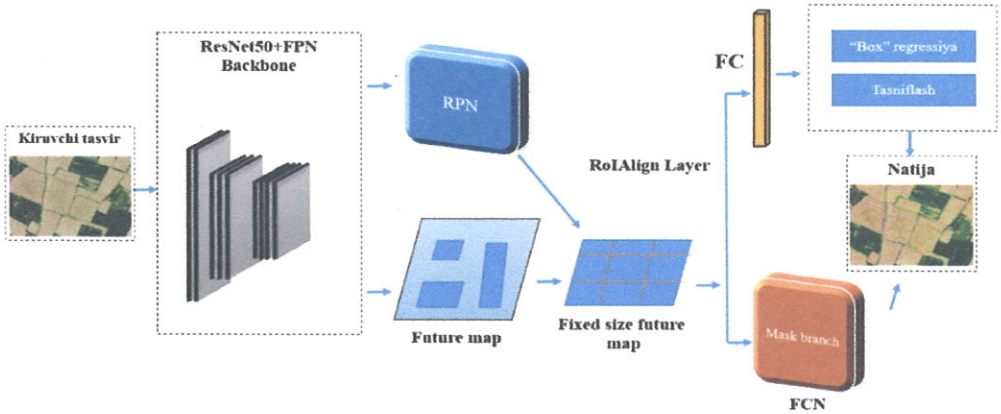
Ushbu ko'rsatkichlarni hisoblashda berilgan sinflarni tasniflash jarayonida hosil bo'ladigan «confusion matrix» ko'rsakichlari asosida aniqlanadi. Taklif qilingan modelning boshqa mavjud modellarga nisbatan umumiy IoU ko'rsatgichi bo'yicha afzalligini 4-jadvalda qiyosiy natijalar asosida ko'rish mumkin.

4-jadval

Taklif qilingan modelning solishtirma natijasi

Model nomi	IoU ko'rsatkichi
Baseline	55.19
ClassmateNet	69.87
DFCNet	71.31
DeepLabv3	74.52
DeepLabv3+	75.6
TL-ResUNet (taklif qilingan model)	81.0

Qishloq xo'jaligi maydonlari chegaralarini aniq ajratib olish yerdan foydalanish va tuproq qoplamini aniqlash hamda ularni boshqarishni rejalashtirishda muhim ro'l o'ynaydi. Ekin maydonlari chegaralarini qo'l mehnati yordamida chizib chiqish vaqt va mehnat talab qiladigan jarayondir. Tadqiqot ishi doirasida masofadan zondlangan multispektral tasvirlarni chuqur konvolyutsion neyron tarmoq modelidan foydalanib Mask R-CNN modelining takomillashtirilgan arxitekturasi taklif etilgan (13-rasm).



13-rasm. Taklif etilgan Mask R-CNN modelining arxitekturasi.

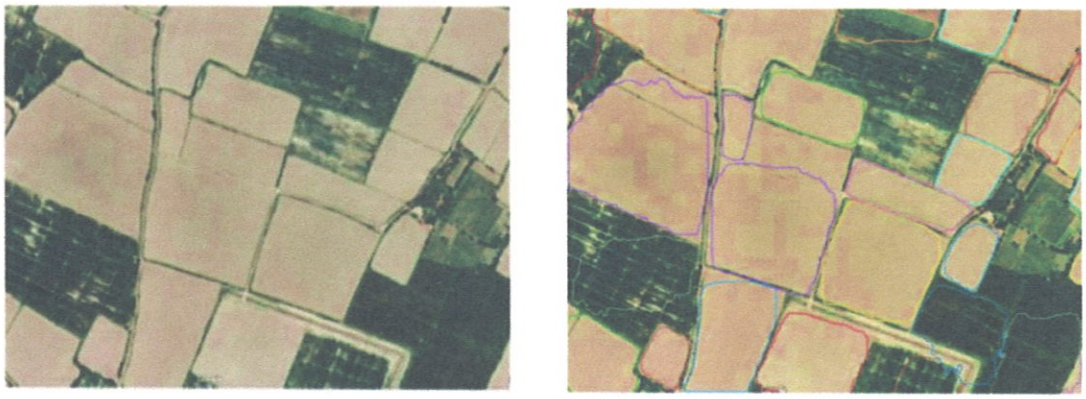
Tasvirlar xilma-xil hamda murakkab bo'lganligi sababli, yagona konvolyutsion neyron tarmoq tasvir xususiyatlarini yetarli darajada ajratib bera olmaydi. Taklif etilayotgan chuqur neyron tarmoqning asosi sifatida ResNet-50 arxitekturasidan foydalanilgan va tasvirlardan obyekt xususiyatlarini ko'p o'lchovli tarzda ajratib olish uchun FPN tarmoqqa integratsiya qilingan va xususiyatlar xaritasini yaxshiroq hosil qilishga yordam bergan.

5-jadval

Taklif qilingan model bo'yicha standard COCO metrika natijalari

Epoch	IoU obyektni aniqlash			IoU obyektni segmentlash			F1 qiymati
	AP	*AP@0.5*	*AP@0.75*	*AP*	*AP@0.5*	*AP@0.75*	
5	9.8	11	8.9	8.7	10.5	7.6	0.57
10	24.1	27.1	21.2	20.4	23.5	17.9	0.65
20	35.7	43.9	33.1	33.5	41.2	29.8	0.72
50	45.6	54.26	40.91	41.4	50.92	36.83	0.89

Ishlab chiqilgan model o'qitishlardan so'ng Standart COCO metrikalarida samarali natijalarga erishdi. IoU baholash me'zoni bo'yicha AP 45.6, AP (0.5 chegara qiymat) va AP (0.75 chegara qiymat) mos ravishda 54.26 va 40.91 bo'ldi. IoU segmentatsiyasi bo'yicha, AP, AP@0.5 va AP@0.75 natijalari 41.4, 50.92 va 36.83 bo'ldi. F1 ballining yakuniy natijasi 0.89 ya'ni 89% aniqlikni ko'rsatgan. Bu natijalar taklif qilingan model yaxshilanib borayotganini ko'rsatadi.



14-rasm. Taklif qilingan modelning natijasi.

Dissertatsiya ishining **«Avtomatlashgan o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarga raqamli ishlov berish algoritmlari va geoma'lumotlar bazasi modelini ishlab chiqish»** deb nomlangan to'rtinchi bobida, masofadan zondlash ma'lumotlari asosida yerdan foydalanishni kuzatish dasturining spektral indekslar kutubxonasi va geoma'lumotlar bazasi modeli yoritilgan. Bundan tashqari, qishloq xo'jaligi hududlarda meliorativ kuzatuv jarayonlari uchun iMetos stansiyasi sensorlari va ma'lumotlarni almashish API usullari, avtomatlashtirilgan o'lchash tizimlarida foydalanilgan sensorlar va ulardan olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash algoritmlari hamda sensorlardan tarmoqlari ma'lumotlarini uzatish va hududning gidrogeologik-meliorativ holatini interaktiv vizualizatsiya interfeysi keltirilgan. Masofadan zondlash uchun mo'ljallangan qurilmalar, sun'iy yo'ldosh vositalari, uchuvchisiz uchish qurilmalari va dronlar maxsus aktiv yoki passiv sensorlar bilan jihozlangan bo'lib, ushbu sensorlar har xil to'lqin uzunligida yer qoplami bo'yicha diskret va uzluksiz turdagi ma'lumotlarni taqdim qiladi.

Bir nechta kanallarga ajratilgan va yig'ilgan ma'lumotlarning dastlabki ishlov berilgan ko'rinishi rastrli ma'lumotlar ko'rinishida shakllanadi. Geoma'lumotlar bazasini tashkil qiluvchi elementlari jadvallar, vektorli ma'lumotlar, rastrli ma'lumotlar va topologiyalardan tashkil topadi. Quyida spektral indekslarni shakllantirishning umumiy modeli keltirilgan.

$$S_i \in R(\lambda_j), M(R(\lambda_j)) \tag{6}$$

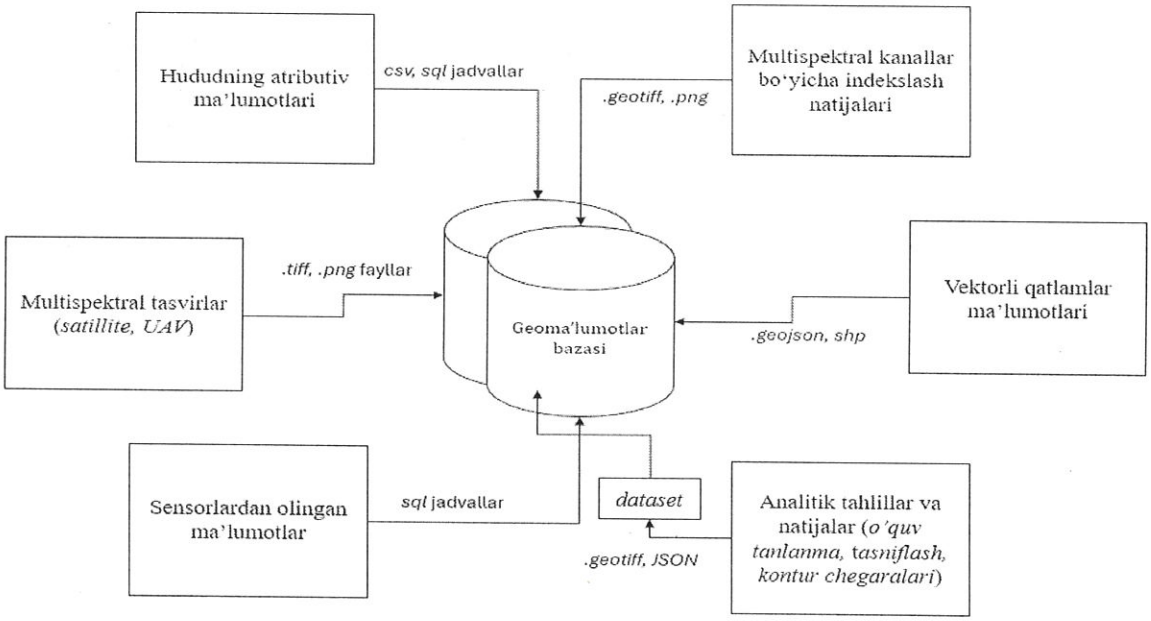
bu yerda, S_i – spektral indekslar, $i = 0.....n$, $R(\lambda_j)$ – mos to'lqin uzunligidagi aks ettirish qiymatlari, $j = 1.....n$, $M(R(\lambda_j))$ – λ_j – kanallar bo'yicha matematik kombinatsiya yoki formula. Xususiy holda 2 ta kanal va ularning matematik kombinatsiyasidan iborat bo'lgan spektral indeksni ko'rib o'tamiz.

$$S_0 = \frac{R(\lambda_1) - R(\lambda_2)}{R(\lambda_1) + R(\lambda_2)} \tag{7}$$

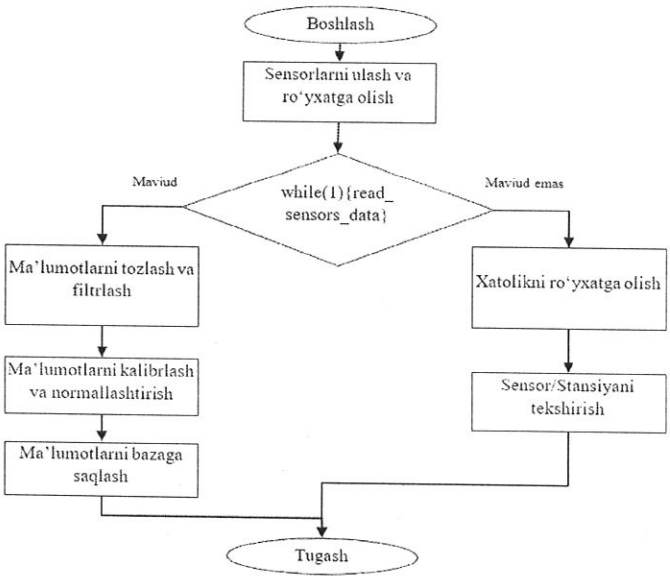
bu yerda, $R(\lambda_1)$ – 1-kanal uchun aks ettirish qiymatlari, $R(\lambda_2)$ – 2-kanal uchun aks ettirish qiymatlari, S_0 – vegitatsiya indeksi. Ushbu formula yordamida hududning NDVI indeksini hisoblash mumkin.

Tadqiqot ishida geoma'lumotlar va masofadan zondlash multispektral tasvirlariga raqamli ishlov berish, intellektual yechimlar orqali raqamli qishloq xo'jaligi uchun xizmatlarni taqdim qiluvchi interaktiv geoportal funksional tuzilmasi va dasturiy majmuasini ishlab chiqish muhim vazifalarda biri hisoblanadi. Har bir dasturiy majmua bir nechta modullardan tashkil topgan bo'lib, katta

ma'lumotlar va murakkab tuzilmali qatlamlardan iborat ma'lumotlar bazasi infratuzilmasini tashkil qiladi. Shu sababli, dissertasiya doirasida ishlab chiqilayotgan geoportal ma'lumotlar bazasi umumiy arxitekturasi quyidagicha ifodalangan (15-rasm). Sensorlardan olingan ma'lumotlar o'lchash qurilmalardan kelgan ma'lumotlarni ma'lumotlar bazasida saqlaydi. Bunda hududning atrof-muhit holatini monitoring qilib boruvchi iMetos stansiyasi sensorlari va hududning meliorativ va tuproq sharoitini kuzatuvchi datchiklar ma'lumotlarini sql jadvallar asosida yoki ayrim hollarda .csv formatida saqlash imkoniyatini beradi. Bunda real vaqt rejimida o'lchanadigan atrof-muhit parametrlari *sensors_data* jadvaliga, oldindan meliorativ ekspeditsiya mutaxassislari tomonidan o'lchangan va yig'ilgan ma'lumotlar *datchik_data* jadvallariga saqlab boriladi (16-rasm).

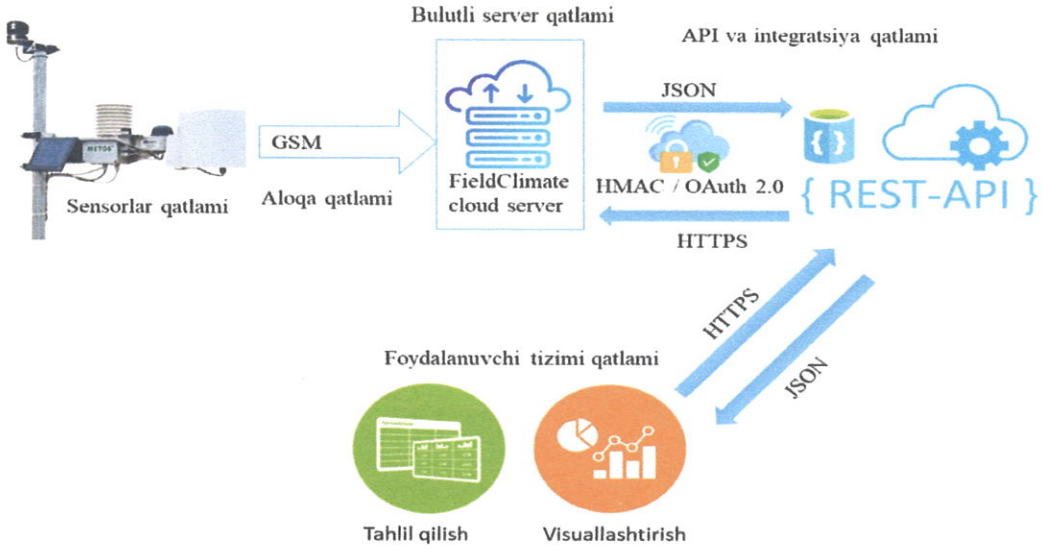


15-rasm. Hududning geomalumotlari va multispektral tasvirlarini saqlaydigan geoportal ma'lumotlar bazasining umumiy sxemasi.



16-rasm. Sensorlardan ma'lumot olish va saqlash jrayonining umumiy algoritm blok-sxemasi.

Hududning atrof-muhit, tuproq va suv sharoitlariga oid ma'lumotlarini yig'ish uchun tadqiqot ishida avtomatlashgan o'lchash qurilmasi sifatida iMetos stansiyasidan foydalanilgan. Bu tizimning integratsiya arxitekturasi turli komponentlarning o'zaro uzviy aloqasiga asoslangan bo'lib, unda ma'lumotlar oqimi datchik (sensor) darajasidan foydalanuvchi dasturi darajasigacha ketma-ket tarzda uzatiladi. Ushbu arxitektura iMetos stansiyalarining turli muhit parametrlarini real vaqt rejimida o'lchash, ularni bulutli muhitda saqlash va qayta ishlash, so'ngra API orqali tashqi tizimlarga uzatish imkonini beradi (17-rasm).



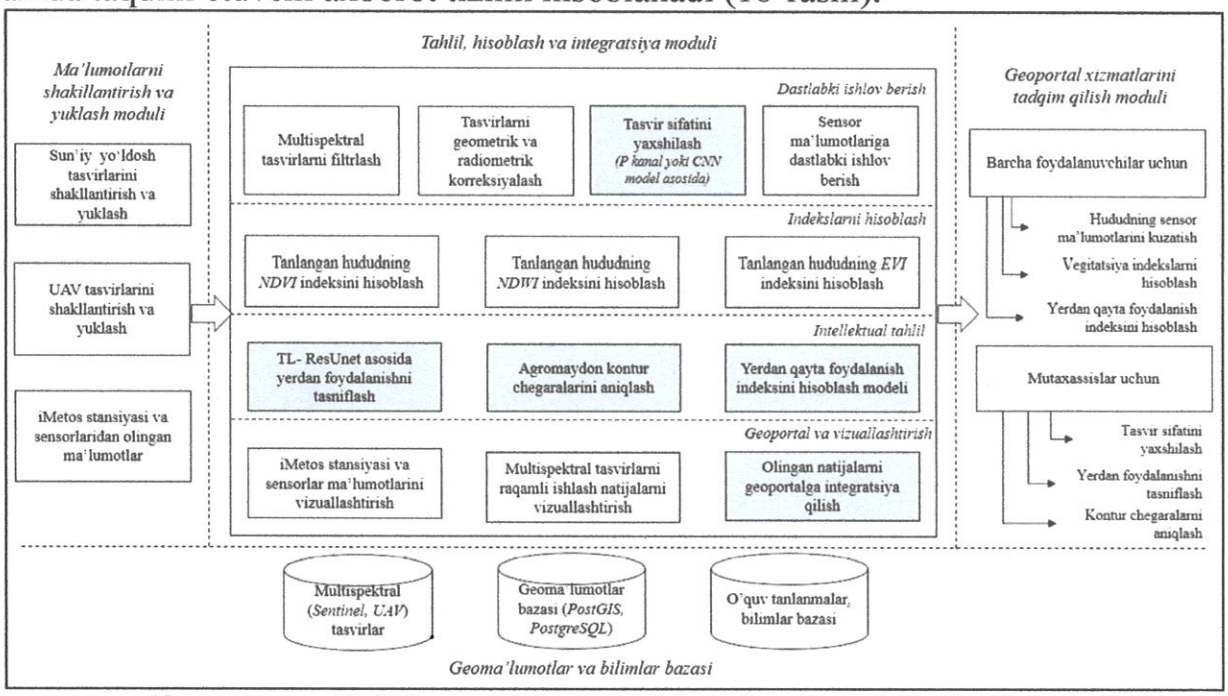
17-rasm. Qurilma ma'lumotlarini API bilan integratsiyalash arxitekturasi.

Avtomatlashtirilgan o'lchash qurilmalari va datchiklardan yig'ilgan birlamchi ma'lumotlar odatda tozalanmagan holda yig'iladi. Umuman olganda har qanday sensorlar va qurilmalardan ma'lumotlarni yig'ish jarayoni sodda va murakkab jarayonlarni o'z ichiga oladi. Qaralayotgan hududning ko'lami, ishlatiladigan sensorlar yoki yaxlit avtomatlashtirilgan o'lchash stansiyalarining sonidan kelib chiqib ma'lumotlarni yig'ish bosqichlari har xil tashkil qilinishi mumkin.

Dissertatsiya ishining **«Masofadan zondlash tasvirlari va geoma'lumotlarni geoportal infratuzilmasiga integratsiyalash hamda qishloq xo'jaligi yerlarining samaradorligini baholash»** deb nomlangan beshinchi bobida, raqamli qishloq xo'jaligi geoportali dasturiy majmuasining funksional tuzilmasi va tashkil etuvchi modullari tavsifi keltirilgan. Qolaversa, masofadan zondlash multispektral tasvirlari va geoma'lumotlar asosida yerdan qayta foydalanish indeksini hisoblash algoritmi va dasturiy ta'minoti, hududning masofadan zondlash ma'lumotlarini geoaxborot modeligi integratsiya qilish mexanizmi va algoritmini ishlab chiqish bosqichlari hamda Xorazm viloyati hududi misolida qishloq xo'jaligi yerlari samaradorligini baholash va sinov natijalari qiyosiy tahlili keltirib o'tilgan.

Mazkur tadqiqot ishi bajarilishi davomida raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini interaktiv taqdim qilish, qishloq va suv xo'jaligida yerlardan oqilona foydalanish, avtomatlashgan o'lchov qurilmalari, multispketral tasvirlar va hudud geoma'lumotlarini raqamli ishlash asosida raqamli qishloq xo'jaligi geoportalining dasturiy majmuasi ishlab chiqilgan. Raqamli qishloq xo'jaligi geoportali

geoma'lumotlar, masofadan zondlash, iqlim, yer resurslari va hosildorlik ma'lumotlarini birlashtiruvchi, tahlil qiluvchi va foydalanuvchilarga interaktiv tarzda taqdim etuvchi axborot tizimi hisoblanadi (18-rasm).



18-rasm. Raqamli qishloq xo'jaligi geoportali dasturiy majmuasining funksional tuzilmasi.

Dasturiy majmua bir nechta funksional modullarni o'z ichiga oladi va quyidagi to'rt pog'onali funksional arxitekturaga ega:

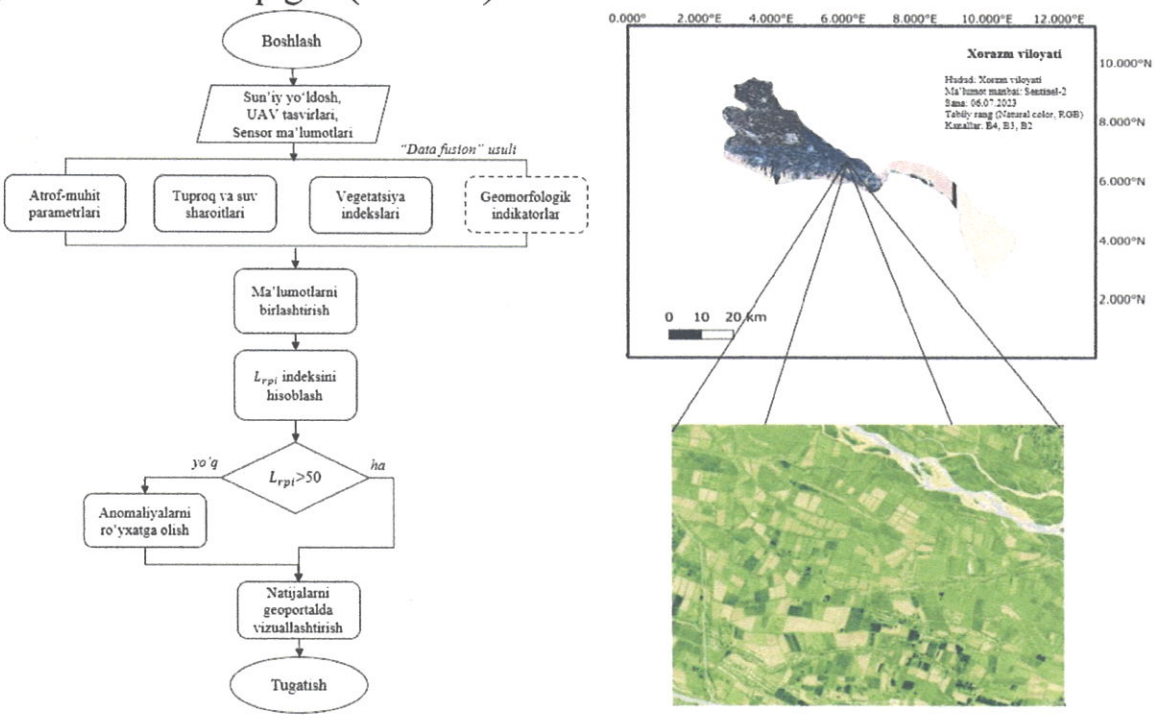
1) ma'lumotlarni yig'ish, shakllantirish va yuklash moduli;
2) geoma'lumotlar bazasi moduli;
3) analitika, hisoblash va integratsiya moduli;
4) geoportal xizmatlarini taqdim etish moduli.

Ma'lumotlarni shakllantirishda turli manbalardan kelgan ma'lumotlarni yagona koordinata tizimiga (WGS84, UTM va boshqalar) keltirish, tasvirlarni spektral diapazonlar bo'yicha moslashtirish va standart formatlarga (GeoTIFF, JPEG2000, CSV, JSON va h. k.) konvertatsiya qilish, sensor ma'lumotlarini vaqt oraliqlarida birlashtirish va ma'lumotlar bazasiga mos shaklga keltirish talab etiladi.

Barcha manbalardan olingan ma'lumotlarni yagona standart formatda saqlash orqali, keyingi tahlil va modellash bosqichlari uchun toza, moslashtirilgan va sinxronlashtirilgan ma'lumotlar bazasi yaratiladi. O'z navbatida ma'lumotlarni yuklash va tayyorlash jarayonlari avtomatlashtiriladi, bu esa inson omilini kamaytiradi va tizim samaradorligini oshiradi.

Tahlil, hisoblash va integratsiya moduli multispektral tasvirlarni tahlil qilish, sifatni yaxshilash, vegitasion indekslarni hisoblash, hamda sun'iy intellekt modellari yordamida yerdan foydalanish samaradorligini baholash va geoportal tizimiga natijalarni integratsiya qilishni amalga oshiradi. Ushbu modul raqamli tasvirlarni qayta ishlashdan tortib, yakuniy analitik xaritalar hosil qilishgacha bo'lgan barcha bosqichlarni avtomatlashtiradi. Tadqiqot ishida yerning qayta tiklanish potensiali indeksi (*RPI*) tabiiy va antropogen omillar ta'sirida yuzaga kelgan stress holatlaridan so'ng, yer resurslarining, xususan, qishloq xo'jaligi maydonlarining ekologik va

iqtisodiy holatini tiklash imkoniyatini baholovchi integral ko'rsatkichini hisoblash algoritmi ishlab chiqilgan (19-rasm).



19-rasm. «Data fusion» usuli yordamida yerning qayta tiklanish potensiali indeksini hisoblash algoritmi va natijasi.

Integrallashgan samaradorlik ko'rsatkichini hisoblashda qishloq xo'jaligi yerlarining umumiy samaradorligi uchun sensor ma'lumotlari, vegitatsiya indekslari hamda yerning qayta tiklanish indeksi natijalariga ko'ra kompleks agroekologik indeks (KAI) taklif etilgan:

$$K\,AI = \propto \cdot RPI_{norm} + \beta \cdot EVI_{norm} + \gamma NDVI_{norm} \quad (8)$$

bu yerda: α, β, γ – vazn koeffitsientlari, ularning yig'indisi 1 ga teng ($\alpha + \beta + \gamma = 1$).

Tajriba asosida: $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.3$, $\gamma = 0.2$. Har bir indeks normallashtiriladi:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (9)$$

Normallashtirilgan qiymatlar 0 dan 1 gacha oraliqda bo'ladi. Shu tarzda, KAI qiymati 0-1 oralig'ida o'zgaradi, bu yerning umumiy agroekologik samaradorlik darajasini (6-jadval) bildiradi.

6-jadval

Baholash mezonlari

KAI qiymati	Baholash darajasi	Izoh
0.00 – 0.25	Past samaradorlik	Sug'orish yoki melioratsiya talab etiladi
0.26 – 0.50	O'rta samaradorlik	Qisman o'simlik qoplami, o'rtacha hosildorlik
0.51 – 0.75	Yaxshi samaradorlik	Yaxshi sug'orilgan va unumdor hududlar
0.76 – 1.00	Yuqori samaradorlik	O'ta sog'lom o'simliklar, barqaror agroekotizim

XULOSA

"Geoma'lumotlar va masofadan zondlash tasvirlariga raqamli ishlov berish usuli, algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqish" mavzusidagi dissertatsiya ishida olingan natijalar bo'yicha quyidagi nazariy va amaliy xulosalar keltiriladi:

1. Masofadan zondlash multispektral tasvirlari, geoma'lumotlar va avtomatlashgan o'lchash qurilmalaridan olingan hududga tegishli sensor ma'lumotlarini raqamli ishlash, ishlab chiqilgan model va algoritmlarni yagona interaktiv geoportalga birlashtirish orqali yaratilgan tizim raqamli qishloq xo'jaligi xizmatlarini tashkil qilishda bir qator afzalliklar va qulayliklarni taqdim qildi. Ushbu tizim qishloq xo'jaligi yerlarini meliorativ va koinotdan kuzatish orqali kompleks tahlil qilish, yerdan foydalanishni tasniflash, kontur chegaralarini aniqlashda inson mehnatini kamaytirish, monitoring qilish samaradorligi, ekin maydonlari mahsuldorligini oshirish kabi yo'nalishlarda qaror qabul qilishga imkon yaratdi.
2. Tadqiqot ishida masofadan zondlash multispektral tasvirlariga raqamli ishlov berish va geoaxborot texnologiyalariga asoslangan holda qishloq xo'jaligi yerlari holatini baholashning ko'p bosqichli tahlil usuli ishlab chiqildi. Ushbu yondashuv tasvirlar, sensorlar ma'lumotlari, multispektral indekslash va geointellektual tizimdan foydalanib qishloq xo'jaligini raqamlashtirish orqali oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlashda, ishlatilgan va ishlatilmagan yerlarning samaradorligini bashoratlashda, kerakli resurslarni samarali ishlatish rejasini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega ekanini ko'rsatdi.
3. Sentinel-2 platformasi va uchuvchisiz uchish qurilmalaridan (UAV) olingan multispektral masofadan zondlash tasvirlariga dastlabki ishlov berish algoritmlari va dasturiy vositasi ishlab chiqildi, bu tasvirlarni fazvoiy va radiometrik tuzatish jarayonlarining aniqligini 10-12% gacha oshirish imkonini berdi.
4. Sun'iy yo'ldosh orqali olingan past va o'rta darajada aniqlikdagi tasvirlar sifatini yaxshilashning kengaytirilgan konvolyutsion neyron tarmoqlariga asoslangan modeli va algoritmi ishlab chiqildi. Ushbu yondashuv keng ko'lamli sun'iy yo'ldosh orqali olingan tasvirlar sifatini yaxshilash orqali tasvirlardagi muhim ma'lumotlarni, ayniqsa tasvirlardagi ekin maydonlari kontur chegaralari aniqligini 1,1 baraborgacha (10 foizgacha) oshirishga imkon yaratdi.
5. Masofadan zondlash tasvirlaridan ekin maydonlarini chegaralarini aniqlashning sun'iy intellektga asoslangan modeli va algoritmi ishlab chiqildi va ekin maydonlarini belgilash samaradorligi oshirildi. Ishlab chiqilgan model standard COCO metrikalari va F1 baholash ko'rsatkichi bo'yicha 89% aniqlikni ko'rsatgan. Natijada ekin maydonlarini konturlash jarayonining avtomatlashtirilishi, inson omili aralashuvining kamayishi, katta maydonlardagi monitoring jarayonlarining tezlashishi va yer resurslaridan samarali foydalanishni ta'minlovchi raqamli agroxaritalar sifatining oshishiga olib keldi.
6. Tasvirlarni intellektual tasniflash va segmentlash bo'yicha chuqur o'qitish texnologiyalariga asoslangan CNN, ResNet, U-Net va bilimlarni transferlash yondashuvi asosida masofadan zondlash tasvirlarini o'qitish va tahlil qilish modellari tadqiq qilingan holda sun'iy yo'ldosh tasvirlarida yerdan foydalanishni tasniflash uchun modifikatsiyalangan TL-ResUnet neyron arxitekturasi va modeli ishlab chiqildi. Natijada, turli spektral diapazondagi kosmik, aerofoto va dron

tasvirlarida agroekotizim elementlarini avtomatik aniqlash, ekinlar qoplami, yaylovlar, suv havzalari kabi yetti xil turdagi sinflarni tasniflash va hosildorlikka ta'sir etuvchi omillarni aniqlash imkoniyati yaratildi. Bunda modelning barcha sinflar bo'yicha IoU ko'rsatkichi 81% ni, qishloq xo'jaligi uchun mo'ljallangan yerlarni tasniflash aniqligi 93% ni tashkil qildi.

7. Avtomatlashgan o'lchash qurilmalari, jumladan iMetos stansiyasi va maxsus sensorlardan yig'ilgan hududning atrof-muhit, tuproq, meliorativ va gidrologik parametrlari bo'yicha olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash algoritmlari, katta hajmli masofadan zondlash tasvirlariga raqamli ishlov berish hamda vegitatsiya indesklarini hisoblash orqali hududlarda yerning qayta tiklanish indeksini hisoblash va samaradorlikni baholash imkoniyati yaratildi. Bunda multispektral tasvirlar yordamida masofadan monitoring qilish, o'lchash qurilmalaridan olingan ma'lumotlarni raqamli ishlash orqali qishloq xo'jaligi ekin maydonlarini tahlil qilish samaradorligini 10-15% ga oshirishga erishildi.

8. Dissertatsiyada belgilangan hududni kompleks tahlil qilish, hududni tasniflash, yerning samaradorlik xususiyatlarini aniqlovchi indekslarni hisoblash va taqdim qilinadigan geoportal xizmatlarini ko'rsatishda foydalanish uchun murakkab geoma'lumotlar bazasi strukturasi ishlab chiqilgan. Hududning atributiv ma'lumotlari, multispektral tasvirlar, sensorlardan olingan ma'lumotlar, analitik tahlillar va natijalar, vektorli qatlamlar ma'lumotlari hamda indekslash natijalarini o'zida saqlaydigan PostgreSQL/PostGIS ga asoslangan ma'lumotlarni saqlashning relatsion modeli yaratilgan. O'z navbatida tadqiqot ishida multispektral va giperspektral kanallardan foydalangan holda hududnig tahlil qilishning spektral indekslar kutubxonasi va ularning tavsiyaviy hisoblash formulalari keltirilgan.

9. Dissertatsiyada umumiy natija sifatida, masofadan zondlash va geoma'lumotlarni geoportal infratuzilmasiga integratsiyalash asosida qishloq xo'jaligi samaradorligini baholash texnologiyasi ishlab chiqilgan hamda veb-GIS va bulutli hisoblash muhitida ishlovchi interaktiv geoportal tizimi yaratildigan. Ushbu tizim masofadan zondlash multispektral tasvirlari, sensorlar ma'lumotlari, geoaxborot texnologiyalari va sun'iy intellekt algoritmlari yordamida yerning hosildorlik samaradorligini aniqlash, yer degradatsiyasini baholash kabi oddiy foydalanuvchilar va mutaxassislar uchun geoportal xizmatlarini taqdim qilish imkonini beradi. Natijada ishlab chiqilgan modellar amaliy joriy etilishi qishloq xo'jaligida resurslardan oqilona foydalanish, hosildorlikni bashoratlash va ekologik xavfsizlikni ta'minlash imkonini bergan.

Mazkur dissertatsiya raqamli agrogeotizimlar, masofadan zondlash, geoaxborot tizimlari va sun'iy intellekt texnologiyalarini integratsiyalash orqali barqaror qishloq xo'jaligini boshqarishning yangi ilmiy yo'nalishini shakllantirgan bo'lib, o'zining nazariy yangiligi, amaliy ahamiyati va metodologik yechimlari bilan «Raqamli O'zbekiston – 2030» strategiyasiga muvofiq dolzarb ilmiy natijalarni taqdim etadi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.T.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ

КУЧКОРОВ ТЕМУРБЕК АТАХОНОВИЧ

РАЗРАБОТКА МЕТОДА, АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОДАННЫХ И ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ (DSc)

Ташкент 2025

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером NoB2024.2.DSc/T786.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Автореферат диссертации размещён на трёх языках (узбекском, русском и английском (резюме)) на веб-сайте Учёного совета (www.tuit.uz) и на информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:	**Джуманов Жамолжон Худайкулович** доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	**Кабулов Анвар Василович** доктор технических наук, профессор
	Мухамедиева Дилноз Тулкуновна доктор технических наук, профессор
	Бабажонов Элмурод Сатимбаевич доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Каракалпакский государственный университет имени Бердака

Защита диссертации состоится на заседании Учёного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий в часа: 14⁰⁰, «25» декабря 2025 года. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, дом 108. Тел.: (+99871) 238-64-89; факс: (+99871) 238-65-52; эл. почта: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер № 385). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, дом 108. Тел.: (+99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «03» декабря 2025 года.
(протокола рассылки № 35 от «01» 12 2025 года)

М.М. Мусаев
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Э.Ш. Назирова
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Дж.Б. Султанов
Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и необходимость темы исследования. В последние годы во всём мире обработка мультиспектральных и гиперспектральных изображений, полученных с помощью спутниковых систем и беспилотных летательных аппаратов (UAV), а также разработка геоинтеллектуальных программных комплексов на основе цифровой обработки данных, искусственного интеллекта и геоинформационных технологий приобретают важное значение в различных отраслях экономики, включая мониторинг окружающей среды, прогнозирование погоды, градостроительное проектирование, транспорт и сельское хозяйство. Особенно актуальны задачи интеллектуального анализа геоданных и данных дистанционного зондирования для решения проблем землепользования в сельском хозяйстве, дистанционного определения границ и классификации посевных площадей, мониторинга сельскохозяйственных культур, оценки индекса потенциала восстановления земель, а также прогнозирования необходимости использования ресурсов для конкретных территорий. Решение указанных задач требует научно обоснованных и практических подходов. В связи с этим в развитых странах активизируются исследования, направленные на разработку новых методов, алгоритмов и программных комплексов в данной области. В частности, значительные работы и исследования по разработке приложений на основе данных дистанционного зондирования, обработке мультиспектральных изображений и созданию интерактивных геопорталов на базе геоинформационных технологий проводятся в Германии, Чехии, Испании и Швейцарии, а также в Великобритании, США, Японии и Китае.

На мировом научно-теоретическом уровне ведутся исследования по интеллектуализации процессов обработки геоданных за счёт разработки математических, алгоритмических и программных моделей, основанных на технологиях дистанционного зондирования и геоинформационных системах в рамках формирования цифровой информационной инфраструктуры. Основное внимание уделяется интеграции сенсорных сетей и алгоритмов глубокого обучения в процесс анализа данных дистанционного зондирования, работе с большими объёмами пространственных данных, а также созданию геоинтеллектуальных систем.

В Узбекистане особое внимание уделяется повышению эффективности цифровых сервисов в сельском хозяйстве путём анализа и цифровой обработки геоданных и сложно структурированных изображений дистанционного зондирования с применением технологий искусственного интеллекта и алгоритмов компьютерного зрения, алгоритмов обработки данных, полученных автоматизированными измерительными устройствами, а также внедрения геоинформационных технологий. При этом основными задачами являются предварительная обработка мультиспектральных и гиперспектральных изображений, распознавание границ посевных полей на основе данных дистанционного зондирования, классификация и сегментация

землепользования. Кроме того, развитие теории интеллектуальной обработки высокоточных и сложно структурированных изображений, совершенствование архитектур и моделей сверточных нейронных сетей, а также разработка интерактивного геопортала для представления геоданных и его внедрение в отрасль позволяют существенно повысить эффективность предоставления цифровых сельскохозяйственных услуг.

В пункте б Постановления[1] Президента Республики Узбекистан от 17 февраля 2021 года № PQ-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» определены задачи по применению технологий искусственного интеллекта в приоритетных отраслях и секторах, в т. ч. в сфере сельского хозяйства, при мониторинге состояния почвы и сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования земли. Также для повышения эффективности сельского и водного хозяйства, экологии, градостроительства и других сфер в стране предусмотрено исполнение задач, обозначенных в Указе[2] Президента Республики Узбекистан от 30 августа 2019 года № PF-5806 «О развитии космической деятельности в Республике Узбекистан», связанных с развитием деятельности в области дистанционного зондирования земли и навигационных систем. Кроме того, Постановление[3] Президента Республики Узбекистан от 2 августа 2023 года № PQ-257 «О мерах по внедрению передовых цифровых технологий в сферу сельского хозяйства» определяет комплекс задач, направленных на широкое внедрение современных цифровых технологий в отрасль, эффективное использование земельных и водных ресурсов, а также создание межведомственных информационных систем мониторинга состояния сельскохозяйственных культур. В рамках данных задач предусмотрено внедрение платформы для оказания услуг по анализу геоинформационных технологий и космических изображений, создание системы независимого мониторинга выделенных посевных площадей и сельскохозяйственных культур для производителей и кластеров на основе анализа мультиспектральных космических снимков, раннее выявление проблем и разработка рекомендаций по повышению урожайности.

Соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Зарубежные исследователи, профессора высших учебных заведений и

---

[1] Постановления Президента Республики Узбекистан от 17 февраля 2021 года № PQ-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» (https://lex.uz/docs/-5297046)

[2] Указе Президента Республики Узбекистан от 30 августа 2019 года № PF-5806 «О развитии космической деятельности в Республике Узбекистан» (https://lex.uz/en/docs/-4494500)

[3] Постановление Президента Республики Узбекистан от 2 августа 2023 года № PQ-257 «О мерах по внедрению передовых цифровых технологий в сферу сельского хозяйства» (https://lex.uz/uz/docs/-6553993?ONDATE=15.08.2025%2000)

ведущие учёные научно-исследовательских институтов проводят широкий спектр научных работ в направлениях анализа геоданных и цифрового сельского хозяйства на основе изображений, полученных со спутников и беспилотных летательных аппаратов. Например, по данным базы Scopus и портала SCImago, в научных изданиях издательства MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) за последнее десятилетие (2014-2024 гг.) опубликованы около 30000 статей[1] по направлению дистанционного зондирования, из них более 1000 – аналитические статьи и свыше 26 000 – научные. В направлении геоинформационных технологий и анализа геоданных опубликованы более 11000 научных работ[2], из них 765 аналитических статей, 9873 научных статей и 126 тезисов, представленных на научных конференциях. Из приведённых данных следует, что по тематике данной диссертации в мире проводится значительное количество научных исследований. Основная доля исследователей приходится на учёных из стран Европы, США, Китая и Японии.

Зарубежные ведущие учёные выполняют исследования по широкому кругу тематик. В частности, профессор Венского технического университета (Австрия) Dr. Wolfgang Wagner занимается мониторингом состояния почвы и гидрогеологических изменений земной поверхности на основе данных дистанционного зондирования и геоданных. Ведущий научный сотрудник Колумбийского университета (США) Dr. Christopher Small исследует анализ геоданных, спектральные характеристики при классификации данных дистанционного зондирования и мониторинг градостроительных процессов. Профессор Университета Южной Каролины Dr. John R. Jensen осуществляет исследования в области экологического мониторинга. Профессор Бостонского университета Dr. Magaly Koch проводит исследования по гидрогеологическому и геологическому мониторингу, наблюдению за водными ресурсами и процессами вегетации на основе данных дистанционного зондирования. Профессор Швейцарского федерального технологического института Цюриха Dr. Lars T. Waser занимается моделированием и мониторингом процессов вегетации, наблюдением за состоянием сельскохозяйственных культур, лесов и окружающей среды на основе космических и UAV-изображений. Профессор Университета естественных наук г. Праги (Чехия) Dr. Jitka Kumhalova проводит исследования по получению изображений Sentinel-2 и UAV, их предварительной цифровой обработке, мониторингу вегетационных процессов сельскохозяйственных культур, а также состоянию и влажности почвы.

Перечисленные выше исследования и научные подходы охватывают широкий круг задач, связанных с мониторингом окружающей среды, классификацией землепользования, анализом изменений растительного покрова, мониторингом глобальных климатических изменений, изучением

---

[4] https://www.mdpi.com/search?q=remote+sensing&year_from=2014&year_to=2024
[5] https://www.mdpi.com/search?q=GIS&year_from=2014&year_to=2024

водных ресурсов, а также обработкой мультиспектральных и сложно структурированных данных дистанционного зондирования в цифровом сельском хозяйстве. В данных работах рассматриваются вопросы применения технологий искусственного интеллекта, глубоких нейронных сетей и геоинформационных технологий для повышения экономической эффективности.

Настоящая диссертация также направлена на решение вопросов, которые остаются недостаточно изученными в вышеперечисленных научных исследованиях. А именно: на разработку интеллектуальных методов цифровой обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования, анализ геоданных, обработку информации, полученной от автоматизированных измерительных устройств, а также применение технологий искусственного интеллекта для повышения качества и экономической эффективности цифровых сельскохозяйственных услуг на территориях республики.

Степень изученности проблемы. В данном направлении исследований в крупных компаниях и организациях развитых стран (таких как Copernicus, ESA, GFW) применяются различные методы и модели для анализа и цифровой обработки космических изображений и данных дистанционного зондирования. Во многих научных центрах мира, в частности, в США, Германии, Чехии, Швейцарии, России, Японии и Китае, ведутся научные исследования, направленные на разработку программных средств на основе технологий дистанционного зондирования, цифровой обработки спутниковых изображений, а также моделей и алгоритмов глубокого обучения. Известные зарубежные учёные, такие как W. Wagner, Ch. Small, R. Jensen, B. Alias, Magaly Koch, Lars T. Waser, R. Karzika, D. Derksen, Mark Prit, G. Chern, V. Poulain, J. Inglada, V. Paugxon, L. Bris, S. Mallet, X. Saxbi, A. Stoian, Sh.B. Mansor, X.Z. Mohd-Shafri, A.I. Ponamarchuk, Ye.S. Cherepanova, A.N. Shikhov, J. Kumhalova, L. Tuma проводят исследования в области анализа и классификации данных дистанционного зондирования и спутниковых изображений. Учёные O. Ronneberger, F. Fischer, T. Brokx, O. Tasar, Yu. Tarabalka, P. Alliez, Sh. Minae, Yu. Boykov, A. Plaza, D. Terzopoulos, T.K. Wangbo, X. Shen, X. Zhao, J. Shi, J. Jia работают над созданием широко применяемых моделей и алгоритмов для сегментации изображений, обработки сложно структурированных космических снимков с использованием нейронных сетей и методов глубокого обучения.

В работах ряда учёных научно-исследовательских учреждений нашей республики также рассматриваются вопросы дистанционного зондирования, анализа геоданных, разработки алгоритмов и методов обработки космических изображений, а также формирования геоинформационных баз данных. В частности, исследования в данных направлениях проводят Р. Усманов, Ш. Фозилов, Х.Н. Зайнитдинов, У.Р. Хамдамов, Ж.Х. Джуманов, К. Сейтназаров, Р. Отениязов, Ш. Шокиров, И.М. Мусаев, Н. Худайкулов, А. Пулатов, И. Абдурахманов.

В настоящее время недостаточно изученными остаются вопросы одновременной обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования, сенсорных данных, полученных автоматизированными измерительными устройствами, значений вегетационных индексов и геоморфологических индикаторов, хранения этих данных в геоинформационных базах, а также их комплексного анализа путём синтеза изображений, сенсорных данных и геоданных. Недостаточно разработаны интеллектуальные методы, модели и алгоритмы для оценки и прогнозирования эффективности сельскохозяйственных угодий на основе такого интегрированного подхода.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Настоящая диссертационная работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий в соответствии с проектами, реализованными в рамках программы Erasmus+: 597985-EPP-1-2018-1-KZ-EPPK2-CBHE-JP «Новые и инновационные курсы для цифрового сельского хозяйства» (2018–2022 гг.). Работа связана с выполнением задач, определённых Постановлением Президента Республики Узбекистан от 6 июля 2022 года № PQ-307 «О мерах по организации реализации Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022-2026 годы», по направлению: «Создание национальной геоинформационной системы геологических данных» (2023 г.). Диссертация также выполнена в рамках научно-практического проекта: № I-AT-2021-493 «Разработка инновационного устройства для дистанционного определения уровня, температуры и электрической проводимости подземных вод» (2022-2023 гг.).

Цель исследования заключается в разработка метода, моделей, алгоритмов и программного комплекса для цифровой обработки геоданных и мультиспектральных изображений дистанционного зондирования, а также создании геопортала цифрового сельского хозяйства.

Задачи исследования:

проанализировать технологии дистанционного зондирования, методы цифровой обработки мультиспектральных изображений, алгоритмы классификации землепользования на основе традиционных и искусственного интеллекта методов, а также подходы к предоставлению цифровых сервисов в сельском хозяйстве;

разработать метод организации цифровых сервисов в сельском хозяйстве, основанный на цифровой обработке изображений дистанционного зондирования и геоинформационной модели;

разработать модели и алгоритмы предварительной обработки и повышения качества мультиспектральных изображений, полученных с платформы Sentinel и беспилотных летательных аппаратов (UAV);

разработать модифицированную модель и алгоритмы классификации землепользования и определения границ сельскохозяйственных угодий на основе методов глубокого обучения;

разработать модель и алгоритм расчёта индекса восстановления земель и потенциала повторного использования на основе данных сенсоров, больших массивов данных дистанционного зондирования и мультиспектральных индексов;

разработать алгоритмы интеграции геоданных и изображений дистанционного зондирования в геопортал, а также функциональную структуру программного комплекса для оценки эффективности сельскохозяйственных земель.

Объект исследования. В качестве объекта исследования рассматриваются мультиспектральные изображения, полученные с платформы Sentinel и беспилотных летательных аппаратов (UAV), а также процессы цифровой обработки экспериментальных данных дистанционного зондирования и анализа геоданных.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы цифровой обработки изображений, теория матрицы геоданных, модели на основе глубокого обучения, а также алгоритмы обработки данных сенсоров и геоданных.

Методы исследования. В процессе исследования использованы теория цифровой обработки изображений и сигналов, теория математического моделирования, теория векторов и матриц, методы дистанционного зондирования и анализа геоданных, теория пространственных данных, теория вероятностей, глубокие нейронные сети, а также методы численных вычислений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан многоэтапный метод анализа состояния сельскохозяйственных земель на основе теории цифровой обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий;

разработаны модель и алгоритм повышения качества мультиспектральных изображений платформы Sentinel-2 и беспилотных летательных аппаратов на основе расширенной сверточной нейронной сети;

разработана модифицированная модель TL-ResUnet для автоматического определения контурных границ сельскохозяйственных угодий и классификации землепользования на основе повышения пространственного и спектрального разрешения мультиспектральных изображений;

разработаны модель и алгоритм расчёта индекса потенциала восстановления земель на основе цифровой обработки больших массивов данных дистанционного зондирования и данных, полученных от автоматизированных измерительных устройств;

создана функциональная структура программного комплекса для картографирования агроиндикаторов и разработан алгоритм оценки эффективности сельскохозяйственных земель на основе интеллектуальной системы интеграции геоданных и данных дистанционного зондирования в единый геопортал.

Практические результаты исследования:

разработаны алгоритмы и программное обеспечение для предварительной обработки мультиспектральных изображений дистанционного зондирования, полученных с платформы Sentinel-2 и беспилотных летательных аппаратов (UAV), что позволило повысить точность процессов пространственной и радиометрической коррекции на 10-12%;

разработан алгоритм определения границ посевных площадей на основе технологий глубокого обучения и сверточных нейронных сетей, в результате чего точность автоматического выделения контуров аграрных земель по мультиспектральным изображениям увеличена на 9%, а процессы мониторинга землепользования были ускорены;

создано программное обеспечение для сегментации и классификации земельных ресурсов на основе модифицированной нейронной архитектуры TL-ResUnet, что обеспечило повышение точности классификации и сегментации типов земного покрова и землепользования по спутниковым изображениям, а также сокращение времени обработки;

разработан алгоритм расчёта индекса восстановления земель и оценки их эффективности на основе геоданных и мультиспектральных изображений; использование дистанционного мониторинга и цифровой обработки данных, полученных от измерительных устройств, позволило повысить эффективность анализа сельскохозяйственных угодий на 10-15%;

разработаны цифровой геопортал и программный комплекс, интегрирующие результаты дистанционного зондирования и геоданных, что обеспечило возможность онлайн-оценки состояния сельскохозяйственных земель, формирования карт агроиндикаторов и автоматизации цифровых сельскохозяйственных сервисов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается экспериментальными испытаниями, проведёнными на основе реальных мультиспектральных изображений, полученных с платформы Sentinel-2 и беспилотных летательных аппаратов (UAV). Точность классификации и анализа изображений подтверждена строгими математическими и статистическими вычислениями. Разработанная модель TL-ResUnet и алгоритмы расчёта индекса повторного использования земель были протестированы в средах SNAP, MATLAB, Python (TensorFlow, Keras) и QGIS, а также сравнены с существующими классическими моделями (например, DeepLab), что показало их преимущество по точностным показателям.

Модули цифровой обработки мультиспектральных изображений и геоинформационного анализа были протестированы на платформах QGIS и Google Earth Engine. Достоверность оценки многослойных геоданных (на основе индикаторов NDVI, NDWI, EVI) подтверждена соответствием экспериментальным данным. Полученные в ходе исследования результаты подтверждены статьями, опубликованными в международных научных журналах, докладами на конференциях и программными свидетельствами, а

их практическая ценность проверена в процессе разработки цифровых агромониторинговых систем.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается во внесении вклада разработанных методов, моделей и алгоритмов в перспективное развитие теоретических основ цифровой обработки геоданных и мультиспектральных изображений дистанционного зондирования, повышения качества изображений и их классификации.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности применения разработанного программного комплекса и геопортала, основанных на методах цифровой обработки данных дистанционного зондирования и геоинформационной модели, в процессе организации цифровых сельскохозяйственных сервисов.

Внедрение результатов исследования в практику. В рамках диссертационного исследования на основе разработанных методов, алгоритмов и программного комплекса цифровой обработки геоданных и изображений дистанционного зондирования были внедрены следующие решения:

многоуровневый метод оценки состояния сельскохозяйственных земель на основе цифровой обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий, а также модель повышения качества мультиспектральных изображений платформы Sentinel-2 и беспилотных летательных аппаратов (UAV) внедрены в систему мониторинга подземных вод наблюдательных скважин Государственного учреждения «Узбекгидрогеология» Министерства горно-добывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан – «Аральская гидрогеологическая экспедиция». (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/4337 от 23 июня 2025 г.) В результате обеспечена возможность многоуровневого анализа и визуализации тематических данных в сельскохозяйственном мониторинге;

модель TL-ResUnet, основанная на пространственной сегментации для определения контурных границ сельскохозяйственных земель и классификации землепользования, а также когнитивная модель и алгоритм цифровой обработки больших массивов данных дистанционного зондирования и данных сенсоров внедрены в деятельность интегратора государственных информационных систем «Uzinfocom» (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/4337 от 23 июня 2025 г.) В результате повышены скорость и точность автоматической классификации землепользования, оценки состояния сельскохозяйственных угодий и определения контуров аграрных территорий;

алгоритм расчёта индекса потенциала повторного использования земель, алгоритм оценки эффективности сельскохозяйственных угодий и функциональная структура программного комплекса для картографирования агроиндикаторов, основанные на интеллектуальной системе интеграции геоданных и изображений дистанционного зондирования в единый геопортал,

внедрены в отдел сельского и водного хозяйства Хазараспского района Хорезмской области (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/4337 от 23 июня 2025 г.). В результате обеспечено повышение эффективности дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель, цифровой обработки данных измерительных устройств, картографирования аграрных угодий, анализа посевных площадей и оценки урожайности на 10-15%.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были апробированы на 18 научно-практических конференциях, включая 10 международных и 8 республиканских.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 47 научных работ, из них: 21 научная статья в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, включая 10 международных статей (в т.ч. 6 статей, индексируемых в Scopus) и 11 статей в республиканских научных журналах, 1 монография по теме исследования, 2 учебных пособия с грифом, получены 6 свидетельств о регистрации программных средств для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 200 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **Введении** изложены актуальность темы исследования, степень её изученности, цель, задачи, объект и предмет исследования, использованные методы и научная гипотеза, основные результаты и научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, внедрение и экспериментальная проверка полученных результатов, публикационная активность, применённые модели и алгоритмы, область применения и этапы реализации исследования.

Первая глава диссертации **«Теоретические основы и перспективы развития цифровой системы сельского хозяйства, основанной на цифровой обработке данных дистанционного зондирования, сенсорных сетях и геоинформационной модели»** посвящена следующим вопросам: анализу современных направлений развития технологий дистанционного зондирования и международного опыта в сфере цифровых сельскохозяйственных сервисов, теоретическим основам инфраструктуры геоданных и цифровой обработки мультиспектральных изображений, теоретическим аспектам геоинформационных технологий обработки мультиспектральных изображений UAV и спутников, этапам формирования цифрового агро-геопортала, а также постановке проблемы исследования, его цели и научных подходов к её решению в рамках концепции цифрового сельского хозяйства.

По результатам анализа установлено, что ведущими странами по использованию посевных площадей являются Индия, Китай и США. В настоящее время на одного жителя Земли приходится в среднем около 0,2 га сельскохозяйственных площадей. По сравнению с 2000 г. данный показатель значительно снизился – с 0,24 га до 0,2 га, что связано с ростом численности населения. Уменьшение доступных посевных площадей требует постоянного мониторинга и анализа их состояния, повышения точности и эффективности обработки высокоразрешённых и сложно структурированных изображений, совершенствования моделей и архитектур нейронных сетей, алгоритмов обработки данных, полученных от автоматизированных измерительных устройств, а также разработки интерактивного геопортала для предоставления геоданных. Всё это обусловливает необходимость значительного повышения эффективности цифровых сельскохозяйственных сервисов.

Отсутствие полной и структурированной базы геоданных и необходимых сведений, а также недостаточное использование современных технологий в процессах планирования урожайности и управления сельскохозяйственными угодьями существенно замедляет цифровизацию отрасли. Недостаточная разработанность модифицированных алгоритмов цифровой обработки мультиспектральных и гиперспектральных изображений для сельскохозяйственных территорий – одна из слабоизученных проблем. Отсутствие реализованных алгоритмов интеграции данных сенсоров и изображений, а также расчёта индекса повторного использования или восстановления земель создаёт трудности в комплексной оценке состояния территорий.

Установлено также, что отсутствуют или недостаточно разработаны модифицированные модели и алгоритмы поэтапного повышения качества спутниковых изображений, основанные на методах сверточных нейронных сетей. Анализ показал, что отсутствует полноценный интерактивный геопортал, обеспечивающий визуализацию результатов цифровой обработки данных сельскохозяйственных угодий в открытых геоинформационных системах и предоставляющий широкий спектр цифровых агросервисов для пользователей и специалистов.

Ниже приводится сравнительная таблица, демонстрирующая сопоставительный анализ существующих тематических систем, предоставляющих цифровые сельскохозяйственные сервисы через геопорталы и геосервисы по основным показателям (табл. 1).

Таблица 1

Анализ существующих систем и практических решений

Показатель / Система	Onesoil.ai	NASA Harvest	Copernicus CLMS	Agrohub Uzbekistan	ISRO Bhuvan
Источник данных	Sentinel-2, Landsat	Sentinel, Landsat, MODIS	Sentinel-2, SPOT	Sentinel-2	IRS, CartoSat
Расчёт мультиспектральных индексов	Имеется	Имеется	Имеется	NDVI, EVI, анализ орошения	Имеется

Модели SI	Имеются	Имеются	Только статический анализ	Отсутствует	Отсутствует
Пользовательский интерфейс	Профессио-нальный GIS	Для исследова-телей	WebGIS	Для фермеров и исследова-телей	Государствен-ный мониторинг
Расчёт индекса восстановления земель	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Степень открытости	Открытая	Частично открытая	Открытая	Открытая	Ограниченная

Геоданные *(геопространственные данные, geospatial data)* представляют тип данных, основанный на информации о местоположении, описывающей территории, объекты, явления и другие характеристики поверхности Земли (рис. 1). В рамках исследований и практического применения геоданные, как правило, подразделяются на четыре категории: данные дистанционного зондирования (растровые данные), векторные данные, данные GPS, а также географические метаданные. Настоящая диссертационная работа преимущественно охватывает цифровую обработку растровых данных, сформированных посредством дистанционного зондирования, использование векторных данных для сервисов геопортала, а также принципы и методы работы с метаданными.

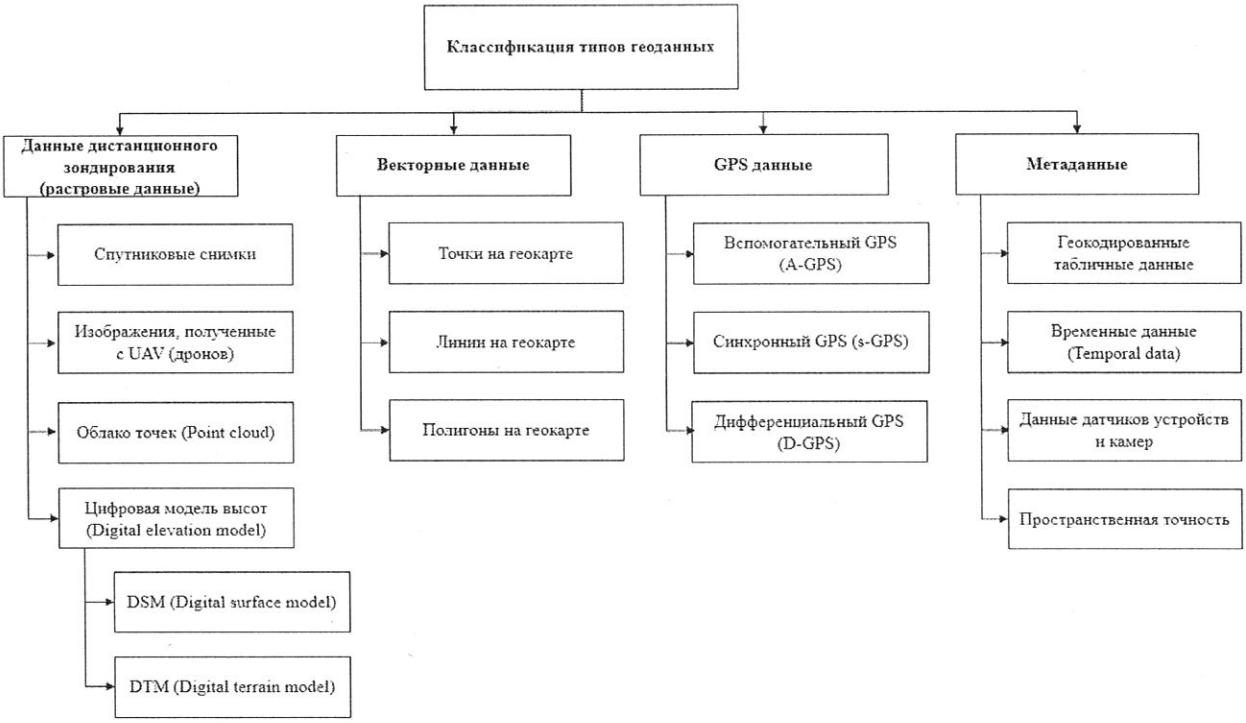


Рис. 1. Классификация геоданных.

Геопространственные данные классифицируются в зависимости от типа пространственного объекта, которому принадлежат переменные, а также от степени измерения этих переменных. В исследовании величины $Z_1, Z_2, Z_3, \ldots..,$ Z_k рассматриваются как k переменных, описывающих геопространственный

объект, а S обозначает местоположение точки или области. В общем виде матрица геоданных представляется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} z_1(1) & z_2(1) & \cdots & z_k(1) & \mathbf{s}(1) \\ z_1(2) & z_2(2) & \cdots & z_k(2) & \mathbf{s}(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_1(n) & z_2(n) & \cdots & z_k(n) & \mathbf{s}(n) \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Case } 1 \\ \text{Case } 2 \\ \vdots \\ \text{Case } n \end{matrix} \qquad (1)$$

Здесь выражение $\{z_1(i),\ z_2(i), \dots \dots \dots, z_k(i)|s(i)\}_{i=1,\dots\dots,n}$ соответствует данным по k переменным и геоданным для случаев $i = 1, \dots, n$. Вектор $s(i)$ представляет пространственное расположение и описывает геоданные для каждого случая i. Поскольку построение модели геоданных является процессом, непосредственно зависящим от времени, матрица данных также формируется с учётом временной зависимости.

В диссертационном исследовании предложен многоэтапный метод анализа состояния сельскохозяйственных земель, основанный на цифровой обработке мультиспектральных изображений дистанционного зондирования и геоинформационных технологиях. Взаимосвязанные и последовательно выполняемые этапы предлагаемого метода представлены на рис. 2. Формирование мультиспектральных изображений дистанционного зондирования, их предварительная цифровая обработка, а также модель повышения качества изображений (super-resolution) изложены во второй главе диссертации и обоснованы как элементы научной новизны. Модифицированная модель определения контурных границ аграрных участков и классификации землепользования приведена в третьей главе и также обоснована как научная новинка. Этап цифровой обработки данных, полученных от автоматизированных измерительных устройств и сенсоров, а также проектирование базы геоданных рассмотрены в четвёртой главе. Этап расчёта индекса восстановления земель, оценки эффективности и интеграции в геопортал на основе геоинтеллектуального подхода изложен и обоснован в заключительной главе диссертации.

Рис. 2. Основные этапы многоэтапного метода цифровой обработки мультиспектральных изображений дистанционного зондирования и оценки состояния сельскохозяйственных земель на основе геоинформационных технологий.

Общая математическая модель геоинтеллектуальной интеграции в геопортал выражается в виде (2):

$$\mathcal{G}: (D, S) \overset{\text{AI + GIS}}{\rightarrow} \{L(x, y), C_i, E_i\}, \tag{2}$$

где $\mathcal{G}$ – функция геоинтеллектуального портала, объединяющая все модули в едином информационном пространстве.

Итак, в общем случае, если входы системы обозначить как χ, а выходы как Υ, то $\chi = D \times S$ и $\Upsilon = \mathcal{L} \times C \times \mathcal{E}$ (классы × контуры × индексы) обобщаются, и геопортальная система $\mathcal{G}$ выражается следующим образом:

$$\mathcal{G}: \chi \longrightarrow \Upsilon \ (\textit{Результаты геопортала}) \tag{3}$$

В рамках исследования в качестве входных параметров рассмотрены: параметры окружающей среды ($SP_1^{P_i}$), водные и почвенные условия ($SP_2^{P_i}$), вегетационные индексы ($SP_3^{P_i}$), мультиспектральные изображения ($SP_4^{P_i}$), – геоморфологические индикаторы ($SP_5^{P_i}$), здесь $P_i, i = \{1 \dots \dots n\}$ обозначает отдельные параметры внутри каждого класса параметров.

Во второй главе диссертации **«Интеллектуальные аппаратно-программные модели формирования, цифровой обработки и повышения качества космических изображений»** приведены сведения о следующих научных и практических результатах: этапах формирования изображений дистанционного зондирования на искусственных спутниках Земли, методах обработки мультиспектральных космических изображений, этапах формирования изображений дистанционного зондирования с использованием UAV, моделях и алгоритмах обработки данных, математических моделях двухмерных изображений дистанционного зондирования, много параметрическом анализе точности и особенностях мультиспектральных каналов, разработке модели суперразрешения на основе сверточных нейронных сетей для повышения качества мультиспектральных изображений, а также алгоритме повышения разрешения с использованием панхроматического канала.

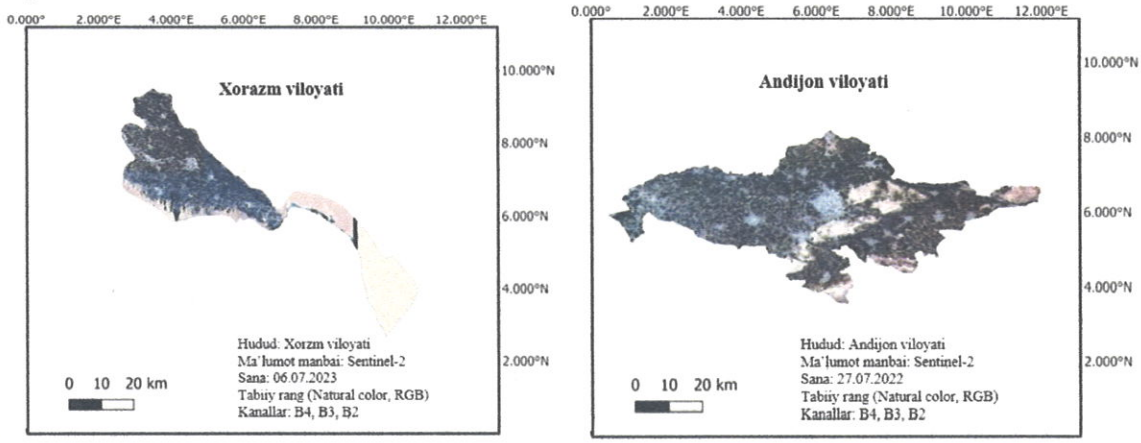


Рис. 3. Вид территории Хорезмской и Андижанской областей, по данным Sentinel-2.

Для данного исследования в качестве опытных территорий выбраны северные регионы Республики Узбекистан, Хорезмская область, а также для сравнения результатов – Андижанская область, расположенная на юго-восточной окраине страны (рис. 3).

Хорезмская область располагается на северо-западе Республики Узбекистан, её площадь 6,1 тыс. км^2, что соответствует 1,4% территории страны. Общая площадь сельскохозяйственных земель области 408,7 тыс. гектаров, а общая посевная площадь – 262,1 тыс. гектаров. Основные направления сельского хозяйства – хлопководство, зерноводство, виноградарство, животноводство и овощеводство.

Для формирования изображения территории Хорезмской области использованы три данных Level-1C со спутника Sentinel-2B от 06.07.2023 г. Мультиспектральные изображения Sentinel-2B объединены в виде четырёх отдельных мозаик с использованием программного обеспечения SNAP (рис. 4). Из полученного крупноформатного изображения необходимый участок исследуемой территории выделен путём наложения и обрезки по слою shapefile. Набор данных включает 13 спектральных каналов.

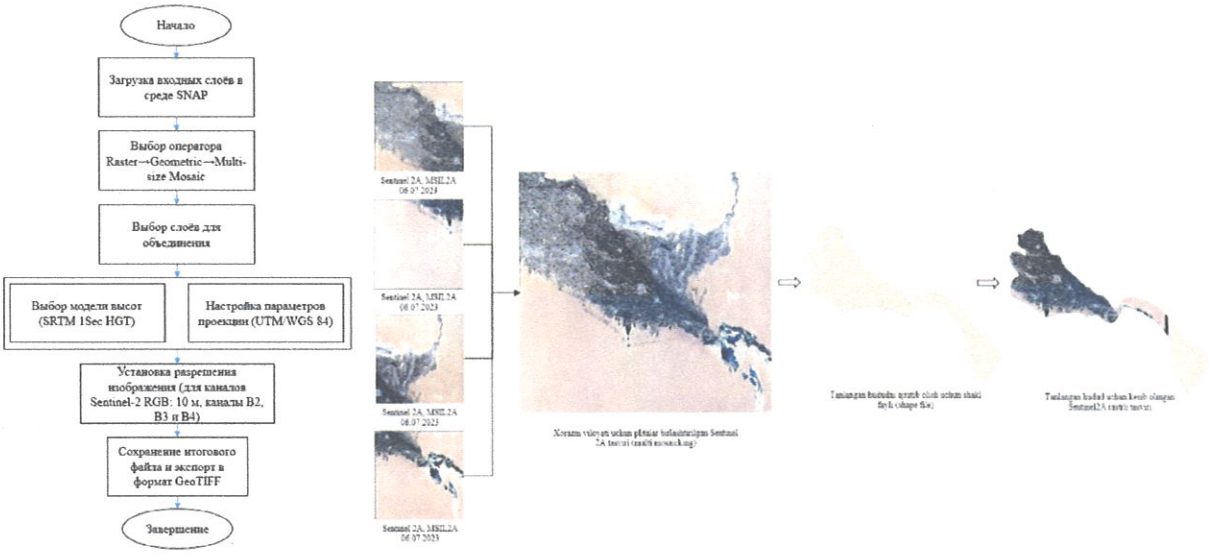


Рис. 4. Ортомозаика выбранной территории и формирование растрового изображения (Хорезмская область).

Для выбранного участка Хорезмской области четыре отдельных сцены Sentinel-2 были объединены, после чего с использованием программного обеспечения SNAP сформирована ортомозаика, предназначенная для последующей работы с растровыми данными в едином формате .geotiff.

Общее математическое выражение данных дистанционного зондирования задаётся формулой:

$$I(x, y, \lambda_i) \tag{4}$$

где x и y – пространственные координаты, $I(x, y)$ значение пикселя, отражающее интенсивность излучения или отражения для заданной территории (например, *1 км × 1 км*), λ_i – номер спектрального канала в данных дистанционного зондирования (i = *1 ..... n*). Таким образом, одноканальное

изображение дистанционного зондирования обозначается как $I(x, y)$. Например, изображения миссии Sentinel-2 выражаются как $I(x, y, \lambda)$, поскольку Sentinel-2 содержит 13 спектральных каналов, то

$\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{13}\}$. В общем виде математическая модель имеет вид:

$$I_\lambda(x, y) = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \rho(x, y, \xi) \cdot \Phi(\xi, \theta, \psi) \cdot \tau(\xi) d\xi + \varepsilon(x, y) \quad (5)$$

где

$I_\lambda(x, y)$ – зарегистрированная интенсивность для i-го спектрального канала;
$\rho(x, y, \xi)$ – спектральная отражательная способность объекта (reflectance);
$\Phi(\xi, \theta, \psi)$ – спектральная плотность солнечного излучения, где θ и ϕ – угловые координаты;
$\tau(\xi)$ – коэффициент пропускания атмосферы (transmittance);
λ – диапазон длин электромагнитных волн;
$\varepsilon(x, y)$ – шумовая компонента (noise).

При описании изображений дистанционного зондирования (рис. 5) могут учитываться тип сенсора (активный, пассивный), а также разрешение изображения (*пространственное, радиометрическое, временное, спектральное*). Здесь λ_i обозначает число каналов и диапазон длин волн при формировании мультиспектрального изображения. Упрощённо дискретное изображение можно представить как гиперматрицу $\boldsymbol{C}$ размером $\boldsymbol{m \times n \times k}$, где i, j, k – индексы: i и j – индексы пикселей, k – индекс спектрального канала. При $m = n = k = 3$ изображение представлено в виде трёхмерной структуры $C(m, n, k)$, где элемент C_{ijk} соответствует одному значению пикселя.

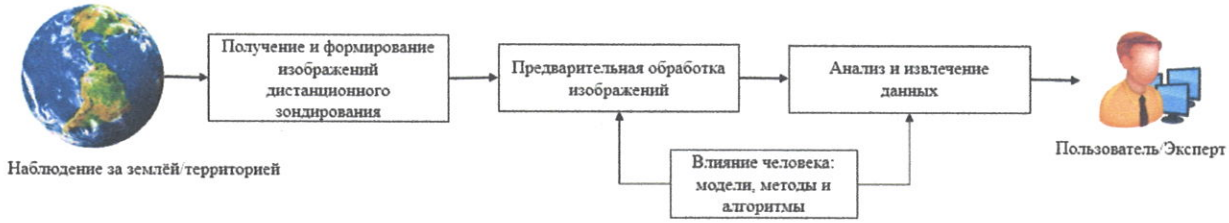


Рис. 5. Общая схема этапов использования данных дистанционного зондирования.

Повышение четкости и качества изображений является одним из важнейших этапов при выполнении задач анализа изображений, распознавания, классификации и детального изучения сложно структурированных спутниковых снимков. На спутниковых изображениях со сложной структурой невозможно достичь высоких результатов при распознавании и классификации на мелких масштабах, если исходные данные имеют низкое разрешение. Поэтому изображения с низким, средним и высоким пространственным разрешением обладают различными возможностями, и размеры изображения играют ключевую роль при решении задач, связанных с пространственным анализом. В рамках данного исследования предложены алгоритмы, разработанные на основе модели

суперразрешения и метода объединения панхроматического и мультиспектральных каналов.

Для увеличения яркости мультиспектральных каналов применяется процедура паншарпенинга, объединения панхроматического канала с мультиспектральными данными. Общий алгоритм объединения панхроматического и мультиспектральных каналов приведён на рис. 6.

Согласно алгоритму, для выбранной области берутся мультиспектральное изображение и соответствующий ему панхроматический канал. Цветное изображение в формате I_{rgb} преобразуется в пространство I_{hvs}.

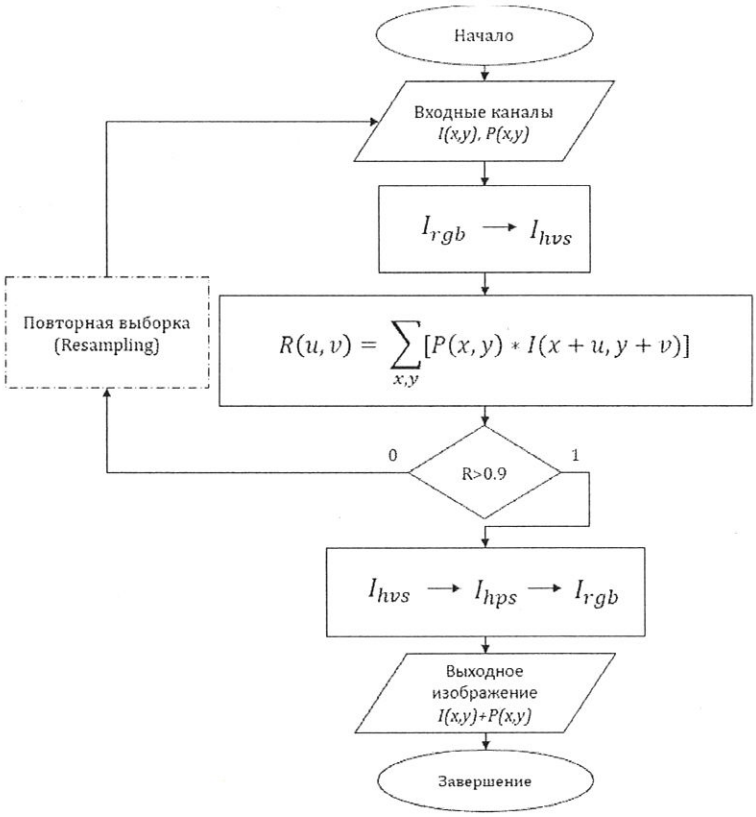


Рис. 6. Алгоритм объединения панхроматического и мультиспектральных каналов.

Основная цель данного процесса заключается в том, что в комбинации HVS (hue, value, saturation) канал V (value) содержит основную информацию об интенсивности пикселей изображения, и именно его необходимо использовать при объединении данных. Перед объединением мультиспектральных и панхроматических каналов соответствие входных данных проверяется методом кросс-корреляции. Если коэффициент корреляции составляет R > 0,9, данные допускаются к следующему этапу; в противном случае входные данные направляются на процедуру повторного пересэмплирования (resampling). После выполнения условия канал V в пространстве HVS заменяется панхроматическим каналом P, и итоговое изображение I_{hvs} преобразуется обратно в традиционное цветовое пространство RGB. В исследовании для улучшения качества изображений с низким разрешением предложены модели суперразрешения, основанные на

принципах сверточных нейронных сетей, а также легко обучаемый алгоритм DAN, результаты которого приведены на рис. 7.

При оценке модели суперразрешения важны не только точность модели и алгоритма, но и их размер и скорость работы. Поскольку модель EDSR содержит большое количество параметров, она работает медленнее по сравнению с моделями WDSR и DAN. Эксперименты для данных методов суперразрешения были проведены в операционной системе Ubuntu на компьютере с конфигурацией: Intel i9-11900K, 64 GB RAM, GeForce RTX 3070 Ti. Эффективность методов оценивалась с использованием критериев качества изображения: PSNR, IFC и LPIPS (табл. 2).

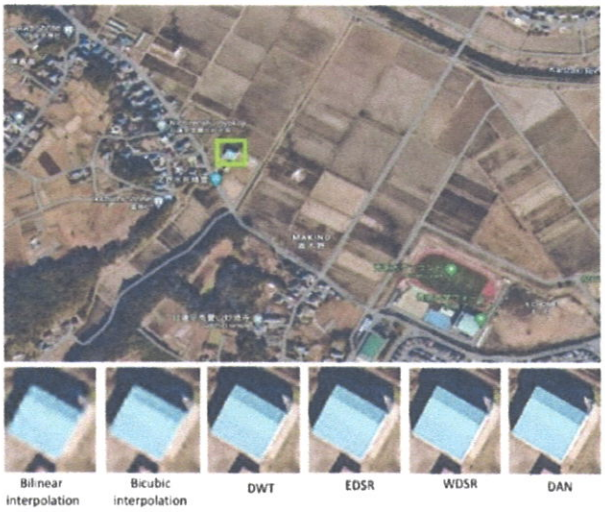


Таблица 2

Сравнение значений PSNR для алгоритмов улучшения изображения

Алгоритм улучшения изображения	PSNR	IFC	LPIPS
Билинейная интерполяция	21.23	1.942	0.3127
Бикубическая интерполяция	22.08	2.034	0.2952
Алгоритм на основе DWT	22.92	2.128	0.2601
EDSR на основе DL	28.87	3.881	0.1949
WDSR на основе DL	29.13	4.109	0.1961
DAN (предлагаемый)	**30.19**	**4.381**	**0.1713**

Рис. 7. Результаты сравнения алгоритмов глубокого обучения для суперразрешения спутниковых изображений.

В третьей главе диссертации **«Модели и алгоритмы классификации изображений дистанционного зондирования на основе глубокого обучения»** приведены методы, модели и алгоритмы классификации изображений с использованием искусственных нейронных сетей, описаны алгоритмы сегментации изображений на основе глубокого обучения и представлены предварительные результаты интеграции знаний предварительно обученных моделей в модель классификации землепользования. Кроме того, рассмотрены архитектура UNet, основанная на сверточных нейронных сетях (CNN), Residual Neural Network (ResNet), а также подход обучения на основе передачи знаний (transfer learning – TL). На основе объединения этих методов разработана модифицированная модель семантической сегментации TL-ResUNet для классификации землепользования на спутниковых изображениях. Также приведён алгоритм определения контурных границ посевных площадей с использованием Mask R-CNN, а также представлены полученные результаты.

Извлечение информации из изображений и распознавание объектов на изображениях имеют большое значение для решения задач в различных областях. В настоящее время в данном направлении проводится большое

количество научных исследований, и получены точные практические решения в медицине, сельском хозяйстве, транспорте и других сферах.

Для выделения необходимой информации или характеристик из изображения решаются задачи классификации, а при наличии на изображении нескольких объектов различных классов – задачи сегментации. Как показано на рис. 8, в качестве входных параметров могут рассматриваться различные типы данных; для более точного описания ситуации в исследовании в качестве входного изображения использовался снимок размером 144×144 пикселей.

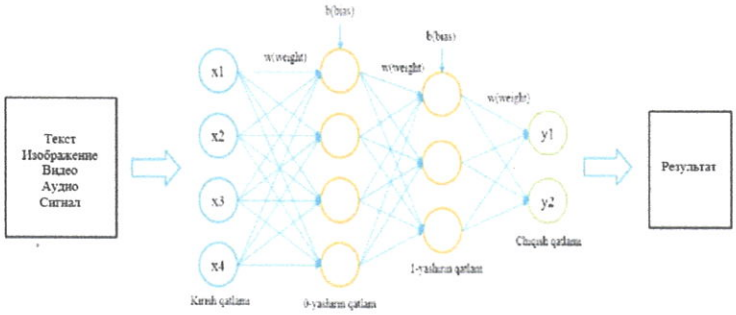


Рис. 8. Структура многослойной нейронной сети.

Архитектура UNet применена для сегментации и классификации земель сельскохозяйственного назначения, зданий и неиспользуемых территорий на основе обработки спутниковых изображений. В рамках данного подхода представлена архитектура сегментации спутниковых изображений, в которой модель UNet используется совместно с коэффициентами предварительно обученных моделей (ImageNet, VGG16) (рис. 9).

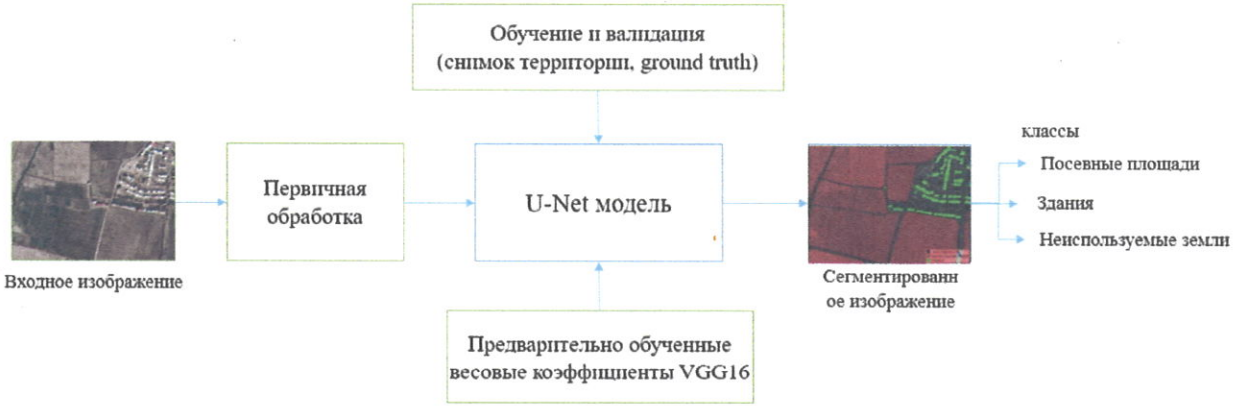


Рис. 9. Архитектура сегментации изображения с использованием UNet и коэффициентов предварительно обученной модели.

Предложенная модель обучена на выборке Inter-IIT-CSRE с использованием вычислительной системы на базе NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti, с 64 GB RAM и 11 GB GPU. По сравнению с другими моделями, при меньшем количестве обучающих данных и меньших временных затратах модель достигла 94,3% точности по метрике IoU для трёх классов.

В рамках исследования для повышения качества изображений и классификации землепользования в улучшенных моделях CNN использованы расширенные (dilated) сверточные слои (рис. 10). В данной архитектуре расширенной свёртки применяется параметр dilation rate, который определяет

промежутки между элементами фильтра. Если значение dilation rate = 2, то фильтр размером 3×3 эквивалентен фильтру 5×5 в обычной свёртке, однако количество параметров при этом остаётся равным 9. Расширенная свёртка особенно эффективно работает в задачах семантической сегментации в режиме реального времени. Основными преимуществами использования dilated convolution являются: более точное выделение границ объектов, получение более чёткого и детализированного сегментированного изображения.

Рис. 10. Обычный и расширенный сверточные слои. ***a*** – обычный сверточный слой (фильтр: 3×3, шаг: 1); ***b*** – расширенный (dilated) сверточный слой (фильтр: 3×3, dilation rate : 2).

В данной главе диссертации изучены методы семантической сегментации на основе глубокого обучения, разработаны усовершенствованные модель и алгоритмы **TL-ResUNet** для классификации землепользования на основе семантической сегментации. Спутниковые изображения с низким и средним пространственным разрешением не всегда обеспечивают требуемую точность при сегментации, а формирование размеченного набора данных для задач сегментации является одним из сложных процессов. Поэтому, чтобы предотвратить недостаточность обучающих данных, в соответствии с характером исследуемых задач была использована стратегия **частично контролируемого (semi-supervised) обучения**.

В рамках настоящего исследования для повышения точности и эффективности процесса классификации землепользования использована комбинация архитектуры UNet, применяемой для сегментации, и глубокой нейронной сети ResNet. В данном подходе модель ResNet-50 используется как для решения задачи классификации, так и в качестве энкодера в модифицированной архитектуре UNet. В результате модифицированная модель UNet для классификации землепользования была обучена с использованием методов обучения нейронной сети ResNet, включая случайную инициализацию весов, а также коэффициенты предварительно обученной модели, полученной на наборе данных ImageNet.

Для обучения разработанной модели TL-ResUNet использовались спутниковые изображения, взятые из открытых источников (табл. 3).

Таблица 3

Основные характеристики обучающего набора данных

Обучающий набор данных	Количество классов	Пространственное разрешение, м	Количество изображений
DeepGlobe	7	1,24	1 146
Dstl Satellite	10	1,24	57
LandCoverNet	7	10	1 980
Augmented (синтетические изображения)	7	–	6 517
Итого			**9 700**

В процессе обучения данной модели, с целью повышения её эффективности и точности, а также сокращения времени обучения, использован алгоритм обучения на основе передачи знаний (transfer learning) с применением предварительно обученных коэффициентов. По этой причине модифицированная модель UNet получила название TL-ResUNet, и её архитектура, основанная на глубоком обучении, представлена на рис. 11.

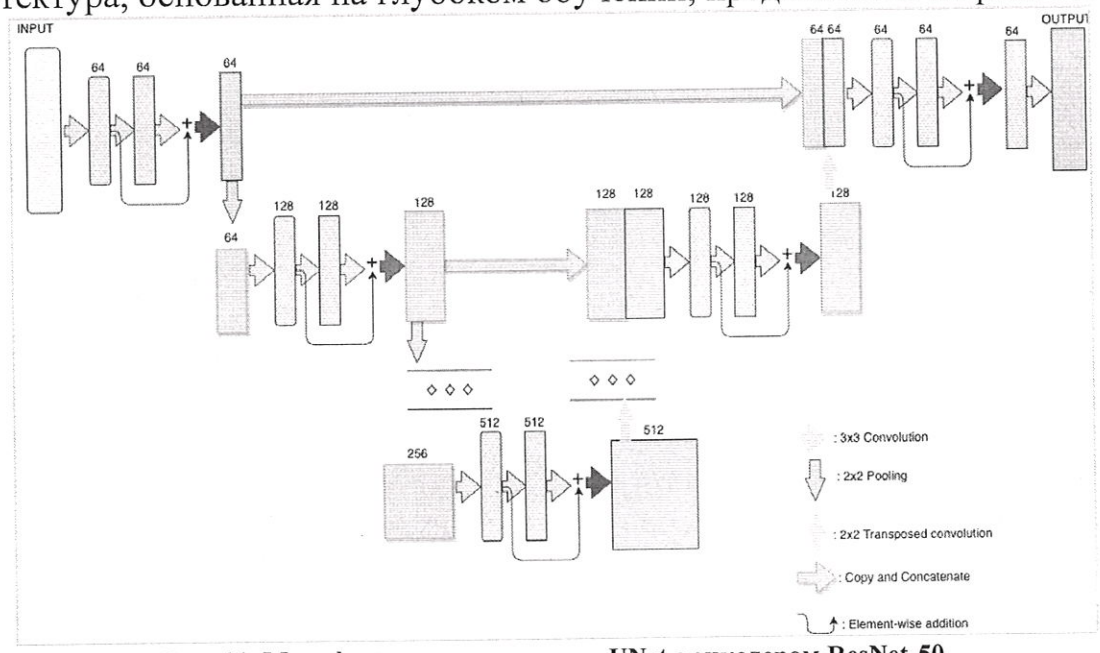


Рис. 11. Модифицированная модель UNet с энкодером ResNet-50.

Для оценки разработанной модели TL-ResUNet использовался валидационный набор данных, составляющий 20% от общего датасета.

Для оценки результатов модели (рис. 12) применялись показатели качества: *precision, recall, F1-мера* и *индекс Жаккара*.

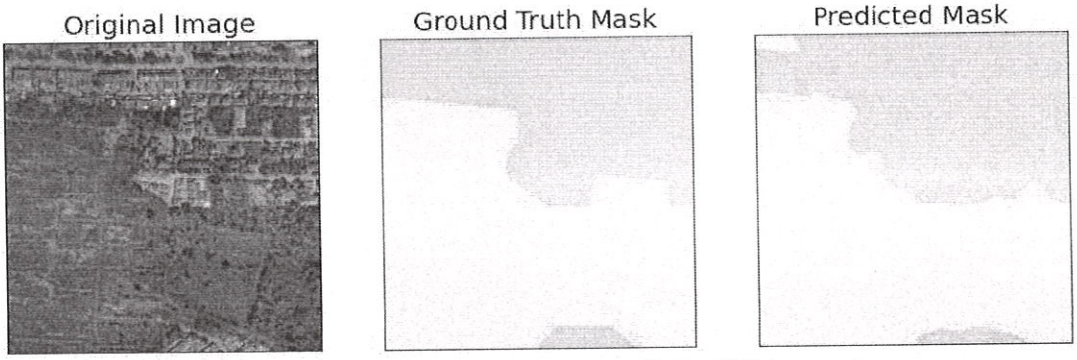


Рис. 12. Результаты модели TL-ResUNet.

При вычислении данных показателей используются значения, формируемые в процессе классификации заданных классов на основе матрицы ошибок (confusion matrix). Преимущество предложенной модели по сравнению с существующими моделями по суммарному показателю IoU представлено в табл. 4.

Таблица 4.

Сравнительные результаты предложенной модели

Модель	Показатель IoU
Baseline	55.19
ClassmateNet	69.87
DFCNet	71.31
DeepLabv3	74.52
DeepLabv3+	75.60
TL-ResUNet (предлагаемая модель)	**81.0**

Точное выделение границ сельскохозяйственных полей играет важную роль в задачах определения землепользования, структуры почвенного покрова и планирования управления территориями. Ручное оцифровывание контуров полей является трудоёмким и времязатратным процессом. В рамках исследования предложена усовершенствованная архитектура Mask R-CNN, использующая глубинную сверточную нейронную сеть для обработки мультиспектральных изображений дистанционного зондирования (рис. 13).

Поскольку изображения обладают высокой вариативностью и сложной структурой, использование единственной сверточной нейронной сети (CNN) не обеспечивает достаточного извлечения признаков. В предлагаемой глубокой нейронной сети в качестве основы используется архитектура ResNet-50, а для многомасштабного извлечения признаков в модель интегрирована сеть FPN (Feature Pyramid Network), что значительно улучшает формирование карты признаков.

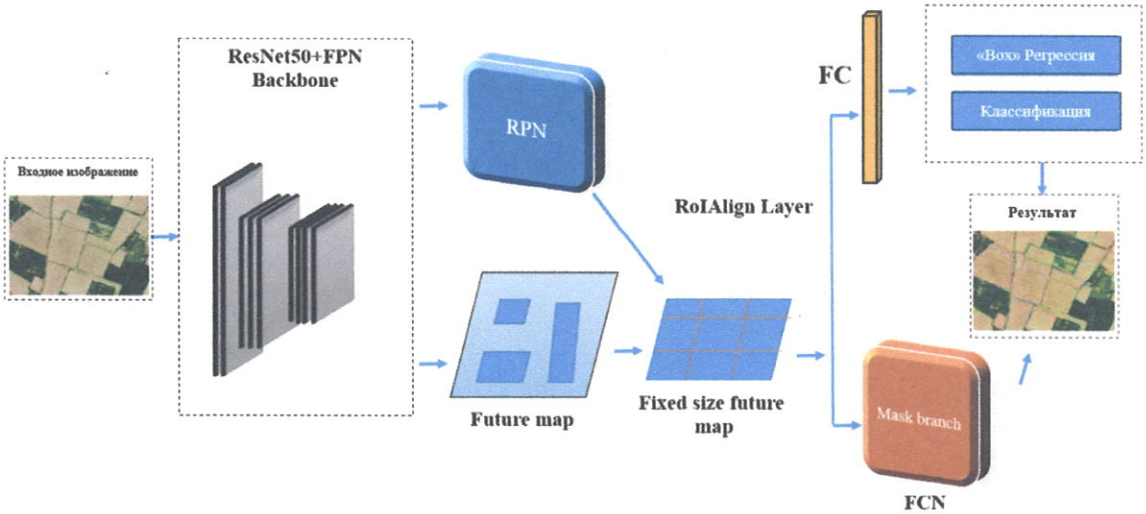


Рис. 13. Архитектура предлагаемой модели Mask R-CNN.

После обучения разработанная модель достигла эффективных результатов по стандартным метрикам COCO (табл. 5). По оценке IoU для обнаружения объектов, значения AP, AP@0.5 (порог 0.5) и AP@0.75 (порог

0.75) составили соответственно 45.6, 54.26 и 40.91. По IoU сегментации объектов, значения AP, AP@0.5 и AP@0.75 составили 41.4, 50.92 и 36.83. Итоговое значение метрики F1 равно 0.89, что соответствует 89% точности. Данные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемая модель демонстрирует устойчивое улучшение и высокую эффективность (рис. 14).

Таблица 5

Результаты по стандартной метрике COCO для предложенной модели

Epoch	IoU – обнаружение объекта			IoU – сегментация объекта			F1
	AP	AP@0.5	AP@0.75	AP	AP@0.5	AP@0.75	
5	9.8	11	8.9	8.7	10.5	7.6	0.57
10	24.1	27.1	21.2	20.4	23.5	17.9	0.65
20	35.7	43.9	33.1	33.5	41.2	29.8	0.72
50	45.6	54.26	40.91	41.4	50.92	36.83	0.89

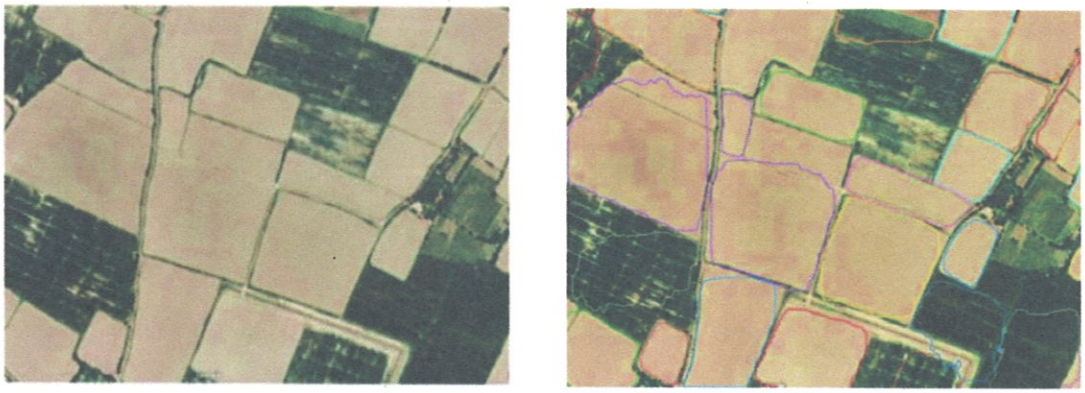


Рис. 14. Результат предложенной модели.

В четвёртой главе диссертации **«Алгоритмы цифровой обработки данных, полученных от автоматизированных измерительных устройств, и разработка модели базы геоданных»** освещены спектральная индексная библиотека и модель базы геоданных для программы мониторинга землепользования на основе данных дистанционного зондирования. Кроме того, в главе представлены: сенсоры станции **iMetos** и методы обмена данными через API для мелиоративного мониторинга сельскохозяйственных территорий, используемые в автоматизированных измерительных системах датчики и алгоритмы цифровой обработки данных, полученных от них, методы передачи данных по сенсорным сетям, интерфейс интерактивной визуализации гидрогеолого-мелиоративного состояния территории.

Устройства, используемые для дистанционного зондирования – спутниковые платформы, беспилотные летательные аппараты (UAV) и дроны – оснащаются специальными активными или пассивными сенсорами. Эти сенсоры предоставляют дискретные и непрерывные данные о земной поверхности в различных диапазонах длин волн. Предварительно обработанные данные, полученные из нескольких каналов, формируются в виде растровых данных. Элементы, составляющие базу геоданных, включают таблицы, векторные данные, растровые данные и топологические структуры.

Ниже приведена общая модель формирования спектральных индексов:

$$S_i \in R(\lambda_j), M(R(\lambda_j)) \tag{6}$$

где
S_i – спектральные индексы, $i = 0.....n$;
$R(\lambda_j)$ – значения отражения для соответствующей длины волны, $j = 1.....n$,
$M(R(\lambda_j))$ – математическая комбинация или формула для каналов λ_j.

В частном случае, спектральный индекс, основанный на двух каналах, определяется следующим образом:

$$S_0 = \frac{R(\lambda_1) - R(\lambda_2)}{R(\lambda_1) + R(\lambda_2)}, \tag{7}$$

где
$R(\lambda_1)$ – значения отражения для 1-го канала;
$R(\lambda_2)$ – значения отражения для 2-го канала;
S_0 – вегетационный индекс.

С помощью данной формулы можно вычислить NDVI для исследуемой территории. В рамках исследования цифровая обработка геоданных и мультиспектральных изображений дистанционного зондирования, а также разработка функциональной структуры и программного комплекса интерактивного геопортала для предоставления интеллектуальных сервисов цифрового сельского хозяйства являются одними из ключевых задач.

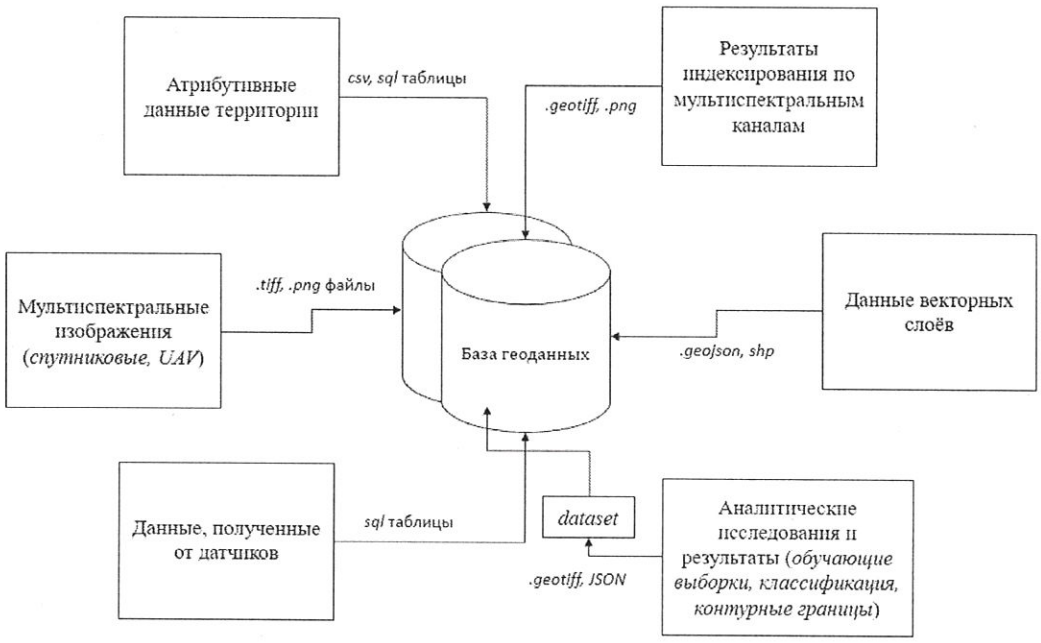


Рис. 15. Общая схема инфраструктуры базы данных геопортала, предназначенного для хранения геоданных и мультиспектральных изображений территории.

Каждый программный комплекс состоит из набора модулей и включает инфраструктуру базы данных, содержащую большие объёмы информации и

многослойные структуры. Общая архитектура базы данных разработанного в рамках диссертации геопортала представлена на рис. 15.

Данные, поступающие от сенсоров, сохраняются в базе данных и поступают непосредственно от автоматизированных измерительных устройств. Сенсоры станции iMetos, осуществляющие мониторинг параметров окружающей среды, а также датчики, контролирующие мелиоративные и почвенные условия территории, позволяют сохранять данные в формате SQL-таблиц или, в отдельных случаях, в формате .csv. При этом параметры окружающей среды, измеряемые в реальном времени, сохраняются в таблице *sensors_data*, а данные, предварительно собранные специалистами мелиоративных экспедиций, – в таблице *datchik_data* (рис. 16).

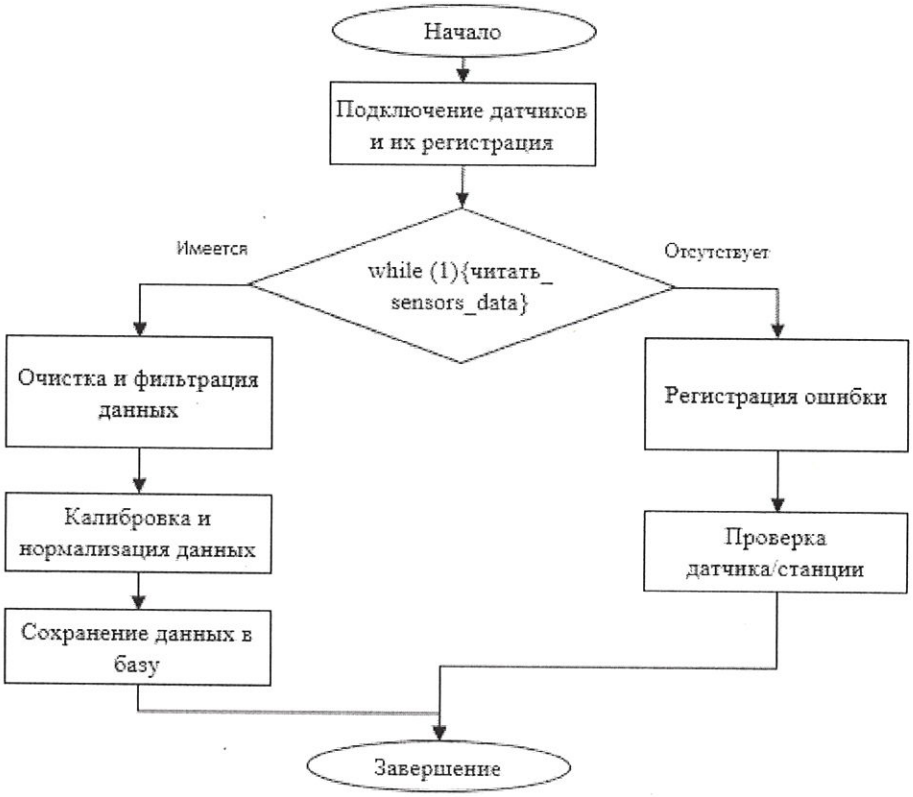


Рис. 16. Блок-схема общего алгоритма получения и сохранения данных от сенсоров.

Для сбора данных об окружающей среде, почвенно-гидрологических и водных условиях исследуемой территории в работе использовалась автоматизированная измерительная станция iMetos. Интеграционная архитектура данной системы основана на последовательном и взаимосвязанном взаимодействии различных компонентов, где поток данных передаётся от уровня датчиков (сенсоров) до уровня пользовательского приложения. Данная архитектура обеспечивает возможность измерения различных параметров окружающей среды в реальном времени, их сохранения и обработки в облачной инфраструктуре, а также передачу данных во внешние системы через API-интерфейс (рис. 17).

Рис. 17. Архитектура интеграции данных устройства с API.

Первичные данные, собранные автоматизированными измерительными устройствами и датчиками, как правило, поступают в необработанном виде. В целом процесс сбора данных от любых сенсоров и приборов включает как простые, так и сложные этапы. В зависимости от масштаба исследуемой территории, используемых типов сенсоров или количества автономных автоматизированных измерительных станций, этапы процесса сбора данных могут быть организованы по-разному.

В пятой главе диссертационной работы **«Интеграция данных дистанционного зондирования и геоданных в инфраструктуру геопортала и оценка эффективности сельскохозяйственных земель»** приведено описание функциональной структуры программного комплекса цифрового сельскохозяйственного геопортала и его основных модулей. Кроме того, изложены алгоритм и программное обеспечение для расчёта индекса повторного использования земель на основе мультиспектральных данных дистанционного зондирования и геоданных, механизмы и этапы разработки алгоритма интеграции данных дистанционного зондирования территории в геоинформационную модель, а также сравнительный анализ результатов оценки эффективности сельскохозяйственных земель на примере территории Хорезмской области.

В процессе выполнения данной научной работы разработан программный комплекс цифрового сельскохозяйственного геопортала, предназначенный для интерактивного предоставления цифровых сельскохозяйственных услуг, рационального управления земельными и водными ресурсами, а также для цифровой обработки данных автоматизированных измерительных устройств, мультиспектральных снимков и геоданных территории. Цифровой сельскохозяйственный геопортал представляет информационную систему, объединяющую, анализирующую и интерактивно предоставляющую пользователям геоданные, данные дистанционного зондирования, климатические параметры, сведения о земельных ресурсах и урожайности (рис. 18).

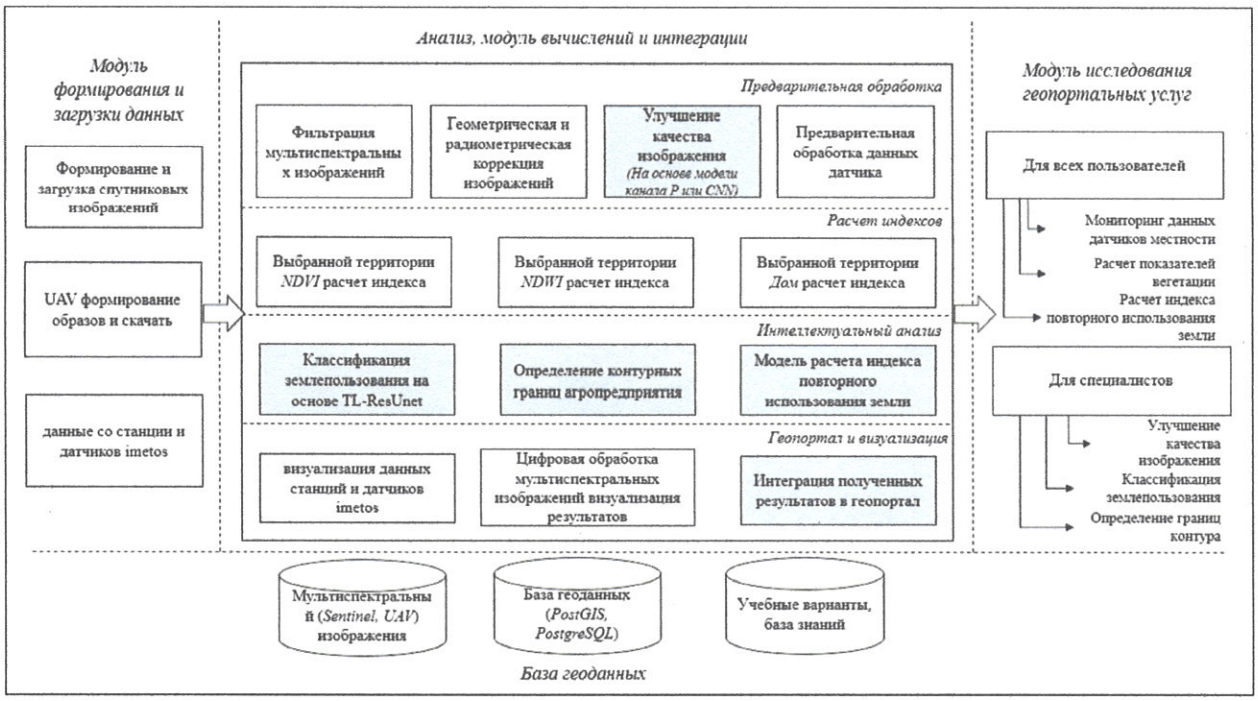


Рис. 18. Функциональная структура программного комплекса цифрового сельскохозяйственного геопортала.

Программный комплекс включает несколько функциональных модулей и обладает следующей четырёхуровневой архитектурой:

1) модуль сбора, формирования и загрузки данных;
2) модуль базы геоданных;
3) модуль аналитики, вычислений и интеграции;
4) модуль предоставления геопортальных сервисов.

При формировании данных требуется приведение информации, поступающей из различных источников, к единой системе координат (WGS84, UTM и др.), адаптация изображений по спектральным диапазонам и конвертация в стандартные форматы (GeoTIFF, JPEG2000, CSV, JSON и др.), а также агрегирование данных от сенсоров по временным интервалам и приведение их к структуре, совместимой с базой данных.

Хранение данных из всех источников в едином стандартном формате обеспечивает создание очищенной, согласованной и синхронизированной базы данных, необходимой для последующих этапов анализа и моделирования. В свою очередь, процессы загрузки и подготовки данных автоматизируются, что снижает влияние человеческого фактора и повышает эффективность системы.

Модуль анализа, вычислений и интеграции осуществляет обработку мультиспектральных изображений, повышение их качества, вычисление вегетационных индексов, а также оценку эффективности землепользования с использованием моделей искусственного интеллекта и интеграцию полученных результатов в геопортал. Этот модуль автоматизирует все стадии, от обработки цифровых изображений до формирования итоговых аналитических карт.

В рамках исследования разработан алгоритм расчёта индекса восстановительного потенциала земель (RPI – Rebound Potential Index), интегрального показателя, оценивающего способность земельных ресурсов, особенно сельскохозяйственных угодий, восстанавливаться после стрессовых состояний, вызванных природными и антропогенными факторами (рис. 19).

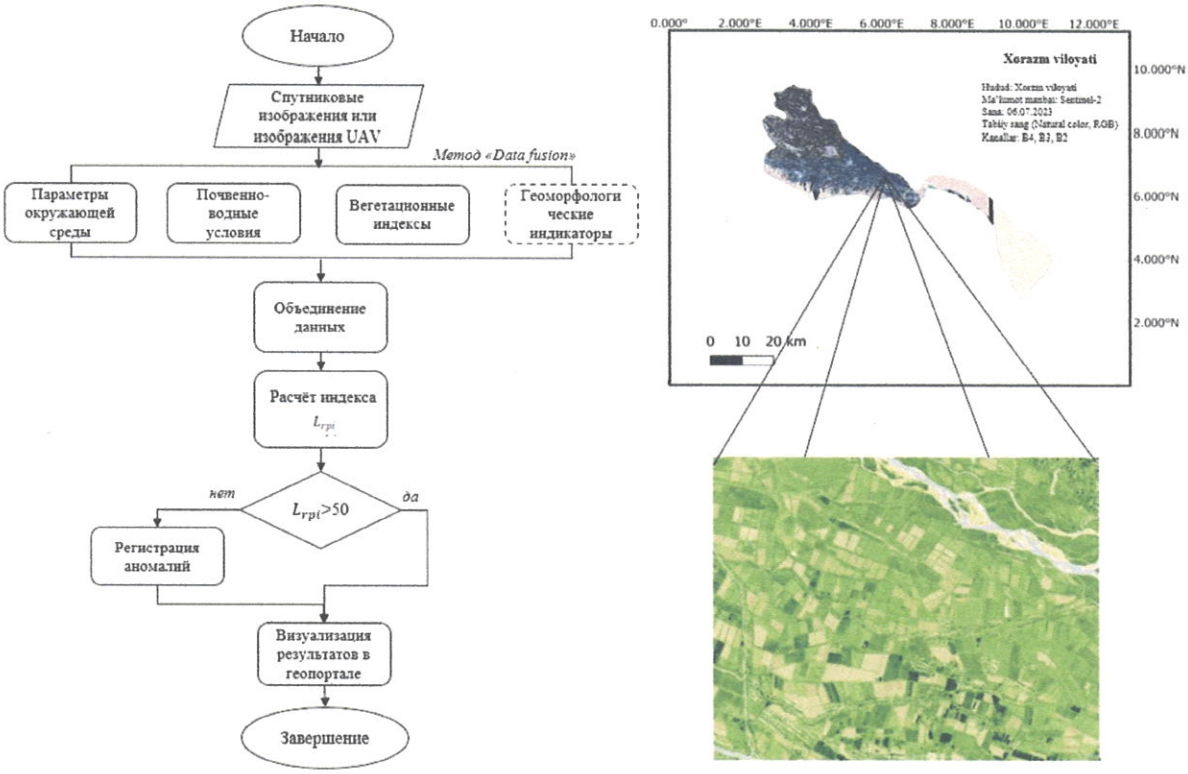


Рис. 19. Алгоритм и результат расчёта индекса восстановительного потенциала земель с использованием метода «Data fusion».

При расчёте интегрального показателя эффективности для общей оценки состояния сельскохозяйственных земель предложен комплексный агроэкологический индекс (KAI), основанный на данных сенсоров, вегетационных индексах и индексе восстановительного потенциала земель:

$$K\,AI = \propto \cdot RPI_{norm} + \beta \cdot EVI_{norm} + \gamma NDVI_{norm}, \quad (8)$$

где

α, β, γ – весовые коэффициенты, сумма которых равна 1 ($\alpha+\beta+\gamma=1$). По результатам экспериментов установлено: $\alpha = 0{,}5$, $\beta = 0{,}3$, $\gamma = 0{,}2$.

Каждый индекс нормализуется следующим образом:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}. \quad (9)$$

Нормализованные значения принимают значения в диапазоне от 0 до 1. Таким образом, показатель KAI изменяется в пределах 0-1 и отражает общий уровень агроэкологической эффективности земель (табл. 6).

Таблица 6

Критерии оценки

Значение KAI	Уровень оценки эффективности	Примечание
0,00 – 0,25	Низкая	Требуется орошение или мелиорация
0,26 – 0,50	Средняя	Частичный растительный покров, средняя урожайность
0,51 – 0,75	Хорошая	Хорошо орошаемые и плодородные территории
0,76 – 1,00	Высокая	Очень здоровая растительность, стабильная агроэкосистема

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов, полученных в диссертационной работе на тему «Разработка метода, алгоритмов и программного комплекса цифровой обработки геоданных и изображений дистанционного зондирования», можно сформулировать следующие теоретические и практические выводы:

1. В диссертационном исследовании создана интегрированная система цифровой обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования, геоданных и данных, полученных от автоматизированных измерительных устройств. Объединение разработанных моделей и алгоритмов в единый интерактивный геопортал обеспечило значительные преимущества в организации цифровых сельскохозяйственных сервисов. Система позволяет осуществлять комплексный мониторинг сельскохозяйственных земель, автоматизировать процессы классификации землепользования, повысить эффективность мониторинга, увеличить продуктивность сельхозугодий и поддерживать принятие решений в различных направлениях аграрного управления.
2. На основе цифровой обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий разработан многоэтапный метод анализа состояния сельскохозяйственных земель. Предлагаемый подход продемонстрировал свою эффективность при обеспечении продовольственной безопасности, прогнозировании продуктивности используемых и неиспользуемых земель, а также при определении оптимального использования необходимых ресурсов.
3. Разработаны алгоритмы предварительной обработки мультиспектральных изображений Sentinel-2 и данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов (UAV), что позволило повысить точность пространственной и радиометрической коррекции изображений на 10-12%.
4. Создана модель и алгоритм повышения качества изображений низкого и среднего пространственного разрешения на основе расширенных сверточных нейронных сетей. Этот подход обеспечил улучшение качества космических изображений и повышение точности выделения контурных границ полей до 1,1 раза (до 10%).
5. Разработана модель и алгоритм автоматического определения границ сельскохозяйственных полей на основе методов искусственного интеллекта. Предложенная модель достигла точности 89% по метрике F1 на стандартных

COCO-показателях. Автоматизация процесса контурирования позволила снизить влияние человеческого фактора, ускорить мониторинг больших территорий и значительно повысить качество цифровых агрокарт.

6. На основе технологий глубокого обучения (CNN, ResNet, U-Net, transfer learning) разработана модифицированная архитектура нейронной сети TL-ResUNet для классификации землепользования по спутниковым изображениям. Модель позволяет автоматически идентифицировать элементы агроэкосистем по космическим, аэрофото- и дрон-изображениям в различных спектральных диапазонах. Точность классификации по всем классам составила IoU = 81%, а точность классификации сельхозугодий 93%.

7. Предложены алгоритмы цифровой обработки данных автоматизированных измерительных устройств (станции iMetos и специализированные датчики), что обеспечило расчет индекса восстановительного потенциала земель и оценку продуктивности угодий на основе мультиспектральных изображений и вегетационных индексов. Достигнуто повышение эффективности анализа сельскохозяйственных территорий на 10-15%.

8. Разработана сложная структура базы геоданных для проведения комплексного анализа исследуемой территории, классификации земель, расчёта показателей продуктивности и предоставления геопортальных сервисов. Построена реляционная модель хранения данных на основе PostgreSQL/PostGIS, включающая атрибутивные данные, мультиспектральные изображения, данные сенсоров, аналитические результаты, векторные слои и индексные карты. Кроме того, сформирована библиотека спектральных индексов и методические формулы их расчёта для анализа земель на основе мульти- и гиперспектральных каналов.

9. Разработана технология оценки эффективности сельскохозяйственных земель на основе интеграции данных дистанционного зондирования и геоданных в геопортальную инфраструктуру. Создан интерактивный веб-ГИС геопортал, функционирующий в облачной среде. Система обеспечивает оценку продуктивности земель, анализ деградации почв и предоставление геопортальных сервисов для специалистов и широкого круга пользователей на основе мультиспектральных данных, сенсорных измерений, ГИС-технологий и алгоритмов искусственного интеллекта.

В итоге данная диссертация формирует новое научное направление в области устойчивого управления сельским хозяйством на основе интеграции цифровых агрогеосистем, дистанционного зондирования, геоинформационных систем и технологий искусственного интеллекта. Представленные теоретические разработки, практические результаты и методологические решения соответствуют задачам стратегии Республики Узбекистан «Цифровой Узбекистан - 2030» и обладают высокой научной и прикладной значимостью.

SCIENTIFIC COUNCIL DSc.13/30.12.2019.T.07.01 FOR AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHWARIZMI

KUCHKOROV TEMURBEK ATAKHONOVICH

DEVELOPMENT OF METHOD, ALGORITHMS AND SOFTWARE COMPLEX FOR DIGITAL PROCESSING OF GEODATA AND REMOTE SENSING IMAGERY

05.01.04 - Mathematical and software support of computers, complexes and computer networks

DISSERTATION ABSTRACT
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)

Tashkent 2025

The theme of Doctor of Science (DSc) dissertation was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2024.2.DSc/T786.

The dissertation has been prepared at the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, and English (summary)) on the website of the Academic Council (www.tuit.uz) and on the Ziyonet information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant:	**Djumanov Jamoljon Khudaykulovich** doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	**Kabulov Anvar Vasilovich** doctor of technical sciences, professor
	Mukhamedieva Dilnoz Tulkunovna doctor of technical sciences, professor
	Babajonov Elmurod Satimbaevich doctor of technical sciences, docent
Leading organization:	Karakalpak state university named after Berdak

The defense will take place "25" decemba 2025 at 14⁰⁰ the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel .: (+99871) 238-64-89; fax: (+99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi (is registered under No. 385). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-65-44).

Abstract of dissertation sent out on " 03 " december 2025 y.
(mailing report No. 35 on " 01 " 12 2025 y.)

M.M.Musaev
Chairman of the scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

E.Sh.Nazirova
Scientific secretary of the 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, docent

INTRODUCTION (Abstract of DSc dissertation thesis)

The purpose of the research is to develop method, models, algorithms, and a software system for digital processing of geodata and multispectral remote sensing images, as well as to create a digital agriculture geoportal.

The object of the research comprises multispectral images obtained from the Sentinel platform and unmanned aerial vehicles (UAVs), as well as the processes of digital processing of experimental remote sensing data and geodata analysis.

The scientific novelty of the research is as follows:

a multi-stage method for analyzing the condition of agricultural lands has been developed based on the theory of digital processing of multispectral remote sensing data and geoinformation technologies;

a model and an algorithm for enhancing the quality of multispectral images obtained from the Sentinel-2 platform and unmanned aerial vehicles have been developed using an extended convolutional neural network;

a modified TL-ResUnet model has been developed for automatic detection of contour boundaries of agricultural fields and land-use classification by improving the spatial and spectral resolution of multispectral images;

a model and an algorithm for calculating the land recovery potential index have been developed based on the digital processing of large volumes of remote sensing data and data obtained from automated measurement devices;

a functional structure of a software system for agroindicator mapping has been created, and an algorithm for assessing the efficiency of agricultural lands has been developed based on an intelligent system for integrating geodata and remote sensing data into a unified geoportal.

Implementation of the research results. Within the framework of the dissertation research, the following solutions were implemented based on the developed methods, algorithms, and the software system for digital processing of geodata and remote sensing images:

A multi-stage analysis method based on digital processing of remote sensing multispectral images and assessment of the state of agricultural land based on the theory of geoinformation technologies, a model and algorithm for improving the quality of multispectral images obtained from Sentinel-2 platform and unmanned aerial vehicles based on an extended convolutional neural network, have been implemented in the groundwater monitoring system in the observation wells of the "Aral sea hydrogeological expedition" of the State Institution "O'zbekgidrogeologiya" of the Ministry of Mining and Geology of the Republic of Uzbekistan. (Certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/4337 dated June 23, 2025.) As a result, multi-level analysis and visualization of thematic data in agricultural monitoring have been enabled;

The TL-ResUnet model, based on spatial segmentation of agricultural land contour boundaries and land use classification based on increasing the spatial accuracy and spectral stability of multispectral images, and the algorithm for digital processing of large-scale remote sensing data and data obtained from sensors, has been introduced into the activities of the single integrator for the creation and support

of state information systems "Uzinfocom" (Certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/4337 dated June 23, 2025). As a result, the speed and accuracy of automatic land-use classification, assessment of the condition of agricultural areas, and delineation of agrarian territories have been improved;

The functional structure of the software package designed to assess the efficiency of agricultural lands, calculate the land rebound potential index, and map agroindicators based on an intelligent system for integrating geodata and remote sensing images into a single geoportal has been introduced to the Department of Agriculture and Water Resources of the Hazorasp District Administration of the Khorezm region. (Certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/4337 dated June 23, 2025.) As a result, the efficiency of remote monitoring of agricultural lands, digital processing of measurement device data, mapping of agricultural territories, analysis of crop areas, and evaluation of productivity increased by 10-15%.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is 200 pages.

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

I бўлим (1 часть; part 1)

1. Kuchkorov Temurbek, Furkat Safarov, Djumanov Jamoljon, Ochilov Temur, Jean Chamberlain Chedjou, Akmalbek Bobomirzaevich Abdusalomov, Young-Im Cho. Improved Agricultural Field Segmentation in Satellite Imagery Using TL-ResUNet Architecture // Journals: «Sensors». - December 2022. - Vol. 22. - 15 p. (05.00.00; CiteScore - Q1, №3) (Scopus, IF:3.5).
2. Djumanov J.X., Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., Sabitova N.Q. Satellite Imagery Super Resolution Using Classical and Deep Learning Algorithms // 15th International Conference "Intelligent Human Computer Interaction (IHCI 2023)". LNCS 14532. Daegu, South Korea – 2023. Springer. -11p. (05.00.00; №3) (Scopus/WoS, Q2, IF:1.27).
3. Kuchkorov T.A. Monografiya. Atrof-muhit ekologik monitoringining geoaxborot modeli va axborot-analitik tizimini ishlab chiqish. - T.: Biznes poligraf, 2022. - 114 b. ISBN: 978-9943-9461-9-4.
4. Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., Ismoilova U.A., G'ulomov D.Z. Sentinel platformasi ma'lumotlarini raqamli ishlash algoritmlari va vositalari // «TATU xabarlari» ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - 2023. - № 4 (68). - B. 85-97. (05.00.00; № 31).
5. Kuchkorov T.A. Geofazoviy va kosmik tasvirlarni intellektual tahlil qilish hamda qayta ishlashning asosiy yondashuvlari // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - 2022. - № 3 (21). - B. 117-124. (05.00.00; № 10).
6. Kuchkorov T.A., Ochilov T.D. Tasvirlarni segmentlashning chuqur o'qitishga asoslangan arxitektura va algoritmlari // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - 2021. - № 4 (18). - B. 22-28. (05.00.00; № 10).
7. Djumanov J.X., Kuchkorov T.A., G'aybulloyev E.E., Ochilov T.D., Hamzayev J.F. Ko'p o'zgaruvchili chiziqli regressiya usulida suv sathi ko'tarilishini bashorat qilish modelini ishlab chiqish // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - 2022. - № 1 (19). - B. 49-53. (05.00.00; № 10).
8. Djumanov J.X., Kuchkorov T.A., Ochilov T.D. Neyron tarmog'ida gradiyentli tushish uchun teskari tarqalish jarayonining matematik modeli // «TATU xabarlari» ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. - 2021. - № 4 (60). - B. 2-13. (05.00.00; № 31).
9. Kuchkorov T.A., Ro'zibayev O.B. Neyron tarmoqlari yordamida tasvirni sinflash va segmentlash usullari va vositalari // «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал. - 2020. - № 1(11). - B. 64-69. (05.00.00; № 10).

10. Kuchkorov T.A., Sabitova N.Q. Deblurring techniques and fuzzy logic methods in image processing // «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал. - 2019. - № 3 (9). - В. 12-16. (05.00.00; № 10).
11. Kuchkorov Temurbek Ataxonovich, Baxritdinov Farrux Zafar o'g'li, Hamzayev Jamshid Fayzidin o'g'li. CCTV tasvirlarini segmentlash va obyektlarni aniqlash uchun chuqur o'qitishga asoslangan modellar va algoritmlar tahlili // «Raqamli Transformatsiya va Sun'iy Intellekt» ilmiy jurnali. - 2023. - Vol. 1. - Issue 4. - B. 83-91. https://dtai.tsue.uz/index.php/dtai/article/view/v1i412. (04.07.2023 йилдаги ЎзР Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг № 363 қарори).
12. Kuchkorov T., Bakhritdinov F., Khamzaev J., Allamuratova Z. Analysis of CCTV footage and methods of initial image processing // Science and Education in Karakalpakstan. - 2024. - №2/1 (40). - P. 143-147. (O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasi (OAK) tomonidan 2017-yil 24-maydagi 5/2-son qarori).
13. Kuchkorov Temurbek Ataxonovich, Mamataliev Abror Adkhamovich. Multispectral remote sensing data processing for crop detection // «Raqamli Transformatsiya va Sun'iy Intellekt» ilmiy jurnali. - 2025. - Vol. 3. - Issue 2. - B. 80-85. https://dtai.tsue.uz/. (04.07.2023 йилдаги ЎзР Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг № 363 қарори).
14. Kuchkorov Temurbek, Saydullayev Humoyun, Khamzaev Jamshid. Enhancing Land Cover Change Detection through Advanced Algorithms and Multi-Sensor Data Integration // Bulletin of TUIT: «Management and Communication Technologies». - 2024. - № 3s(42) - 4 p. (05.00.00; № 31).
15. Kuchkorov Temurbek, Yusupov Agzamjon, Khamzaev Jamshid. Development and Application of IoT-Based Environmental Monitoring Systems for Enhanced Ecological Management and Sustainability // Bulletin of TUIT: «Management and Communication Technologies». - 2024. - № 3(54). - 4 p. (05.00.00; № 31).
16. Kuchkorov T.A., Saydullayev H.D., Khamzaev J.F. Integration of satellite imagery and artificial intelligence in land cover change mapping: comparison of U-Net and traditional methods on the example of Tashkent // «Hisoblash va amaliy matematika muammolari» ilmiy jurnali. - 2025. - № 2/1 (65). - P. 47-56. (05.00.00; №23).

II bo'lim (Часть II; Part II)

17. Temurbek Kuchkorov, Temur Ochilov, Elyor Gaybulloev, Nazokat Sobitova, Ortik Ruzaibaev. Agro-field boundary detection using Mask R-CNN from satellite and aerial images // International Conference on «Information Science and Communications Technologies (ICISCT)». - Tashkent, Uzbekistan, 2021. - 3 p. https://ieeexplore.ieee.org/document/9670114 (30.10.2021 йилдаги ЎзР Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг № 525 қарори). (05.00.00; №3) (Scopus. DOI: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670114).

18. Djumanov Jamoljon, Kuchkorov Temurbek, Khushvaktov Saydulla, Anorboyev Erkin. Automated measuring systems in monitoring the hydrogeological characteristics of aquifers // International scientific journal: «Science and innovation». Series A. - Tashkent, 2022. - Vol. 1. - Issue 6. - P. 209-217.
19. Kuchkorov T.A., Urmanov Sh.N., Nosirov Kh.Kh., Kyamakya K. Perspectives of deep learning based satellite imagery analysis and efficient training of the U-Net architecture for land-use classification // Proceedings of the 14th International FLINS Conference (FLINS 2020). «Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics». - Cologne, Germany, 2020. - 8 p. (Web of Sceince, https://doi.org/10.1142/9789811223334_0125).
20. Kuchkorov Temurbek, Urmanov Shakhobiddin, Kuvvatova Muborak, Anvarov Islom. Satellite image formation and preprocessing methods // International Conference on «Information Science and Communications Technologies (ICISCT)». - Tashkent, Uzbekistan, 2020. - 4 p. (05.00.00; №3) (Scopus, DOI: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351456). https://ieeexplore.ieee.org/document/9351456.
21. Kuchkorov A., Nosirov Kh., Begmatov Sh., Arabboev M., Chedjou J.C., Kyamakya K., De Silva Perumadura, Abhiram Kolli. The Greenhouse control based-Vision and Sensors // Proceedings of the 14th International FLINS Conference (FLINS 2020). «Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics». - Cologne, Germany, 2020. - 9 p. (Web of Sceince, https://doi.org/10.1142/9789811223334_0181).
22. Kabulov Rustam Vosilovich, Kuchkorov Temurbek Ataxonovich, Kabulov Ortik Bakhtiyorovich, Muminov Sanjar Saidqulovich. Formalization of Data Derivative Structures // International Conference on «Information Science and Communications Technologies (ICISCT)». - Tashkent, Uzbekistan, 2020. - 3 p. https://ieeexplore.ieee.org/document/9351368. (05.00.00; №3) (Scopus, DOI: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351368).
23. Kuchkorov T.A., Ismoilova U.A. Sentinel platformasi ma'lumotlarini qayta ishlash usullari // Бердақ номидаги Қорақалпоқ давлат университетининг «Ахборотномаси». - Нукус, 2023. - № 1 (59). - В. 38-42.
24. Kuchkorov T.A., G'aybulloyev E.E. Yer osti suvlarining sho'rlanishini bashoratlash va elektron xaritasini yaratish // «Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati» Respublika ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to'plami. - Toshkent, 2022. - B. 116-119.
25. Kuchkorov Temurbek, Atadjanova Nozima, Sayfullaeva Nargiza. Big data analysis for soil monitoring in Smart farming // International Conference on «Information Science and Communications Technologies (ICISCT)». - Tashkent, Uzbekistan, 2019. - 4 p. (05.00.00; №3) (Scopus, DOI: 10.1109/ ICISCT47635.2019.9012016). https://ieeexplore.ieee.org/document/9012016.
26. Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., Zoirov F. Roads detection from high resolution images using tensor voting approach // «Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технология-ларининг

аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. - Тошкент, 2021. - Б. 292-294.
27. Kuchkorov T.A., Urmanov Sh.N., Xasanov D.A. Tasvirlarni qayta ishlashda turli paketlardan foydalanish: yuklash, qo'llash, natijalar va solishtirma tahlil // «Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. - Тошкент, 2020. - Б. 321-325.
28. Kuchkorov T.A., Abdulatibova U.B. Sun'iy yo'ldosh orqali olingan tasvirlar xususiyatlari va ularni filtrlash usullari // «Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технология-ларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. - Тошкент, 2020. - Б. 338-341.
29. Усманов Р.Н., Кучкоров Т.А., Сеитназаров К.К. Комплексное исследование и оценка состояния экологически напряжённых территорий в условиях разнородной информации // 5-я Междунар. науч.-практ. конф. «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня». - Минск, Республика Беларусь, 2019. - С. 122-131.
30. Kuchkorov T.A., Sabitova N.Q. Implementing fuzzy logic technique in image processing // «Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. - Тошкент, 2019. - Б. 441-443.
31. Kuchkorov T.A., Atadjanova N.S. Suv resurslaridan samarali foydalanishning bulutli intellektual tizimini yaratish istiqbollari // «Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. - Тошкент, 2019. - Б. 464-467.
32. Кучкоров Т.А., Абдумаликов А.А. Ақлли қишлоқ хўжалиги учун автоматлаштирилган тизимлар ва технологиялардан фойдаланиш // «Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. - Тошкент, 2019. - Б. 259-262.
33. Kuchkorov T., Ochilov T., Islomov A. Development web-based soil monitoring service for automated irrigation system // «Actual problems and prospects of the development of intelligent information and communication systems IICS-2020». Proceedings of the Scientific Online International Conference. - Tashkent, Uzbekistan, 2020. - P. 177-180.
34. Kuchkorov T.A., Ismoilova U.B. Sentinel-2 satellite image processing using SNAP: searching, downloading and pre-processing // «Raqamli texnologiyalar: sohalarda amaliy joriy etishning yechimlari va muammolari» xalqaro ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to'plami. - Toshkent, 2022. - B. 180-182.

35. Kuchkorov T.A., Allamuratova Z.J., Mamutova V.N., Amonova O.A. Remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture // «Raqamli texnologiyalar: sohalarda amaliy joriy etishning yechimlari va muammolari» xalqaro ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to'plami. - Toshkent, 2022. - B. 202-205.
36. Kuchkorov Temurbek Ataxonovich, Hamzayev Jamshid Fayzidin o'g'li, Baxritdinov Farrux Zafar o'g'li. CCTV tasvirlari yordamida virtual chegaralar yaratish // «Yangi O'zbekiston; fan, ta'lim va innovatsiya». Respublika ilmiy-tehnik anjuman materiallari to'plami. - Jizzax, 2024. - B. 621-623. https://inlibrary.uz/index.php/new-uzbekistan/article/view/32410
37. Kuchkorov T.A., Yusupov A.Sh., Khamzaev J.F. Deep learning-based PM2.5 forecasting in Tashkent: a comparative study of LSTM and GRU models // Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. «Цифровые технологии и искусственный интеллект: настоящее и будущее» - Ташкент, 2025. - С. 18-28.
38. Kuchkorov Temurbek, Saydullaev Khumoyun, Khamzaev Jamshid. Application of a 6-Channel DeepLabv3 Architecture for Urban Change Detection // «Raqamli transformatsiyalash jarayonida muhandislik sohalari va iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirish: muammo va yechimlar» xalqaro ilmiy-amaliy anjumani ma'ruzalar to'plami. - Toshkent, 2025. - B. 484-487.
39. Kuchkorov Temurbek, Khamzaev Jamshid. Modeling the Rebound Potential Index under Arid Irrigated Conditions: A Khazarasp Case with iMetos Data // «Raqamli transformatsiyalash jarayonida muhandislik sohalari va iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirish: muammo va yechimlar» Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani Ma'ruzalar to'plami. - Toshkent, 2025. - B. 488-492.
40. Kuchkorov T.A., Allamuratova Z.J., Raximov M.F. Sun'iy yo'ldosh tasvirlariga ishlov berish // O'quv qo'llanma. «METODIST NASHRIYOTI». - Toshkent, 2024. - B. 1-120.
41. Usmonov R.N., Kuchkorov T.A., Abdusalomov A.B. Kompyuter ko'rishi // O'quv qo'llanma. «Aloqachi». - Toshkent, 2018. - B. 1-176.
42. Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., G'aybulloyev E.E. Agrofield boundary detection using artificial intelligence // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'rkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 14854, 12.02.2022.
43. Kuchkorov T.A., Asatov Sh.E. iMetos stansiyasi ma'lumotlarini qayta ishlash va monitoring qilish dasturi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'rkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 18202, 17.06.2022.
44. Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., Hamzayev J.F. Geologik ma'lumotlar milliy axborot tizimi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'rkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 29373, 16.11.2023.
45. Kuchkorov T.A., Baxritdinov F.Z., Hamzayev J.F., Kutlímuratov A.J. CCTV tasvirlari yordamida virtual chegaralar va anomal obyektlarni aniqlash uchun

dastur // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘rkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi № DGU 35413, 28.03.2024.

46. Kuchkorov T.A., Ochilov T.D., Ahmadjonov I.A., Xasanova N.D. Sun’iy yo‘ldosh tasvirlarida yer qoplamini tasniflash va hudud segmentatsiyasi (Land cover classification and field segmentation in satellite imagery) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘rkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi № DGU 40514, 22.06.2024.
47. Kuchkorov T.A., Mamataliyev A.A. Multispektral kosmik tasvirlar yordamida ekinlar vegetatsiya davrini kuzatish dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘rkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi № DGU 50240, 01.05.2025.

Avtoreferat "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy jurnali tahririyatida tahriridan o'tkazildi hamda o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi.