

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

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

SAIDKULOV ELYOR ABDULLAYEVICH

**FRAKTAL TUZILISHLI YER SIRTINI GEOMETRIK
MODELLASHTIRISH VA VIZUALLASHTIRISH**

05.01.01- Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va videotexnologiyalari

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

Toshkent –2025

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

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

Saidkulov Elyor Abdullayevich Fraktal tuzilishli Yer sirtini geometrik modellashtirish va vizuallashtirish	3
Саидкулов Элёр Абдуллаевич Геометрическое моделирование и визуализация фрактально структурированной поверхности Земли	21
Saidkulov Elyor Abdullayevich Geometric modeling and visualization of fractally structured Earth surface	41
E'lon qilingan ishlar ro'yxati Список опубликованных работ List of published works	44

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

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

SAIDKULOV ELYOR ABDULLAYEVICH

**FRAKTAL TUZILISHLI YER SIRTINI GEOMETRIK
MODELLASHTIRISH VA VIZUALLASHTIRISH**

05.01.01- Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va videotexnologiyalari

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

Toshkent-2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/T4160 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tuit.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Anarova Shahzoda Amanbayevna
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Hamdamov Utkir Rahmatullayevich
texnika fanlari doktori, professor

Xaitov Bafo Usmonovich
texnika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Sharof rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil «___» _____da soat ___ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-43; e-mail: iktuit@tuit.uz).

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

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil «_____» _____ kuni tarqatildi.
(2025-yil «___ » _____ dagi _____ raqamli reyestr bayonnomasi).

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

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

F.M. Nuraliyev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash huzuridagi ilmiy
seminar raisi, texnika fanlari
doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda fraktallar nazariyasining geometrik jihatlarini tadqiqi, hamda, tabiiy jarayonlar va hodisalarni fraktallar nazariyasi g'oyalaridan foydalanib tavsiflash usullariga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shu sababli Yer sirtining fraktal tuzilishi, katta va kichik suv havzalari uchun daryo tarmog'ining zichligi va oqim chastotasi qiymatlarini to'g'ridan-to'g'ri taqqoslab bo'lmaydi, chunki ular odatda suv havzasining hajmiga bog'liq. Mazkur soha bo'yicha rivojlangan xorijiy mamlakatlarda, jumladan, AQSH, Fransiya, Germaniya, Italiya, Turkiya, Rossiya Federatsiyasi, Janubiy Koreya, Xitoy, Yaponiya, Hindiston va Qozog'iston kabi boshqa davlatlarda fraktal geometrik shakllardan foydalanish texnologiyalarini rivojlantirishning nazariy hamda amaliy masalalarini yechishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Hozirgi paytda jahonda sirt yuzalarining tuzilishi va xossalarini tushunish geologiya, geografiya, ekologiya va shaharsozlik kabi keng sohalar uchun zarurdir. So'nggi yillarda fraktal tuzilishlar sirt yuzalarini modellashtirish va tahlil qilish uchun vosita sifatida paydo bo'ldi. Fraktallar geometrik obyektlar bo'lib, ular turli miqyosda o'ziga o'xshashlikni namoyon qiladi va ulardan turli murakkab tabiat hodisalarini tasvirlash uchun foydalaniladi. Sirt yuzalarini tahlil qilish uchun olimlar fraktal modellardan foydalangan holda, ularning xususiyatlari va o'zgarishlari haqidagi har xil yangi tushunchalardan foydalangan. Ushbu tadqiqot ishida fraktal tuzilishlar yordamida sirt yuzalarini hisoblashning yangi algoritmini ishlab chiqishga e'tibor qaratiladi. Ishlab chiqilgan algoritm mavjud algoritmlar, modellar va fraktal yuzalarni yaratish, manipulyatsiya qilishning yangi usullari kombinatsiyasiga asoslanadi. Fraktal tuzilishlar yordamida Yer sirti yuzalarini o'zgarish dinamikasini hisoblash algoritmini ishlab chiqish orqali tabiatning murakkab hodisalarining xususiyatlari va xatti-harakatlari haqida yangi tushunchalar taqdim etiladi. Murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni loyihalashda fraktal geometriya usullaridan faol foydalaniladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 31-maydagi "Yerlarni muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanish borasida nazoratni kuchaytirish, geodeziya va kartografiya faoliyatini takomillashtirish, davlat kadastrlari yuritishni tartibga solish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-5065-son farmonida Yer resurslarini tizimli hisobga olish va ulardan foydalanishni nazorat qilish, davlat kadastrlarini tartibga solish, O'zbekiston Respublikasi kartografiya fondini takomillashtirish chora-tadbirlari dasturi doirasida yer qonunchiligiga rioya etish yuzasidan doimiy monitoring qilish tizimi ishlab chiqildi va joriy qilinib, ko'chmas mulk obyektlarini yalpi xatlovdan o'tkazish ishlari olib borildi. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, kartografiya sohasida amalga oshirilayotgan islohotlar samaradorligini oshirish uchun zamonaviy axborot texnologiyalari asosida kartografik obyektlarda zamonaviy loyihalarning geometrik modeli va dasturiy vositasini ishlab chiqish muhim masalalardan biri hisoblanadi. Respublikamizda kadastr tarmog'ini yanada takomillashtirish, geodeziya hamda kartografik tashkilotlar va muassasalarni izchil rivojlantirish mexanizmlarini shakllantirish, davlat boshqaruvi tizimining samaradorligini ta'minlash, sohaga

raqamli texnologiyalarni keng joriy etish maqsadida kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Daryo tarmoqlari yuzalarini hisoblash, geometrik modellar, ma'lum hududlar uzunligini aniqlash muhim masalalardan biri bo'lib, ushbu masalani yechishda fraktallar nazariyasi elementlaridan foydalanib amalga oshirish mumkin. Ushbu tadqiqot ishida yer sirti yuzalarini hisoblashda fraktal tuzilmalar qo'llanilgan. Yer sirtlari geografik ma'lumotlarning hal qiluvchi tarkibiy qismi bo'lib, Yer yuzasining relyefini ifodalaydi. Sirt yuzalarini aniq hisoblash turli xil ilovalar, jumladan, atrof-muhitni modellashtirish, landshaftni rejalashtirish va geologik tadqiqotlar uchun zarurdir. Sirt yuzalarini hisoblashning an'anaviy usullari silliq va uzluksiz sirtning nazarda tutuvchi interpolyatsiya usullariga tayanadi. Biroq, tabiiy sirtlar ko'pincha murakkab naqshlar va tartibsizliklar bilan tavsiflanadi, bu usullar bilan yetarli darajada aniqlik qo'lga kiritilmaydi. Bu yerda fraktal tuzilishlar paydo bo'lib, tabiiy sirtning aniqroq tasviri ifodalanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi 2022-yil 28-yanvardagi PF–60-son Farmoni, 2018-yil 27-apreldagi PQ-3682-son "Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2020-yil 7-maydagi PQ-4708-son Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur tadqiqot ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 31-maydagi "Yerlarni muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanish borasida nazoratni kuchaytirish, geodeziya va kartografiya faoliyatini takomillashtirish, davlat kadastrlari yuritishni tartibga solish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-5065-son farmonida jumladan «Shaharsozlik faoliyatini raqamlashtirish, tarmoqqa zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish» ustuvor vazifalardan biri sifatida belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, kadastr sohasida amalga oshirilayotgan islohotlar samaradorligini oshirish uchun zamonaviy axborot texnologiyalari asosida zamonaviy loyihalarning geometrik modeli va dasturiy vositasini ishlab chiqish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

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.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Fraktal tuzilishli sirtlarni modellashtirish muammolariga oid bir qator monografiyalar va maqolalar mavjud. B.B. Mandelbrot, M. Barnsley, V.F. Kravchenko, V.K. Balxanov, C. Pickover, B.S. Zaxarov, Yu. Brilkin, M. Edgar, O.E. Akimov, A.N. Gerega, D.B. Gelashvili, A.D. Mrozov, K.B. Maksimenko-Sheyko, A. Lindenmayer, A.K. Ostapchuk, A.A. Patopov, A.A. Krillov, L.M. Pererva, A.E. Kononyuk va boshqalar fraktal tuzilishli yuzalarni modellashtirish sohasini kengaytirish uchun faol tarzda tadqiqotlar olib bormoqdalar, jumladan, ular murakkab matematik va geometrik funksiyalar algoritmlaridan foydalangan holda yangi sirt yuzalarini zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida amaliy loyihalashda qo'llamoqdalar.

O‘zbekistonda akademik B.A. Bondarenko arifmetik xususiyatli binomial bazis ko‘phadlar nazariyasiga asosan umumlashgan «Paskal uchburchak»lari, «Paskal piramida»larini va ularning fraktal tenglamalarini qurish uchun ilmiy tadqiqot ishlari olib borgan. Professor Sh.A. Nazirov R-funksiya usuli (RFM) dan foydalanib murakkab tuzilishdagi klassik geometrik fraktallarning tenglamalarini va rekursiv algoritmlarini ishlab chiqqan.

Hozirgi kunda Sh.A. Anarova, B. Xo‘jayorov, F.M. Nuraliyev, X.N. Zaynidinov, Sh.A. Sadullayeva kabi bir qator olimlar va ularning shogirdlari tomonidan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Mazkur sohadagi tadqiqotlarning o‘rganilganligi shuni ko‘rsatadiki, geometrik modellarga asoslangan yer yuzalarining kompyuter modeli raqamli modellashtirish texnologiyalari orqali yer sirtlarini o‘lchashda muhim rol o‘ynaydi. Kompyuter tomonidan qo‘llab-quvvatlanadigan modellashtirish tizimlari dastlabki loyihalash bosqichida turli xil obyektlarni ishlab chiqish va tegishli hududlarni ajratib olishga hissa qo‘shadi. Biroq, murakkab fraktal tuzilishlarni geometrik modellashtirishda, xususan fraktal xususiyatli relyefning eroziyasi jarayonining fraktal o‘lchovini aniqlash usullari yordamida yerning yemirilish xususiyati yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy–tadqiqot ishlar rejasining №Ф3-2019081212 “O‘zbek milliy naqshlarida murakkab fraktal tuzilishlarni bayon etishni geometrik modellashtirish texnologiyasini ishlab chiqarish” (2020-2021) mavzusidagi loyiha ishi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Yer sirtining fraktal tuzilishli qismlarini geometrik va fraktal modelini ishlab chiqish, chegara hududni hisoblash uchun fraktal o‘lchov usullarini takomillashtirish va olingan natijalarni vizuallashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Yer sirtini modellashtirishga oid mavjud usullar va algoritmlarni tahlil qilish;

analitik va fraktal geometriyaning asosiy tushunchalari yordamida daryo tarmog‘i hosil bo‘lishining geometrik va fraktal modelini qurish hamda fraktal o‘lchovni hisoblash uchun kublar usulini takomillashtirish;

takomillashtirilgan kublar usuli yordamida yerning yemirilganlik holatining fraktal o‘lchovlarini hisoblash algoritmini ishlab chiqish;

takomillashtirilgan katakchalarni sanash va masshtablashgan Richardson effekti usullari yordamida chegara hududlar va daryo tarmoqlarini fraktal o‘lchovini hisoblash algoritmini ishlab chiqish;

fraktal xususiyatli Yer sirti o‘zgarishining diskret qiymatlarini vizuallashtirish va dasturiy majmuaning funksional sxemasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti sifatida fraktal tuzilishli yer sirtlari va uning obyektlari qaralgan.

Tadqiqotning predmeti fraktal tuzilishli sirtlar va obyektlar uchun kublar, katakchalarni sanash, vektorlar, Richardson effekti usullari, geometrik va multifraktal modellar, algoritmlar va kompyuterlarda tajribalar o'tkazish uchun dasturiy majmuadan iborat.

Tadqiqotning usullari. Fraktallar nazariyasi, algoritmlash nazariyasi, dasturlash texnologiyasi, natijalarni tahlil qilish va hisoblash mashinalarida ma'lumotlarni qayta ishlash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

analitik va fraktal geometriyaning asosiy tushunchalari yordamida daryo tarmog'i hosil bo'lishining geometrik va fraktal modeli qurildi hamda fraktal o'lchovni hisoblash uchun kublar usuli takomillashtirildi;

takomillashtirilgan kublar usuli yordamida yerning yemirilganlik holatining fraktal o'lchovlarini hisoblash algoritmi ishlab chiqildi;

takomillashtirilgan katakchalarni sanash va masshtablashgan Richardson effekti usullari yordamida chegara hududlar va daryo tarmoqlarini fraktal o'lchovini hisoblash algoritmi ishlab chiqildi;

fraktal xususiyatli Yer sirti o'zgarishining diskret qiymatlarini vizuallashtirish va dasturiy majmuaning funksional sxemasi ishlab chiqildi.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

fraktal tuzilishli obyektlarni geometrik almashtirishlar yordamida multifraktal va geometrik modellar hamda ularni amalga oshirish usullari ishlab chiqilgan;

Richardson effekti usulida hududning fraktal o'lchovini aniqlashning algoritmi ishlab chiqilgan;

fraktal xususiyatli relyeflarning hosil bo'lish dinamikasini vizuallashtirishning dasturiy majmuasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi fraktal tuzilishli obyektlarni takomillashtirilgan kublar usuli, analitik geometriya va kompyuter grafikasi qoidalariga mosligi, taklif etilgan algoritmlarni ishlab chiqishda fraktal tuzilishli obyektlarni katakchalarni sanash, kublar usuli, takomillashtirilgan kublar usuli va mashtablangan Richardson effekti usullarida modellashtirishning matematik apparatining to'g'ri qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati fraktal tuzilishli Yer sirtini tadqiq etish uchun analitik va fraktal geometriyaning asosiy tushunchalari yordamida daryo tarmog'i hosil bo'lishining geometrik va fraktal modeli qurilganligi, takomillashtirilgan kublar usuli yordamida yerning yemirilganlik holatining fraktal o'lchovlarini, takomillashtirilgan katakchalarni sanash va masshtablashgan Richardson effekti usullari yordamida chegara hududlar va daryo tarmoqlarini fraktal o'lchovini hisoblash algoritmlari ishlab chiqilganligi, fraktal xususiyatli Yer sirti o'zgarishining diskret qiymatlarini vizuallashtirilganligi va dasturiy majmuaning funksional sxemasi ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati fraktallarning tuzilishiga bog'liq masalalarni hal etish jarayonlarini avtomatlashtirish imkonini beruvchi dasturiy majmuani, sirt yuzalarini loyihalash sohalariga bir va ikki o'lchovli fraktallarning

geometrik va fraktal modellarini hamda algoritmlarini amaliyotda joriy qilinganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dissertatsiya doirasida fraktal tuzilishli relyeflarning hosil bo'lish diskret qiymatlarini vizuallashtirishning geometrik va fraktal modellashtirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy majmua asosida:

fraktal tuzilishli relyeflarning hosil bo'lish dinamikasini vizuallashtirish dasturiy vositasi "Davlat kadastrlari palatasi Samarqand viloyat boshqarma"sga joriy qilingan (Qoraqalpog'iston respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024-yil 16-apreldagi 03-07/01-1083 son ma'lumotnomasi). Dasturiy vositani tadbiq etish ilmiy-tadqiqotlar samarasini, olingan natijalarning informativligi, aniqligi va ishonchliligini oshirdi hamda daryo tarmog'ini hosil qilishda ketadigan vaqt 1.3 barobarga kamaydi, tarmoq hosil qilishdagi xatolik 3-5%ga kamaydi hamda qo'shimcha daryo tarmog'i hosil qilishda mehnat unumdorligi esa 4-6%ga oshdi;

fraktal xususiyatga ega sirtlarni yasash dasturiy vositasi "Shaharsozlik hujjatlarini ekspertiza qilish respublika markazi davlat muassasasining Samarqand viloyati hududiy boshqarma"sga joriy qilingan (Qoraqalpog'iston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024-yil 16-apreldagi 03-07/01-1083 son ma'lumotnomasi). Natijada yemirilganlik holatini aniqlashga ketadigan vaqt 1.5 barobarga kamaydi, yemirilganlikni aniqlashdagi xatolik 3-6%ga kamaydi hamda mehnat hajmini kamaytirishga imkon beradi;

fraktal xususiyatli relyefning eroziya jarayonining fraktal o'lchovini aniqlash usullari va algoritmlari asosida yaratilgan dasturiy vosita "YUKSAK BINO LOYIHA" MCHJda joriy qilingan (Qoraqalpog'iston respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024-yil 16-apreldagi 03-07/01-1083 son ma'lumotnomasi). Natijada fraktal o'lchovlar asosida eroziyalarni aniqlashga ketadigan vaqt 2 barobarga qisqarishi imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 3 ta xalqaro, 10 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 27 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 10 ta maqola, shulardan 2 ta xorijiy jurnallarda va 8 ta respublika jurnallarda chop etilgan hamda 4 ta EHM uchun ishlab chiqilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 118 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

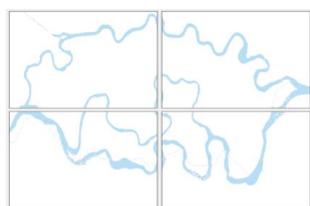
Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning maqsad

va vazifalari belgilab olingan hamda tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslab berilgan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amalda joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

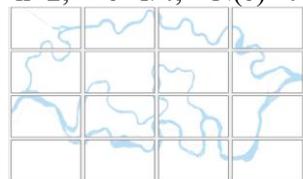
Dissertatsiyaning **“Tadqiqotning zamonaviy holatiga oid adabiyotlar tahlili”** nomli birinchi bobida fraktal geometriyaning asosiy tushunchalari, fraktal shakllarni qurish usullarining hozirgi holati hamda ularning qo'llanilish sohalarini o'rganishga bag'ishlangan bo'lib, fraktal tushunchasining paydo bo'lish tarixi, fraktallarning ta'riflari, fraktallarning o'ziga xos xususiyatlari va fraktallarga doir bo'lgan umumiy tushunchalar izohlangan va tahlil qilingan, shuningdek, muammoning dolzarbligi keltirilgan. Murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni fraktal o'lchovini aniqlash bo'yicha xorijiy davlatlar va respublikamizda olib borilayotgan ilmiy va amaliy tadqiqot ishlari atroflicha tahlil qilingan hamda fraktallar nazariyasining asosiy tushunchalari, fraktal o'lchovlarni aniqlash usullarining hozirgi holati, ularni daryo tarmoqlarida qo'llash amaliyoti o'rganilgan, fraktallarning o'ziga xos xususiyatlari hamda fraktallarga doir bo'lgan umumiy tushunchalar bayon etilgan va tadqiqot ishi masalasining qo'yilishi keltirilgan. Fraktallarning fan va texnika sohalarida jumladan, matematikada, fizikada, kompyuter grafikasida, yengil sanoatda, elektronikada, astrofizikada, biologiyada, materialshunoslikda, tibbiyotda qo'llanilishi o'rganilgan, fraktal o'lchovlarni aniqlash bo'yicha aniq yechimlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **«Fraktal tuzilishli obyektlarning multifraktal va geometrik modellari, fraktal o'lchovlari»** deb nomlangan ikkinchi bobida fraktal tuzilishli daryo tarmog'i tasvirining fraktal o'lchovini aniqlashning katakchalarni sanash, kublar usuli va takomillashtirilgan kublar usuli algoritmlari, shuningdek, daryo tarmog'i hosil bo'lishining geometrik modeli va fraktal modeli ishlab chiqilgan.

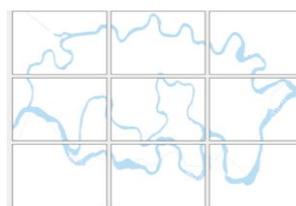
Tabiatda fraktal tuzilishli tarmoqlar chuqur o'rganilgan. Kasrli o'lchovni baholashdan turli daryo tarmoq shakllanishlarini tavsiflash hamda tahlil qilishda foydalanish mumkin.



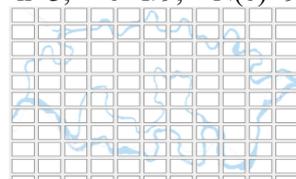
$n=2, \delta=1/4, N(\delta)=4$



$n=4, \delta=1/16, N(\delta)=16$



$n=3, \delta=1/9, N(\delta)=9$



$n=10, \delta=1/121, N(\delta)=27$

1-rasm. Katakchani sanash usuli yordamida Zarafshon daryosining fraktal o'lchovini aniqlash.

Daryo tarmog‘i murakkab tuzilishga ega ekanligini N ning qiymatlaridan bilish mumkin. Chunki bo‘lingan katakchalar o‘lchami qisqarganda katakchalar soni ko‘payib boradi. Bu esa daryo tarmog‘ining cheksiz har tomonga tarqalganligidan dalolat beradi. Shu ma’lumotlar yordamida daryo tarmog‘ining kasrli o‘lchovi qoplamalar usuli asosida aniqlandi.

$M \times N$ o‘lchamli tasvir berilganda s quyidagicha hisoblanadi:

$$s = 2, 3, 4, \dots, n^{l-1}$$

$$m = [M / s].$$

$$n = [N / s].$$

Bu yerda s katakchanning o‘lchami, K umumiy katakchalar soni, $K(s)$ fraktal tasvir bor katakchalar soni.

$M = ms$ va $N = ns$ katakchalarni sanash usuli qo‘llanilib, katakchalarning o‘lchami quyidagi shartlar asosida aniqlanadi:

$$M > ms \text{ va } N = ns \text{ bo‘lsa } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ns)}{s}.$$

$$M = ms \text{ va } N > ns \text{ bo‘lsa } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(N - ms)}{s}.$$

$$M > ms \text{ va } N > ns \text{ bo‘lsa } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ms) \times (N - ms)}{s^2}.$$

$$M \times N, \quad M = 19, \quad N = 17, \quad s = 3.$$

$$m = [19/3], \quad n = [17/3], \quad p_s \neq 0,$$

$$\bar{p} = 9.5, \quad p_{3,3} = 9, \quad K'(s) = \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{M}{s} \rfloor} \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{N}{s} \rfloor} n_{i,j}.$$

$$n_{3,3} = \min\left(\frac{p_{3,3}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ns)}{s} = \frac{9}{9.5} \times \frac{2}{3} = 0.64$$

Bundan $K'(s) = 4 + 0.64 = 4.64$ ekanligi aniqlandi.

Dastlab katakchalarni sanash usulida $K(s)$ hisoblangan. Takomillashtirilgan katakchalarni sanash usulida esa $K'(s)$ aniqlandi.

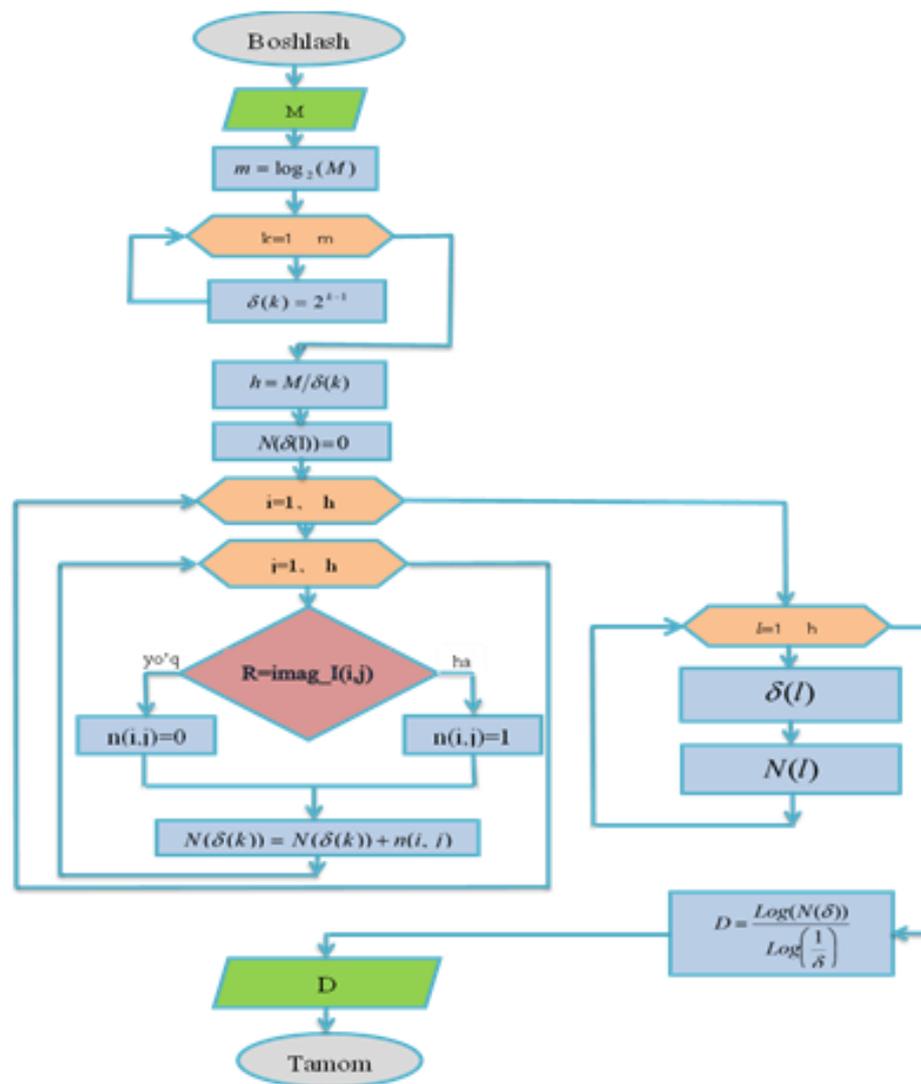
Olingan natijalardan foydalanib fraktal o‘lchov aniqlandi:

$$D = \frac{\lg(K'(s))}{\lg\left(\frac{1}{s}\right)} = 1,3969.$$

Fraktal tuzilishga ega bo‘lgan daryo tarmog‘i tizimlari daryo oqimini yaxshilash va funksional buzilishlarning oldini olish vazifasini bajaradi. Daryo tarmog‘i ham yuqorida keltirilgan fraktal tasvirlar kabi fraktal tuzilishga ega bo‘lib, fraktal o‘lchovi aniqlanadi. Buning uchun daryo tarmog‘i ajratilib olinadi, ya’ni mavjud tasvir yuklanadi va chegara o‘lchovlari aniqlanadi.

Fraktallar birinchi bosqichda geometrik o‘zgarishlardan so‘ng asl shaklini takrorlash, so‘ngra keyingi bosqichlarda bu jarayonni cheksiz ko‘p marta qaytarish orqali hosil bo‘ladi. Bu jarayon fraktal shaklni ishlab chiqarishga olib keladi.

Hozirgacha taklif qilingan fraktal o'lchovlarni baholash usullarining ko'pchiligi geometrik qadam usulidan foydalanadi, bunda fraktal tuzilishli tasvirning mavjud sohasidan tashqari qismi ham hisobga olinadi. Kublar usulining takomillashtirilgan usulida fraktal tasvir o'lchami $M \times M \times M = 3^m \times 3^m \times 3^m$ deb olinib, raqamli ishlov berilayotgan tasvirda kublarning ortiqchasi hisobga olinmaydi. Ushbu tadqiqotda kublar usuli muammosini hal qilish uchun berilgan tasvir $\delta \times \delta \times \delta$ o'lchamli kublarga bo'linib, fraktal tasvir mavjud kublar sanaladi.



2-rasm. Katakchalarni sanash usuli asosida fraktal tuzilishli tasvirlarning fraktal o'lchovlarini aniqlashning blok-sxemasi.

$M \times M \times M$ o'lchamli 3D ko'rinishidagi 2D tasvir berilganda, kublarni sanash usuli fraktal tuzilishli tasvirlarning o'ziga o'xshashlik xususiyatidan foydalanib, uni qadam o'lchamini N deb belgilab, kublarga bo'linadi. Bunda D - fraktal o'lchov bo'lib, u kublarni soni va o'lchamiga bog'liq.

$M \times N \times Z$ o'lchamli 3D ko'rinishidagi 2D tasvir berilganda n quyidagicha hisoblanadi, $n = 1, 2, 4, \dots, 2^{m-1}$ bu yerda $m = \log_2(M)$ ga teng. Berilgan tasvir $n \times n$ o'lchamli kublarga ajratiladi, so'ng $(i \times j \times k)$ satr va ustundan iborat kublar hosil qilinib, kublar qiymati $n_{i,j,k} = 0$ bunda agar tasvir yo'q bo'lsa, $n_{i,j,k} = 1/2$

bunda agar 0 dan keyin 1 kelsa va 1 dan keyin 0 kelsa, agar 1/2 dan keyin kelsa $n_{i,j,k} = 1$ ga teng deb qaraladi.

Takomillashtirilgan kublar usulida: $M \times N \times Z$

$M \times N \times Z$ o'lchamli tasvir beriladi s quyidagicha hisoblanadi:

$$L = \min(M, N, Z), \quad s = 2, 4, \dots, 2^{l-1}$$

$$l = \log_2(L)$$

$$m = [M/s],$$

$$n = [N/s],$$

$$z = [Z/s].$$

$M = ms$, $N = ns$, $Z = zs$ va $p_s \neq 0$ kublarni sanash usuli qo'llanilib, kublarning o'lchami quyidagi shartlar asosida hisoblanadi:

$$M > ms, N = ns \text{ va } Z = zs \text{ bo'lsa } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M-ms)}{s},$$

$$M = ms, N > ns \text{ va } Z = zs \text{ bo'lsa } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(N-ns)}{s},$$

$$M = ms, N > ns \text{ va } Z > zs \text{ bo'lsa } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(Z-zs)}{s},$$

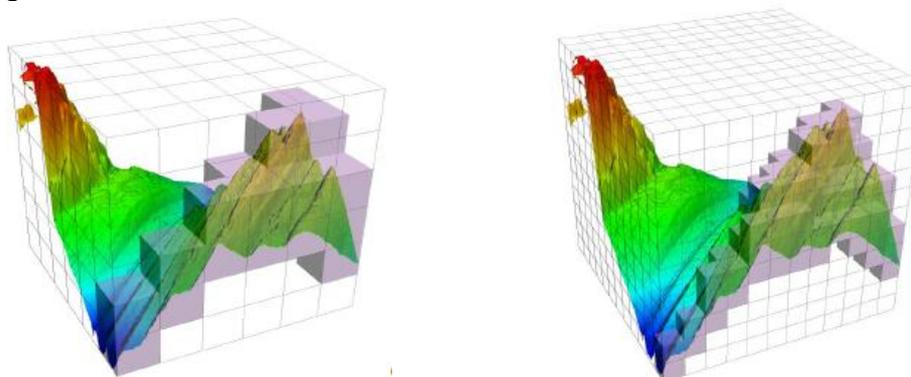
$$M > ms, N > ns \text{ va } Z = zs \text{ bo'lsa } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M-ms) \times (N-ns) \times (Z-zs)}{s^2}$$

$$N = \sum_{i=1}^{M/s} \sum_{j=1}^{N/s} \sum_{k=1}^{Z/s} n_{i,j,k}. \quad (2)$$

N - har bir qadamdagi bo'lingan kublar soni bo'lib, uni sanash jarayonini takrorlash orqali olinadi. 1-jadvaldagi qadamlar asosida fraktal o'lchov D quyidagicha topiladi:

$$D = \frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{s}\right)} = \frac{\log(400)}{\log\left(\frac{1}{1/9}\right)} = 2.7454 \quad (3)$$

Zarafshon daryosi yer sirtlarining 3D fraktal o'lchovini kublar usuli yordamida aniqlandi.



3-rasm. Zarafshon daryo tarmog'ini kublarga bo'lgandagi holati.

Keltirilgan blok-sxemalar yordamida Samarqand viloyati kadastr boshqarmasidan olingan Zarafshon daryo tarmog'ida eroziya mavjud qismining

fraktal o'lchovi aniqlanadi. Bunda eroziya mavjud qismining fraktal o'lchovi takomillashtirilgan kublarni sanash usulining faqat fraktal tasvir mavjud sohani hisobga olgan holda fraktal o'lchov aniqlandi.

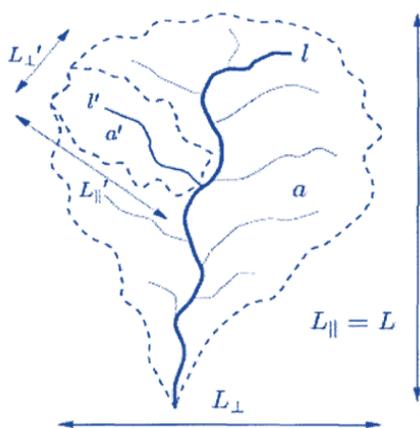
Ushbu ilmiy-tadqiqot ishida takomillashtirilgan kublar usuli yordamida Zarafshon daryo tarmog'idagi eroziya holatlari 0.1217 ga o'zgarganligi aniqlandi hamda takomillashtirilgan kublar usuli qolgan ikkita usul bilan solishtirilib solishtirma tahlillar olindi.

1-Jadval

Zarafshon daryo tarmog'ida eroziya mavjud qismining fraktal o'lchovini turli usullarda aniqlashning solishtirma tahlili

№	Katakchalarni sanash usuli	Kublar usuli	Takomillashtirilgan kublar usuli
1	1.7488	2.8073	2.3219
2	1.6234	2.6801	2.4649
3	1.6123	2.6787	2.4770
4	1.6001	2.6989	2.5542
5	1.5963	2.6991	2.5974
6	1.5769	2.7304	2.6799
7	1.5721	2.7429	2.6958
8	1.5624	2.7527	2.7268
9	1.5625	2.8115	2.7379
10	1.5626	2.8326	2.7454

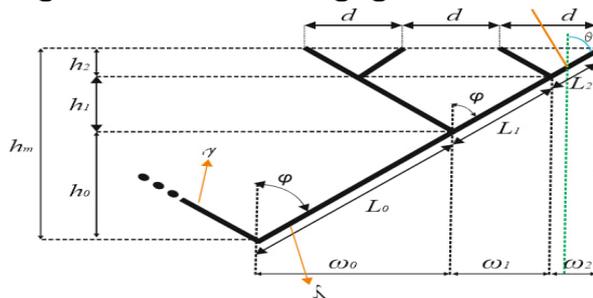
Katta va kichik suv havzalari uchun daryo tarmog'ining zichligi va oqim chastotasi qiymatlarini to'g'ridan-to'g'ri taqqoslab bo'lmaydi, chunki ular odatda suv havzasining hajmiga bog'liq. Katta havzada kichik havzada bo'lgani kabi birlik maydonda ham shuncha kichik uzunlikdagi elementar irmoqlar bo'lishi mumkin va qo'shimcha ravishda odatda bir yoki bir nechta yirik daryolarni o'z ichiga oladi.



4-rasm. Daryo tarmog'ining sxematik ko'rinishi

4-rasmda daryo tarmog'ining sxematik ko'rinishi keltirilgan bo'lib, bunda a – daryo havzasining maydoni (uzuq chiziqlar bilan keltirilgan), l – asosiy oqimning uzunligi (qalin chiziq orqali tasvirlangan), L_{\perp} va L_{\parallel} – lar mos ravishda havzaning bo'yi va eni uzunliklari.

Quyida daryo tarmog‘i hosil bo‘lishining geometrik modeli ishlab chiqildi.



5-rasm. Daryo tarmog‘i hosil bo‘lishining geometrik modeli

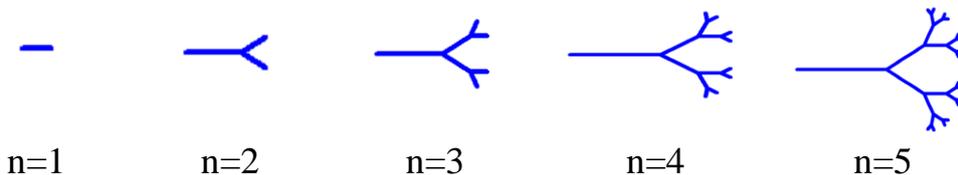
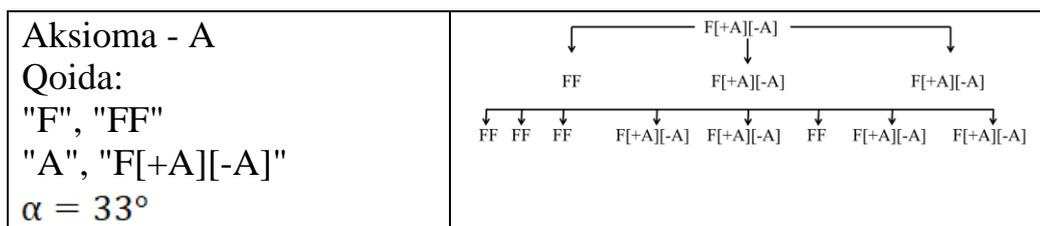
$$\varphi_{2i+1} = 2\pi U(0,1) \quad (4)$$

$$\varphi_{2i+2} = \varphi_{2i+1} + \pi$$

$$\theta_{2i+1} = \arccos \left(\frac{F_{n2i+1}^2}{2} + \frac{F_{n2i+1}^{-2}}{2} \left(1 - \left(1 - F_{n2i+1}^\gamma \right)^{\frac{4}{\gamma}} \right) \right) \quad (5)$$

$$\theta_{2i+2} = \arccos \left(\frac{F_{L2i+2}^2}{2} + \frac{F_{L2i+2}^{-2}}{2} \left(1 - \left(1 - F_{L2i+2}^\gamma \right)^{\frac{4}{\gamma}} \right) \right)$$

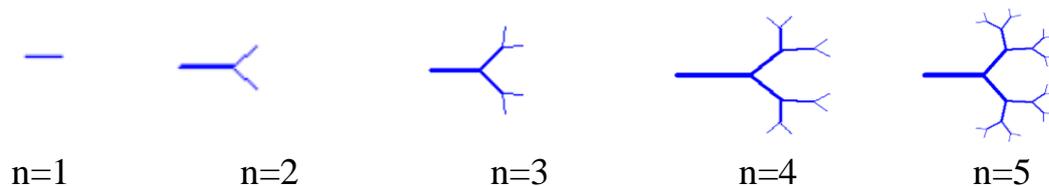
Endi daryo tarmog‘i hosil bo‘lishining fraktal modelini keltiramiz.
L-tizimlari usuli asosida hosil bo‘lgan fraktal model (oddiy variant):



6-rasm. Iteratsiyaning turli qadamlarida hosil bo‘lgan daryo irmoqlari

L-tizimlari usuli asosida hosil bo‘lgan fraktal model (takomillashtirilgan variant):

<p>Aksioma - A Qoida: "A", "F(1, 1)[+(1)A][-(1)A]" "F(x, y)", lambda x, y: f"F({1.5*x}, {1.7*y})" "+(x)", lambda x: f"+({1.1*x})" "-(x)", lambda x: f"-({1.1*x})" $\alpha = 33^\circ$</p>	$W_0 = F(1, 1)[+(1)A][-(1)A]$ $W_1 = W_0(F, A)$ $W_2 = W_1(W_0)$ $W_3 = W_2(W_1)$ <p>...</p> $W_n = W_{n-1}(W_{n-2}).$
--	--

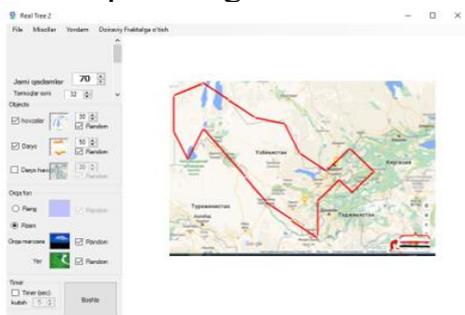


7-rasm. Iteratsiyaning turli qadamlarida hosil bo‘lgan daryo irmoqlari

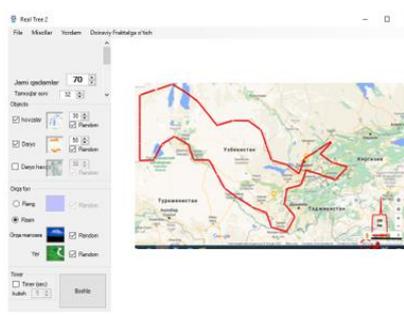
Ushbu ishlab chiqilgan geometrik modelda o‘rtacha daryo tarmog‘ining radiusini hosil qilish, daryo tarmoqlari uzunligini daryo tarmoqlari burchagini, daryo tarmoqlari radiuslarini hisoblash, daryo tarmoqlari orasidagi burchaklarni aniqlash, kesishuvchi daryo tarmoqlarini aniqlash va daryo tarmoq tugunlarini tekshirish mumkin.

O‘zbekiston Respublikasining chegarasi ko‘plab yirik, unchalik katta bo‘lmagan, kichik va hatto juda kichik murakkab trayektoriya tashkil qiluvchi kirish joylaridan iborat. Kichikroq chiziqli segmentlardan foydalanilganda, kirish joylari tobora ko‘proq o‘lchovga kiritiladi va natijada chegara chizig‘i uzunligi uzunroq bo‘ladi. Masshtab xarita orqali O‘zbekiston Respublikasining chegarasining uzunligi 200 km, 100 km, 50 km va 25 km uzunliklardagi to‘g‘ri chiziqli segmentlar bilan o‘lchandi.

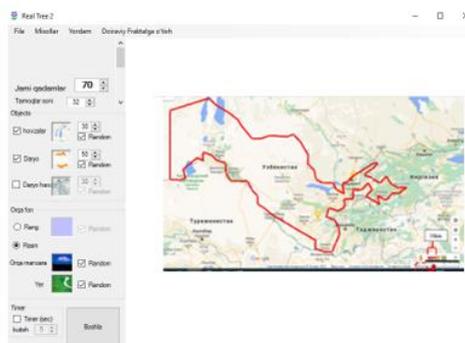
To‘g‘ri chiziqli segmentlar o‘lchovi kichrayib borgan sari O‘zbekiston Respublikasining chegarasining ko‘pburchak tasviri deyarli xarita shakliga yaqinlashadi. O‘lchash qiymati kichrayishi bilan chegara chizig‘ining uzunligi ortadi. Fraktal o‘lchov - o‘lchov parametrining aniqligi ortgani sari egri chiziq uzunlik miqdorining o‘shishini ko‘rsatadi.



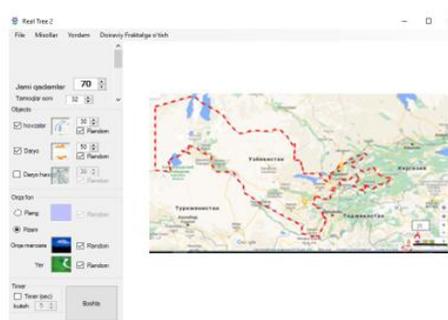
$N=19, G=200, L=3800$



$N=44, G=100, L=4400$



$N=100, G=50, L=5000$



$N=245, G=25, L=6125$

8-rasm. Masshtablangan xarita yordamida O‘zbekiston Respublikasining chegarasi uzunligini Richardson effekti usulida fraktal o‘lchovini aniqlash

O‘zbekiston Respublikasining chegarasi uzunligini 200 km uzunlikdagi to‘g‘ri chiziqlar bilan o‘lchanganda ushbu chiziqlar soni 19 tani tashkil etadi. Mos ravishda chegara uzunligi 3800 kmdan iborat bo‘ladi. 100 km uzunlikdagi to‘g‘ri chiziqlar bilan o‘lchanganda mazkur chiziqlar soni 44 tani tashkil etadi. Mos ravishda chegara uzunligi 4400 kmdan iborat bo‘ladi. 50 km uzunlikdagi to‘g‘ri chiziqlar bilan o‘lchanganda mazkur chiziqlar soni 100 tani tashkil etadi. Mos ravishda chegara uzunligi 5000 kmdan iborat bo‘ladi. 25 km uzunlikdagi to‘g‘ri chiziq va 25 km uzunlikdagi to‘g‘ri ko‘rinmas chiziqlar bilan o‘lchanganda mazkur chiziqlarning umumiy soni 245 tani tashkil etadi. Mos ravishda chegara uzunligi 6125 kmdan iborat bo‘ladi. Natijani quyidagi 2-jadvalda keltiramiz.

2-jadval

O‘lchov birliklar asosida chegara uzunligini aniqlash

	1-holat	2-holat	3-holat	4-holat
Birliklar soni (N)	19	44	100	245
O‘lchov birligi (G)	200 km	100 km	50 km	25km
Chegara uzunligi (L)	3800 km	4400 km	5000 km	6125 km

Bu yerda empirik munosabat va jadvalda berilgan qiymat ma’lumotlari fraktal o‘lchov (D) ni hisoblashga yordam beradi. Fraktal o‘lchov (D) ni aniqlash uchun $L(G): MG^{1-D}$ empirik munosabat ustida quyidagi geometrik qonuniyat amalga oshiriladi:

$$L=MG^{1-D} \Rightarrow \lg L=\lg G^{1-D} \Rightarrow \lg L=\lg M+\lg G^{1-D} \Rightarrow \lg L=\lg M+(1-D)\lg G, \quad (6)$$

Hosil bo‘lgan formula chiziqli funksiya ko‘rinishiga keltiriladi:

$$y = \lg L.$$

$$m = (1-D) \Rightarrow D = 1-m. \quad (7)$$

$$x = \lg G, c = \lg M.$$

Natijada $y = c + mx$ chiziqli funksiya hosil bo‘ladi.

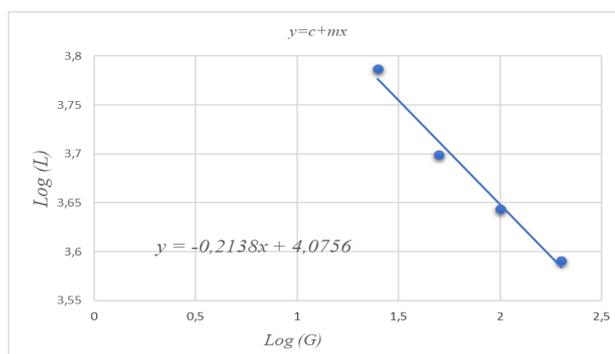
Yuqoridagi 2-jadval ma’lumotlaridan foydalanib x va y ning mos qiymatlaridagi logarifmlarini aniqlab, quyidagi 3-jadvaldagi natijalar olinadi.

3-Jadval

Chegara uzunligi L va o‘lchov birliklari G ning logarifmik qiymatlari

	1-holat	2-holat	3-holat	4-holat
Birliklar soni	19	44	100	245
O‘lchov birligi (G)	200 km	100 km	50 km	25km
Chegara uzunligi (L)	3800 km	4400 km	5000 km	6125 km
$x=\lg G$	2,30103	2	1,69897	1,39794
$y=\lg L$	3,591065	3,643453	3,69897	3,787106

Hosil bo‘lgan qiymatlardan foydalanib, interpolyatsiya usuli orqali $y(x)$ funksiya koeffitsentlari hosil qilinadi.



9-rasm. $y(x)$ funksiya koeffitsentlarini aniqlash

Hosil bo‘lgan $y = -0,2138x + 4,0756$ chiziqli funktsiyani yuqoridagi $y = c + mx$ funktsiyaga bog‘liqligidan, $c = \lg M = 4,0756$ va $m = (1 - D) = -0,2138$ qiymatlar aniqlanadi.

Hisoblashning yakunida $m = (1 - D) = -0,2138 \Rightarrow D = 1 - (-0,2138)$ dan $D = 1,2138$ yoki O‘zbekiston Respublikasining chegarasi uzunligining fraktal o‘lchovi qiymati quyidagicha bo‘ladi: $D \approx 1,21$

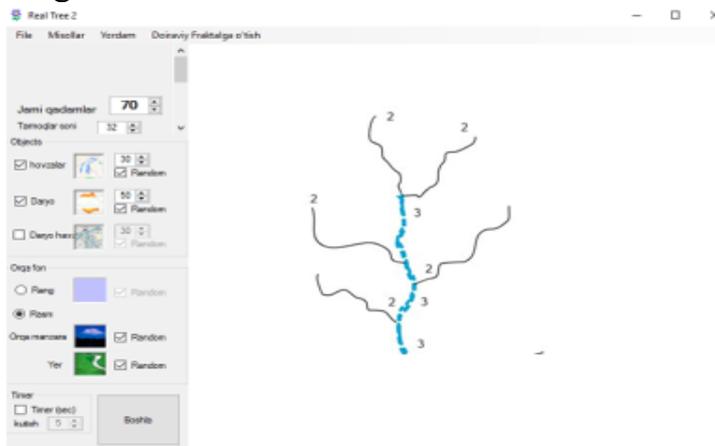
Dissertatsiyaning “**Yer sirti o‘zgarishining diskret qiymatlarini aniqlashning dasturiy majmuasi**” deb nomlangan uchinchi bobida tadqiqot doirasida daryo havzasi va daryo tarmog‘ining murakkab fraktal tuzilishlarni qurish uchun ishlab chiqilgan dasturiy vositalar vizual effektlar uchun ideal bo‘lgan yo‘nalishga asoslangan ish oqimiga ega bo‘lib, u foydalanuvchilarga dinamik simulyatsiyalar yaratishga hamda uning maxsus xususiyatlari matematik modellarni tezda tasavvur qilishga imkon beradi.

Murakkab fraktal tuzilishli daryo tarmog‘i tasvirlarini geometrik modellashtirish dasturiy majmuasi orqali daryo tarmog‘ining murakkab fraktal shakllarni ishlab chiqish, tabiiy tasvirlarning fraktal o‘lchovini aniqlash va ular asosida tashxislash mumkin.



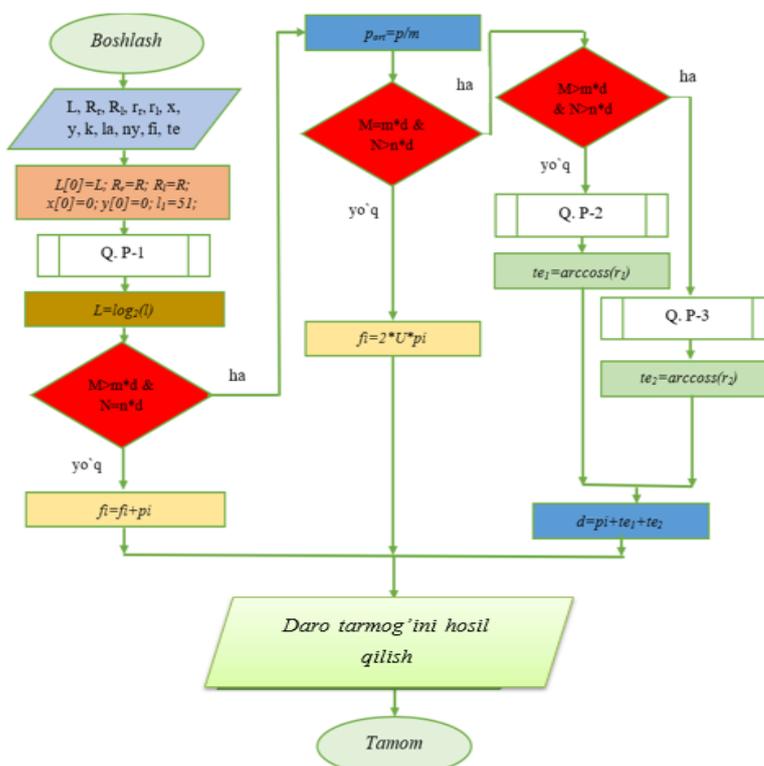
10-rasm. Murakkab fraktal obyektlarni qurish va o‘lchovlarini aniqlash dasturiy majmua interfeysi

Ushbu geometrik modeldan daryo tarmog'ini hosil qilishda foydalaniladi. Ushbu burchaklar yordamida ixtiyoriy daryo tarmog'ini yaratish mumkin. Ishda vizualizatsiya jarayonini kuzatish uchun dasturiy majmua ishlab chiqilgan bo'lib, unda daryo tarmog'ining vizual tasvirlarini ko'rish mumkin.



11-rasm. Daryo tarmog'ining vizual ko'rinishi

Bo'linishni takomillashtirishda bo'linish havzadagi irmoqlar sonini kamida ikki baravar oshiradi. Bu tarmoqning ko'payish bosqichlari havzaning eksponentsial o'sishiga olib keladi. Ushbu ilmiy tadqiqot ishida moslashuvchan takomillashtirish texnikasi qo'llaniladi. Demak, yangi irmoqni hisoblash uchun faqat bitta qoida kerak. Bo'linish sxemasi nosimmetrik bo'lishi va iloji boricha kichik bo'lishi kerak.



12-rasm. Dasturiy majmuaning funksional sxematik tuzilishi

Murakkab ko'rinishdagi fraktal obyektlarni vizuallashtirishda C++ va OpenGL dasturlash tillaridan foydalanildi. Yaratilgan «Fraktal sirt» dasturiy

vositasi murakkab fraktallarni ishlab chiqish uchun tez vizualizatsiya qilish imkonini beradi.

XULOSA

“Fraktal tuzilishli Yer sirtini geometrik modellashtirish va vizuallashtirish” mavzusida olib borilgan dissertatsiya ishining natijalari bo‘yicha quyidagi asosiy xulosalar taqdim etildi:

1. Fraktallar nazariyasining asosiy tushunchalari, fraktallarning paydo bo‘lish tarixi, uning xususiyatlari, turlari va qo‘llanilish sohalari o‘rganildi va tadqiq qilindi. Natijada obyektlarning fraktal o‘lchovini aniqlash hamda tasvirlardan olingan murakkab tuzilishlarni loyihalash jarayonlarida qo‘llanilishi va iqtisodiy samara berishi aniqlandi.

2. Takomillashtirilgan katakchalarni sanash va takomillashtirilgan kublar usuli asosida olingan fraktal o‘lchovlar yordamida Zarafshon daryo tarmog‘ining fraktal xususiyatli hududlarida eroziya mavjudligi aniqlandi.

3. Analitik va fraktal geometriyaning asosiy tushunchalarini qo‘llab fraktal xususiyatli daryo tarmog‘i hosil bo‘lishining geometrik va fraktal modeli ishlab chiqildi.

4. Xarita yordamida O‘zbekiston Respublikasining chegarasi uzunligi hamda fraktal o‘lchovi masshtablangan Richardson effekti usuli yordamida aniqlanib, O‘zbekiston Respublikasining chegarasi uzunligining fraktal o‘lchovi $D \approx 1,21$ ga teng ekanligi aniqlandi.

5. Takomillashtirilgan katakchalarni sanash usuli va Orol dengizining 1957-2024 yillarda olingan tasvirlaridan foydalanib, uning fraktal o‘lchovi $D \approx 1,76$ dan $D \approx 1,20$ gacha o‘zgarishi aniqlandi. Aniqlangan fraktal o‘lchovlar orqali Orol dengizi suv sathining kamayib borish ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Orol dengizidagi suv sathining kamayishi hamda qirg‘oqlari fraktal tuzilishga ega ekanligi aniqlandi.

6. Dissertatsiya doirasida ishlab chiqilgan geometrik va fraktal modellar, algoritmlar va dasturiy vositalar «Davlat kadastrlari palatasi Samarqand viloyat boshqarmasi», «Shaharsizlik hujjatlarini ekspertiza qilish respublika markazi davlat muassasasining Samarqand viloyati hududiy boshqarmasi», «YUKSAK BINO LOYIHA» MCHJda joriy qilingan. Natijada chegara uzunligini aniqlash jarayonlari uchun fraktal tuzilishli obyektlarni loyihalashni avtomatlashtirish va ishlab chiqarishni 8%–11%ga oshirish hamda qo‘l mehnatining kamayishi hisobiga xarajatlarni 5-9%ga kamaytirishga, chegarani aniqlash algoritmlari va geometrik tahliliga ketadigan vaqt 2 barobarga kamayishi, obyekt hududlarining kengayishi (qisqarishi) fraktal o‘lchovini aniqlashga ketadigan vaqtni o‘rtacha 10%ga qisqartirish imkonini bergan.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

САИДКУЛОВ ЭЛЁР АБДУЛЛАЕВИЧ

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ФРАКТАЛЬНО СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика.
Аудио и видеотехнологии

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2023.4.PhD/T4160

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Анарова Шахзода Аманбаевна
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Хамдамов Уткир Рахматуллаевич
доктор технических наук, профессор

Хаитов Бафо Усмонович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова

Защита диссертации состоится «___» _____ 2025 г. в _____ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: iktuit@tuit.uz).

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

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2025 года.
(протокол рассылки № ___ от «___» _____ 2025 г.).

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

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

Ф.М. Нуралиев
Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению
ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется исследованию геометрических аспектов теории фракталов, а также методам описания природных процессов и явлений с использованием идей теории фракталов. Поэтому напрямую сопоставить значения фрактальной структуры поверхности Земли, густоты речной сети и частоты стока для крупных и малых водоемов не представляется возможным, так как они обычно зависят от размеров водоема. В развитых зарубежных странах в этой области, в том числе в США, Франции, Германии, Италии, Турции, Российской Федерации, Южной Кореи, Китае, Японии, Индии и Казахстане, большое внимание уделяется решению теоретических и практических вопросов разработки технологий с использованием фрактальных геометрических фигур.

В настоящее время понимание структуры и свойств Земной поверхности необходимо для широкого круга областей, таких как геология, география, экология и городское планирование. В последние годы фрактальные структуры стали инструментом моделирования и анализа поверхностей. Фракталы - это геометрические объекты, демонстрирующие самоподобие в разных масштабах и используемые для описания различных сложных природных явлений. Ученые использовали фрактальные модели для анализа поверхностей, используя различные новые сведения об их свойствах и изменениях. Данное исследование посвящено разработке нового алгоритма расчета площадей поверхностей с использованием фрактальных структур. Разработанный алгоритм основан на сочетании существующих алгоритмов, моделей и новых методов создания и манипулирования фрактальными поверхностями. Разработка алгоритма расчета динамики изменений земной поверхности с помощью фрактальных структур дает новое представление о характеристиках и поведении сложных природных явлений. Методы фрактальной геометрии активно используются при проектировании объектов со сложной фрактальной структурой.

Указ Президента Республики Узбекистан от 31 мая 2017 года УП № - 5065 «О мерах по усилению контроля за охраной и рациональным использованием земель, совершенствованию геодезической и картографической деятельности, упорядочению ведения государственных кадастров» о систематическом учете земельных ресурсов и контроле за их использованием, регулировании ведения государственных кадастров, а также постоянном соблюдении земельного законодательства в рамках программы мер по совершенствованию картографического фонда Республики Узбекистан разработана и внедрена система мониторинга, проведены работы по проведению комплексной документации объектов недвижимости. При реализации этих задач, в том числе, в целях повышения эффективности реформ, реализуемых в сфере картографии, создаются современные картографические объекты на основе современных информационных технологий, разработка геометрических моделей и программных средств проектов является одним из важных вопросов. Дальнейшее

совершенствование кадастровой сети в нашей республике, формирование механизмов последовательного развития геодезических и картографических организаций и учреждений, обеспечения эффективности системы государственного управления, реализуются комплексные меры по внедрению в отрасль передовых цифровых технологий. Расчет поверхностей речных сетей, геометрических моделей, определение протяженности тех или иных регионов – один из важных вопросов, который можно решить, используя элементы теории фракталов. В данной исследовательской работе при расчете площадей поверхности использовались фрактальные структуры. Поверхность Земли является важнейшим компонентом географической информации и представляет топографию Земной поверхности. Точный расчет площади поверхности необходим для различных приложений, включая моделирование окружающей среды, ландшафтное планирование и геологические исследования. Традиционные методы расчета площадей поверхностей основаны на методах интерполяции, которые предполагают гладкую и непрерывную поверхность. Однако естественные поверхности часто характеризуются сложными узорами и неровностями, которые этими методами не удается выявить достаточно точно. Здесь появляются фрактальные структуры, представляющие собой более точное изображение природной поверхности.

Указ Президента Республики Узбекистан УП № 60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы» от 28 января 2022 года, а также постановления ППП № 3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» и ППП № 4708 от 7 мая 2020 года, наряду с другими нормативными документами, относящимися к данной деятельности, определяют задачи, реализация которых в определённой степени способствует выполнению данного исследовательского проекта.

Постановление Президента Республики Узбекистан от 31 мая 2017 года ППП № 5065 «О мерах по усилению контроля за охраной и рациональным использованием земель, совершенствованию геодезической и картографической деятельности, регулированию ведения государственного кадастра» включает в качестве одной из приоритетных задач «цифровизацию градостроительной деятельности, внедрение в сеть современных информационно-коммуникационных технологий». В реализации этих задач одним из важных вопросов является разработка геометрической модели современных проектов и программного инструмента на основе современных информационных технологий с целью повышения эффективности реформ, реализуемых в сфере кадастра.

Соответствие исследований приоритетам развития науки и техники республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики IV - «Развитие информатизации информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. По проблемам моделирования поверхностей фрактальными структурами имеется ряд монографий и статей. Б.Б. Манделброт, М. Барнслей, В.Ф. Кравченко, В.К. Балханов, С. Писковер, Б.С. Захаров, Ю. Брилкин, М. Эдгар, О.Э. Акимов, А.Н. Герега, Д.Б. Гелашвили, А.Д. Мрозов, К.Б. Максименко-Шейко, А. Линденмаер, А.К. Остапчук, А.А. Патопов, А.А. Криллов, Л.М. Перерва, А.Э. Кононюк и другие активно проводят исследования по расширению области моделирования поверхностей с фрактальными структурами, в том числе с использованием алгоритмов сложных математических и геометрических функций, использования современных компьютерных технологий при практическом проектировании новых поверхностей.

В Узбекистане академиком Б.А. Бондаренко проводились научные исследования по построению обобщенных «треугольников Паскаля», «пирамид Паскаля» и их фрактальных уравнений на основе теории биномиальных базисных полиномов с арифметическими свойствами. Профессор Ш.А. Назиров разработал уравнения и рекурсивные алгоритмы классических геометрических фракталов сложной структуры с использованием метода R-функции (RFM).

В дальнейшем, научные исследования проводили и проводят Ш.А. Анарова, Б.Х. Ходжаёров, Ф.М. Нуралиев, Х.Н. Зайнидинов, Ш.А. Садуллаева и их ученики.

Исследования в данной области показывают, что технологии компьютерного моделирования земных поверхностей, основанные на геометрических моделях, играют значительную роль в измерении земных поверхностей. Системы компьютерного моделирования способствуют разработке различных объектов и выделению соответствующих областей на начальном этапе проектирования. Однако при геометрическом моделировании сложных фрактальных структур, в частности, природа эрозии земли недостаточно изучена с использованием методов определения фрактальной размерности процесса эрозии рельефа с фрактальной структурой.

Связь диссертационного исследования с научными планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертационные исследования выполнены в рамках проектной работы Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразми по проекту № ФЗ-2019081212 «Разработка технологии геометрического моделирования для описания сложных фрактальных структур в узбекских национальных узорах» (2020-2021).

Цель исследования – разработка геометрической и фрактальной модели фрактальной структуры Земной поверхности, усовершенствование методов фрактальной размерности для расчета площади границы и визуализация полученных результатов.

Задачи исследования:

анализ существующих методов и алгоритмов моделирования земной поверхности;

построение геометрической и фрактальной модели формирования речной сети с использованием основных понятий аналитической и фрактальной геометрии, а также усовершенствование метода куба для расчета фрактальной размерности;

разработка алгоритма расчета фрактальной размерности состояния эрозии почв усовершенствованным методом куба;

разработка алгоритма расчета фрактальной размерности приграничных территорий и речных сетей с использованием усовершенствованных методов подсчета ячеек и масштабированного эффекта Ричардсона;

визуализация дискретных значений изменений поверхности с фрактальными характеристиками и разработка функциональной схемы программного комплекса.

Объектом исследования являются природные поверхности и объекты с фрактальной структурой.

Предметом исследования являются кубы для поверхностей и объектов с фрактальной структурой, подсчет ячеек, векторы, методы эффекта Ричардсона, геометрические и мультифрактальные модели, алгоритмы и пакет программ для проведения экспериментов на компьютерах.

Методы исследования. Используются теория фракталов, обработка изображений, теория алгоритмов, технология программирования, анализ результатов и методы обработки данных в вычислительных машинах.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

построена геометрическая и фрактальная модель формирования речной сети с использованием основных понятий аналитической и фрактальной геометрии, а также усовершенствован метод кубов для расчета фрактальной размерности;

разработан алгоритм расчета фрактальной размерности состояния эрозии почв усовершенствованным методом куба;

разработан алгоритм расчета фрактальной размерности приграничных территорий и речных сетей с использованием усовершенствованных методов подсчета ячеек и масштабированного эффекта Ричардсона;

визуализированы дискретные значения изменений поверхности с фрактальными характеристиками и разработана функциональная схема программного комплекса.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны мультифрактальные и геометрические модели и методы их реализации с использованием геометрических замен объектов с фрактальной структурой;

разработан алгоритм определения фрактальной размерности площади с использованием метода эффекта Ричардсона;

разработан программный комплекс для визуализации динамики формирования фрактальных рельефов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований объясняется соблюдением правил компьютерных исследований и геометрических моделей характера эрозии земной

поверхности с использованием методов визуализации динамики формирования рельефов и определения фрактальной размерности процесса эрозии земельного рельефа, а также правильное использование математического аппарата геометрического моделирования при разработке предлагаемых алгоритмов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что с использованием основных понятий аналитической и фрактальной геометрии построена геометрическая и фрактальная модель формирования речной сети для изучения поверхности Земли с фрактальной структурой, разработаны фрактальные размерности состояния эрозии почв методом усовершенствованных кубов, разработаны алгоритмы расчета фрактальной размерности приграничных регионов и речных сетей с использованием методов усовершенствованного подсчета ячеек и масштабированного эффекта Ричардсона, визуализация дискретных значений изменений поверхности Земли с фрактальными характеристиками и разработка функциональной схемы программного комплекса.

Практическая значимость результатов исследования объясняется внедрением программного комплекса, позволяющий автоматизировать процессы решения задач, связанных со структурой фракталов, а также практическим применением в область дизайна поверхностей геометрических и фрактальных моделей и алгоритмов одно- и двумерных фракталов.

Внедрение результатов исследований. На основе алгоритмов и программного комплекса, разработанных в результате исследований по геометрическому и фрактальному моделированию визуализации дискретных величин формирования рельефов с фрактальной структурой в рамках диссертации:

программный инструмент для визуализации динамики формирования рельефов с фрактальной структурой внедрен в «Государственную кадастровую палату администрации Самаркандской области» (справка №03-07/01-1083 от 16 апреля 2024 года Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Каракалпакстан). Применение программного обеспечения повысило эффективность научных исследований, информативность, точность и достоверность полученных результатов, а время, затрачиваемое на создание речной сети, сократилось в 1,3 раза, погрешность создания сети снизилась на 3-5%, а производительность труда при создании дополнительной речной сети увеличилась на 4-6%;

программный инструмент для создания поверхностей с фрактальными характеристиками внедрен в областное отделение Самаркандской области государственного учреждения республиканского центра экспертизы градостроительной документации (справка №03-07/01-1083 от 16 апреля 2024 года Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Каракалпакстан). В результате время, необходимое для определения состояния эрозии, сокращается в 1,5 раза, погрешность

определения эрозии снижается на 3-6%, а также позволяет сократить объём труда;

программный инструмент, созданный на основе методов и алгоритмов определения фрактальной размерности процесса эрозии рельефа с фрактальными особенностями внедрен в ООО «YUKSAK BINO LOYIHA» (справка №03-07/01-1083 от 16 апреля 2024 года Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Каракалпакстан). В результате время определения эрозий на основе фрактальных измерений сократилось в 2 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований обсуждались на 3 международных и 10 национальных научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликованы 27 научных работ, из них 10 научные статьи, в том числе 8 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получены 4 свидетельства о регистрации программных средств для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость темы диссертации, показывается совместимость исследования с приоритетными направлениями развития науки и техники Республики Узбекистан, определяются цели и задачи исследования, определяются объект и предмет исследования, обосновывается достоверность полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость, состояние внедрения результатов исследования на практике, представлены опубликованные работы и сведения о структуре диссертации.

Первая глава диссертации под названием «**Анализ литературы по современному состоянию исследований**» посвящена изучению основных понятий фрактальной геометрии, объяснено и проанализировано современное состояние методов построения фрактальных фигур и областей их применения, история возникновения понятия фракталов, определения фракталов, специфические характеристики фракталов и общие понятия, связанные с фракталами, а также актуальность проблемы. Подробно проанализированы научные и практические исследования, проводимые в зарубежных странах и нашей республике по определению фрактальных размерностей объектов со сложной фрактальной структурой, изучены основные положения теории фракталов, современное состояние методов определения фрактальных размерностей, практика их применения в речных сетях, описаны специфические характеристики фракталов и общие понятия,

связанные с фракталами, а также изложена постановка задачи научно-исследовательской работы. Изучено использование фракталов в областях науки и техники, включая математику, физику, компьютерную графику, легкую промышленность, электронику, астрофизику, биологию, материаловедение и медицину, а также представлены конкретные решения по определению фрактальных размерностей.

Во второй главе дипломной работы под названием «Мультифрактальные и геометрические модели объектов с фрактальной структурой, фрактальные размерности» разработаны алгоритмы подсчета ячеек, метод куба и усовершенствованный метод куба для определения фрактальной размерности изображения речной сети с фрактальной структурой, а также разработка геометрической фрактальной модели формирования речной сети.

Тщательно изучена фрактальная структура сетей в природе. Оценку дробной размерности можно использовать для описания и анализа различных образований речной сети.

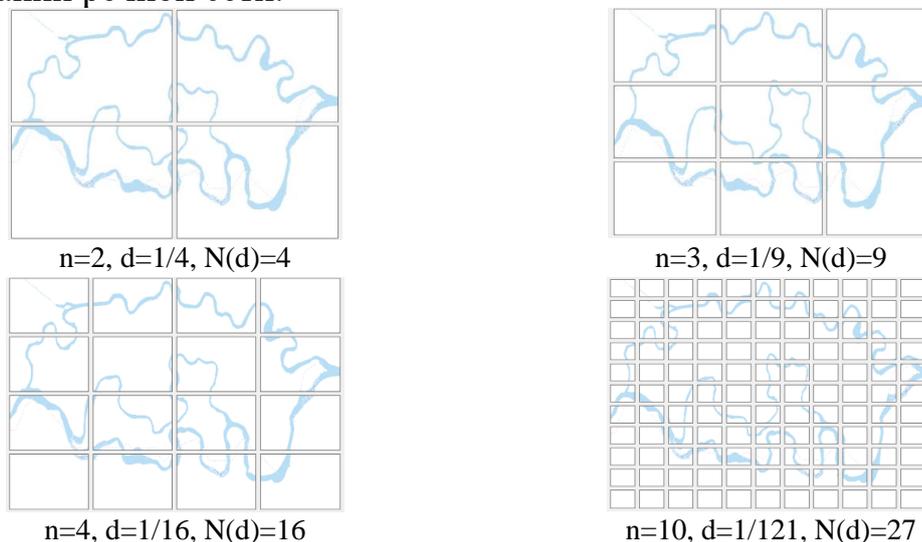


Рис. 1. Определение фрактальной размерности реки Зарафшон методом подсчета ячеек.

Из значений N видно, что речная сеть имеет сложное строение. Потому что по мере уменьшения размера разделенных ячеек количество ячеек увеличивается. Это свидетельствует о том, что речная сеть бесконечно разветвлена во всех направлениях. Используя эти данные, методом наложения был определен дробная размерность речной сети.

Когда дано изображение размером $M \times N$, δ вычисляется следующим образом:

$$s = 2, 3, 4, \dots, 2^{l-1}$$

$$m = [M / s]$$

$$n = [N / s]$$

Здесь s - размер ячейки, K - общее количество ячеек, а $K(s)$ - количество ячеек с фрактальным изображением.

Используя метод подсчета ячеек $M = m\delta$ и $N = n\delta$, размер ячеек определяется исходя из следующих условий:

$$\text{Если } M > ms \text{ и } N = ns, \text{ то } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ms)}{s},$$

$$\text{Если } M = ms \text{ и } N > ns, \text{ то } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(N - ns)}{s},$$

$$\text{Если } M > ms \text{ и } N > ns, \text{ то } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ms) \times (N - ns)}{s^2}$$

$$M \times N, \quad M = 21, \quad N = 17, \quad \delta = 8, \\ m = [19/3], n = [17/3], p_s \neq 0,$$

$$\bar{p} = 9.25 \quad K'(s) = \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{M}{s} \rfloor} \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{N}{s} \rfloor} n_{i,j}$$

$$p_{3,3} = 9$$

$$n_{3,3} = \min\left(\frac{p_{3,3}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(N - ns)}{s} = \frac{9}{9.25} \times \frac{2}{3} = 0.64$$

Исходя из этого определяется $K'(s) = 4 + 0.64 = 4.64$.

Вначале определено $K(s)$ методом подсчета клеток. А в усовершенствованном методе подсчета клеток $K'(s)$ было определено.

Используя полученные результаты, определена фрактальная размерность:

$$D = \frac{\lg(K'(s))}{\lg\left(\frac{1}{s}\right)} = 1,3969 \quad (1)$$

Системы речных сетей с фрактальной структурой служат для улучшения речного стока и предотвращения функциональных нарушений. Речная сеть также имеет фрактальную структуру, как и фрактальные изображения, представленные выше, и определена фрактальная размерность. Для этого извлекается речная сеть, то есть загружается существующее изображение и определяются граничные измерения.

Фракталы создаются путем повторения исходной формы после геометрических изменений на первом этапе, а затем повторения этого процесса бесконечное количество раз на последующих этапах. Этот процесс приводит к созданию фрактальной формы.

Большинство предложенных к настоящему времени методов оценки фрактальной размерности используют метод геометрического шага, учитывающий часть изображения фрактальной структуры за пределами доступной области. В усовершенствованном методе кубов размер фрактального изображения принимается равным $M \times M \times M = 3^m \times 3^m \times 3^m$, а избыток кубов в цифрово обработанном изображении не учитывается. В данном исследовании для решения задачи метода куба данное изображение

разбивается на $\delta \times \delta \times \delta$ размерных кубов и подсчитываются кубы, содержащие фрактальное изображение.

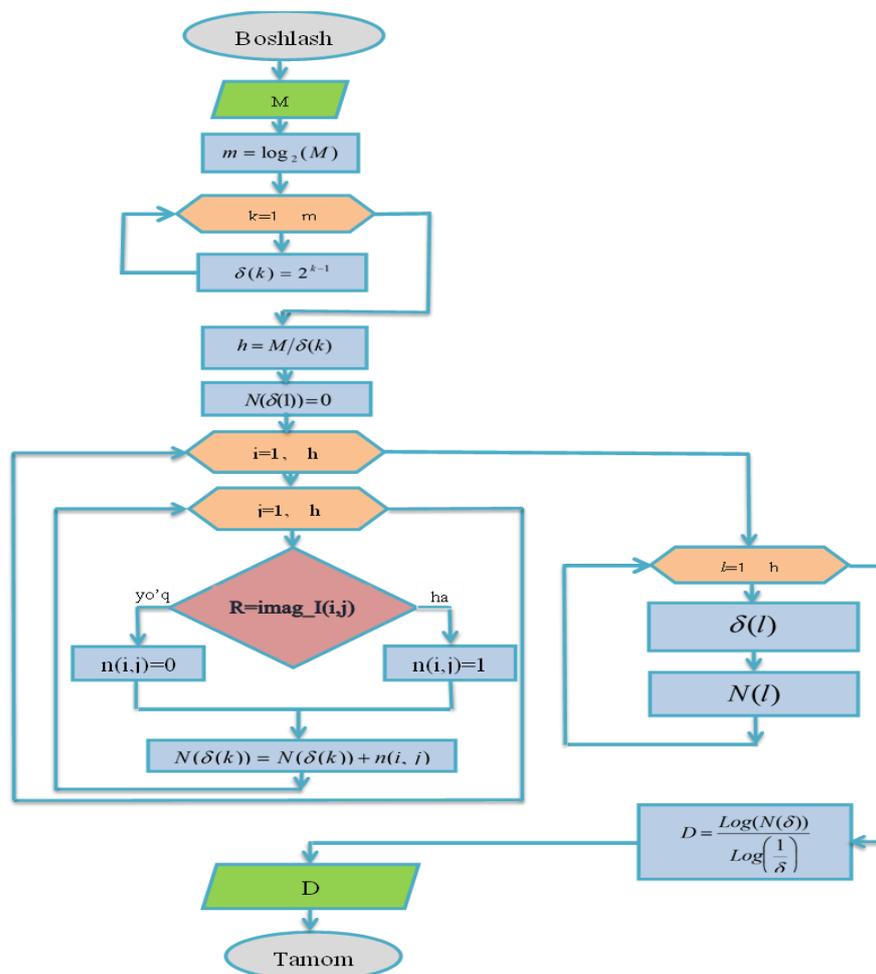


Рис. 2. Блок-схема определения фрактальной размерности изображений с фрактальной структурой на основе метода подсчета ячеек.

Когда дано 2D изображение в виде 3D с размером $M \times M \times M$, метод подсчета кубов использует самоподобие изображений с фрактальной структурой и делит его на кубы, задав размер шага N . Здесь D - фрактальная размерность, зависящая от количества и размера кубиков.

Когда дано 2D изображение в виде 3D с размером $M \times M \times M$, n рассчитывается следующим образом: $n = 1, 2, 4, \dots, 2^{m-1}$ где $m = \log_2(M)$. Данное изображение разбивается на кубы по размеру $n \times n$, затем формируются кубы состоящие из строки и столбца ($i \times j \times k$), а значение кубов $n_{i,j,k} = 0$ где если нет изображения, значение кубов $n_{i,j,k} = 1/2$, то если за 0 следует 1 и за 1 следует 0, а если идет после 1/2, то значение кубов равен $n_{i,j,k} = 1$.

В улучшенном методе кубов: $M \times N \times Z$.

Дано изображение с размером $M \times N \times Z$, s вычисляется следующим образом:

$$L = \min(M, N, Z), \quad s = 2, 4, \dots, 2^{l-1}$$

$$\begin{aligned}
l &= \log_2(L). \\
m &= [M / s]. \\
n &= [N / s]. \\
z &= [Z / s].
\end{aligned}$$

Используя метод подсчёта ячеек $M = ms$, $N = ns$, $Z = zs$ и $p_s \neq 0$, размер кубов вычисляется исходя из следующих условий:

$$\text{Если } M > ms, N = ns \text{ и } Z = zs, \text{ то } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ms)}{s}.$$

$$\text{Если } M = ms, N > ns \text{ и } Z = zs, \text{ то } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(N - ns)}{s}.$$

$$\text{Если } M = ms, N > ns \text{ и } Z > zs, \text{ то } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(Z - zs)}{s}.$$

$$\text{Если } M > ms, N > ns \text{ и } Z = zs, \text{ то } n_{i,j,k} = \min\left(\frac{p_{i,j,k}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ms) \times (N - ns) \times (Z - zs)}{s^2}.$$

$$N = \sum_{i=1}^{M/s} \sum_{j=1}^{M/s} \sum_{k=1}^{M/s} n_{i,j,k}. \quad (2)$$

N - количество разбитых кубов на каждом шаге, полученное повторением процесса подсчёта. На основе шагов, описанных в таблице 1, фрактальная размерность D находится следующим образом:

$$D = \frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{s}\right)} = \frac{\log(400)}{\log\left(\frac{1}{1/9}\right)} = 2.7454 \quad (3)$$

3D фрактальная размерность поверхности реки Зарафшан было определено методом куба.

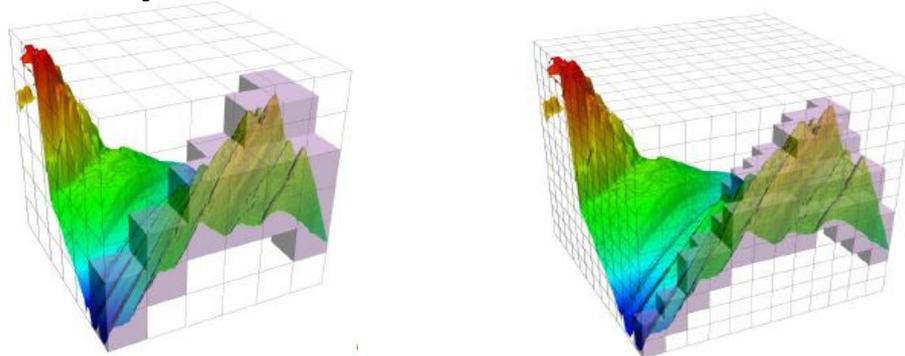


Рис. 3. Состояние речной сети Зарафшана при разделении на кубы.

С помощью блок-схем определена фрактальная размерность эрозионной части речной сети Зарафшана, полученная от кадастрового управления Самаркандской области. При этом фрактальная размерность части, где имеется эрозия, определялась усовершенствованным методом кубического счета с учетом только участка с фрактальным изображением.

В данной исследовательской работе было установлено, что условия эрозии в речной сети Зарафшана изменились на 0,1217 с использованием улучшенного метода куба, и были проведены сравнительные анализы по сравнению улучшенного метода куба с двумя другими методами.

Таблица 1

Сравнительный анализ различных методов определения фрактальной размерности эрозии речной сети Зарафшана

Нет	Метод подсчета клеток	Метод куба	Улучшенный метод кубиков
1	1,7488	2,8073	2,3219
2	1,6234	2,6801	2,4649
3	1,6123	2,6787	2,4770
4	1,6001	2,6989	2,5542
5	1,5963	2,6991	2,5974
6	1,5769	2,7304	2,6799
7	1,5721	2,7429	2,6958
8	1,5624	2,7527	2,7268
9	1,5625	2,8115	2,7379
10	1,5626	2,8326	2,7454

Значения густоты речной сети и частоты стока для крупных и малых водоёмов напрямую не сопоставимы, так как в целом зависят от размеров водоёма. Большой водоём может иметь столько же элементарных притоков небольшой длины на единицу площади, сколько и малый водоём, и, кроме того, обычно содержит одну или несколько крупных рек.

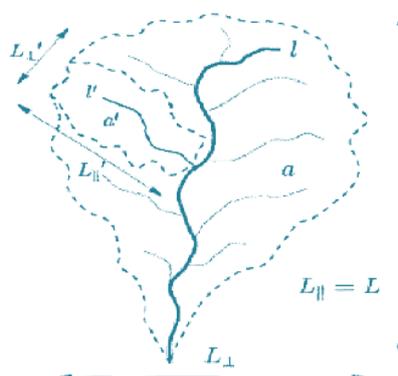


Рис. 4. Схематический вид речной сети

На рисунке 4 представлено схематическое изображение речной сети, где a — площадь объёма реки (обозначена контурными линиями), l — длина основного течения (обозначена толстой линией), L_{\perp} а L_{\parallel} — соответственно длина и ширина водоёма.

Ниже разработана геометрическая модель формирования речной сети.

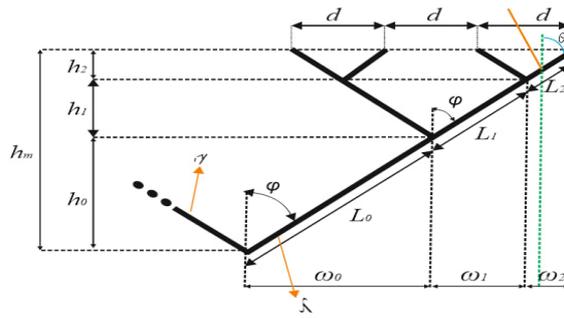


Рисунок 5. Геометрическая модель формирования речной сети

$$\varphi_{2i+1} = 2\pi U(0, 1). \tag{4}$$

$$\varphi_{2i+2} = \varphi_{2i+1} + \pi.$$

$$\theta_{2i+1} = \arccos \left(\frac{F_{n2i+1}^2}{2} + \frac{F_{n2i+1}^{-2}}{2} \left(1 - (1 - F_{n2i+1}^\gamma)^{\frac{4}{\gamma}} \right) \right). \tag{5}$$

$$\theta_{2i+2} = \arccos \left(\frac{F_{L2i+2}^2}{2} + \frac{F_{L2i+2}^{-2}}{2} \left(1 - (1 - F_{L2i+2}^\gamma)^{\frac{4}{\gamma}} \right) \right).$$

Теперь представляем фрактальную модель формирования речной сети. Фрактальная модель, созданная на основе метода L-систем (простая версия):

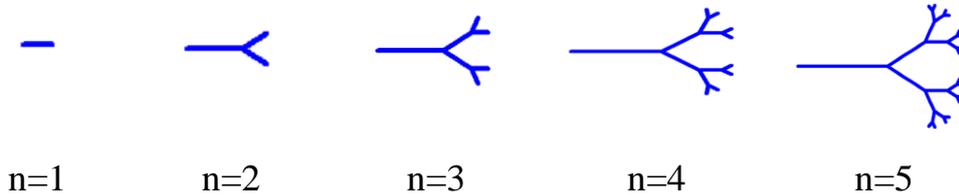
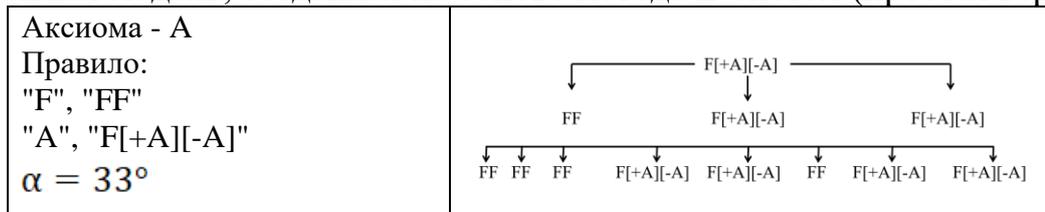


Рисунок 6. Образование притоков реки на разных шагах итерации

Фрактальная модель, созданная на основе метода L-систем (улучшенная версия):

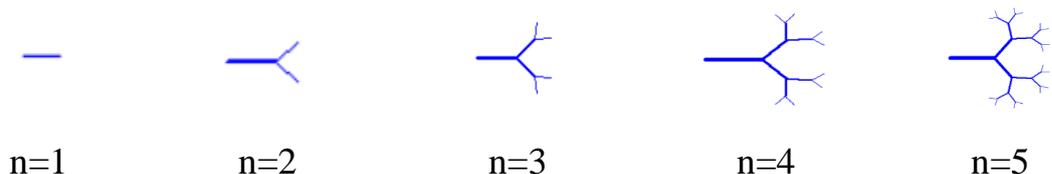
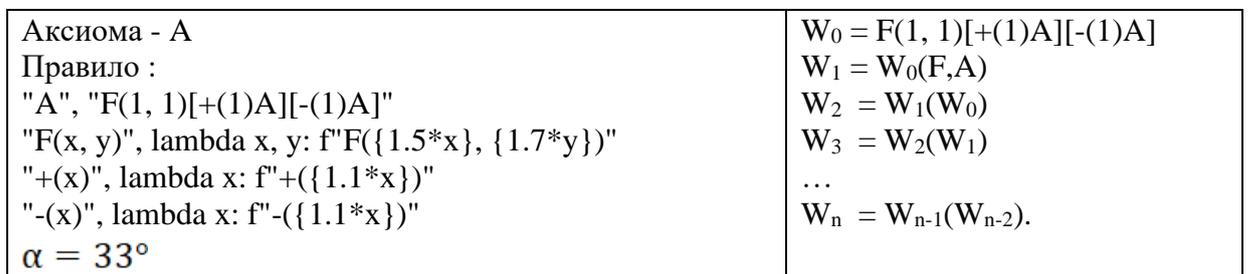
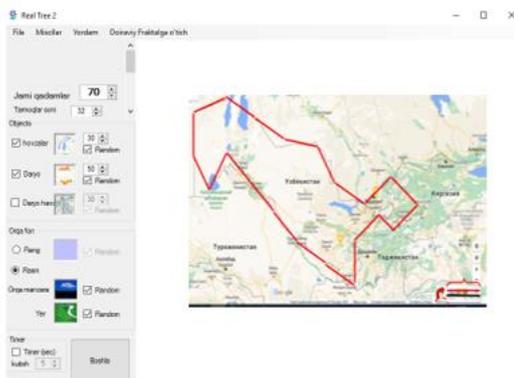


Рисунок 7. Образование притоков реки на разных шагах итерации

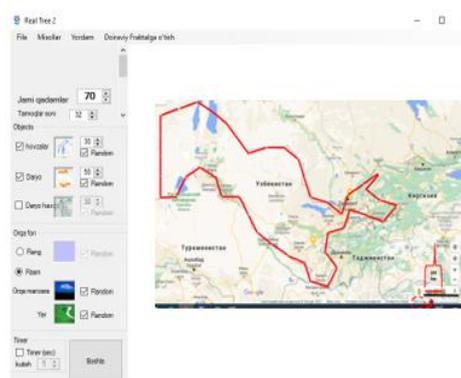
В разработанной геометрической модели можно создать радиус средней речной сети, рассчитать длину речной сети, угол речной сети, радиусы речной сети, определить углы между речными сетями, определить пересекающиеся речные сети, проверить узлы речной сети.

Граница Республики Узбекистан состоит из множества больших, маленьких, маленьких и даже очень маленьких входных участков, образующих сложную траекторию движения. Когда используются меньшие сегменты линий, в масштаб включается все больше и больше входов, что приводит к увеличению длины граничных линий. Длина границы Республики Узбекистан измерялась с использованием масштабной карты с участками прямых линий длиной 200 км, 100 км, 50 км и 25 км.

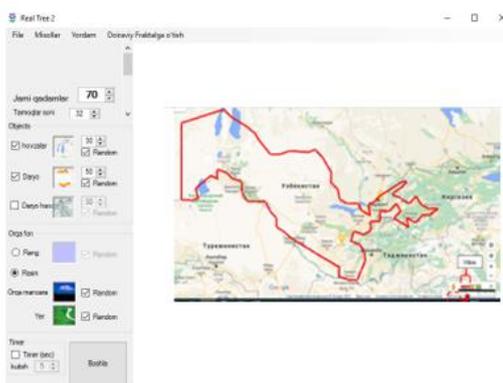
По мере уменьшения размеров отрезков прямых полигональное изображение границы Республики Узбекистан практически приближается к форме карты. По мере уменьшения измеренного значения длина граничной линии увеличивается. Фрактальная размерность – это показатель роста длины кривой по мере увеличения точности измерения параметра.



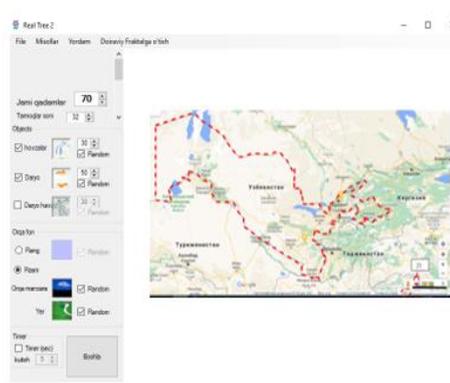
$N=19, G=200, L=3800$



$N=44, G=100, L=4400$



$N=100, G=50, L=5000$



$N=245, G=25, L=6125$

Рис. 8. Измерение длины границы Республики Узбекистан прямыми линиями

При измерении длины границы Республики Узбекистан прямыми линиями длиной 200 км количество этих линий равно 19. Соответственно, длина границы составляет 3800 км. Если измерять прямые линии длиной 100 км, то число этих линий равно 44. Соответственно, длина границы составляет 4400 км. При измерении по прямым линиям длиной 50 км число этих линий равно 100. Соответственно, длина границы составляет 5000 км. Общее количество этих линий составляет 245 при измерении по прямой длиной 25 км и невидимым линиям длиной 25 км. Соответственно, длина границы составит 6125 км. Результаты представлены в таблице 2 ниже.

Таблица 2

Определение длины границы на основе единиц измерения

	Случай 1	Случай 2	Случай 3	Случай 4
Количество единиц (N)	19	44	100	245
Единица измерения (G)	200 км	100 км	50 км	25 км
Длина границы (L)	3800 км	4400 км	5000 км	6125 км

Здесь эмпирическая зависимость и данные о значениях, приведенные в таблице, помогают рассчитать фрактальную размерность (D). Для определения фрактальной размерности (D) реализуется следующий геометрический закон на эмпирическом соотношении $L(G): MG^{1-D}$:

$$L=MG^{1-D} \Rightarrow \lg L=\lg G^{1-D} \Rightarrow \lg L=\lg M+\lg G^{1-D} \Rightarrow \lg L=\lg M+(1-D)\lg G, \quad (6)$$

Полученная формула приводится к виду линейной функции:

$$\begin{aligned} y &= \lg L. \\ m &= (1-D) \Rightarrow D=1-m. \\ x &= \lg G, \quad c = \lg M. \end{aligned} \quad (7)$$

В результате получается линейная функция $y = c + mx$.

Используя данные из таблицы 2, определяем логарифмы соответствующих значений x и y , таким образом, получаем результаты в таблице 3.

Таблица 3

Логарифмические значения длины границы L и размеров единицы измерения G

	Случай 1	Случай 2	Случай 3	Случай 4
Количество единиц (N)	19	44	100	245
Единица измерения (G)	200 км	100 км	50 км	25 км
Длина границы (L)	3800 км	4400 км	5000 км	6125 км
$x = \lg G$	2,30103	2	1,69897	1,39794
$y = \lg L$	3,591065	3,643453	3,69897	3,787106

Используя полученные значения, с помощью метода интерполяции вычисляются коэффициенты функции $y(x)$.

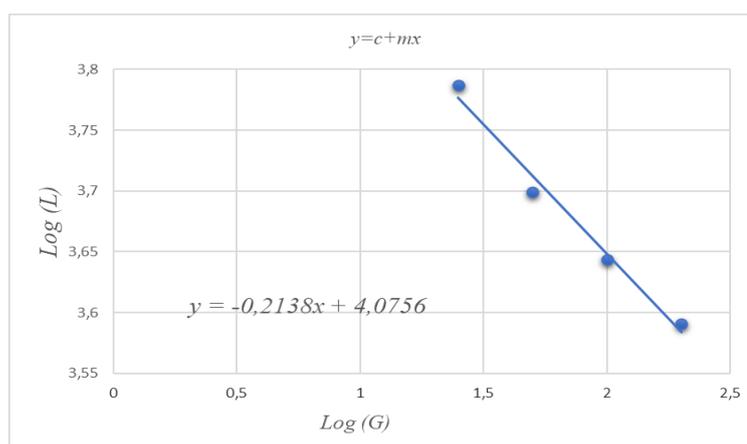


Рис. 9. Определение коэффициентов функции $y(x)$

Линейная функция $y = -0,2138x + 4,0756$ связана с функцией $y = c + mx$ и мы определяем значения $c = \lg M = 4,0756$ и $m = (1 - D) = -0,2138$.

В конце расчета $m = (1 - D) = -0,2138 \Rightarrow D = 1 - (-0,2138)$, отсюда и $D = 1,2138$, или фрактальная размерность длины границы Республики Узбекистан составляет $D \approx 1,21$.

В третьей главе диссертационной работы «**Автоматизированный программный комплекс определения динамики изменения поверхности суши**», программное обеспечение, разработанное для построения сложных фрактальных структур речного бассейна и речной сети, имеет направленный рабочий процесс, который идеально подходит для визуальных эффектов, поскольку он позволяет пользователям создавать динамические симуляции, а его специальные функции позволяют быстро визуализировать математические модели.

С помощью программного комплекса геометрического моделирования изображений речной сети со сложной фрактальной структурой возможна разработка сложных фрактальных форм речной сети, определять фрактальную размерность природных изображений и ставить на их основе диагноз.



Рис. 10. Интерфейс программного комплекса для построения и измерения сложных фрактальных объектов

Эта геометрическая модель используется для создания речной сети. Используя эти углы, можно создать произвольную речную сеть. В работе разработан программный комплекс для контроля процесса визуализации, с помощью которого можно просматривать визуальные изображения речной сети.

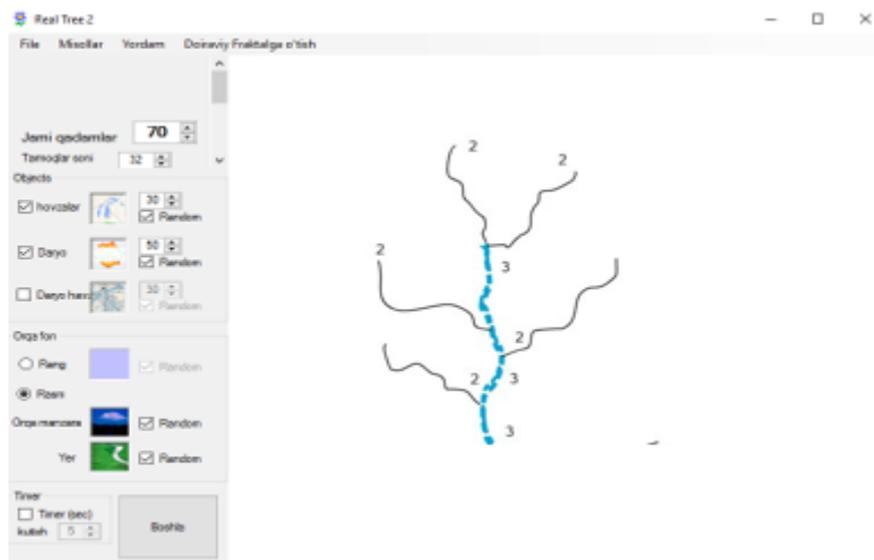


Рис. 11. Визуальное представление речной сети

При улучшении водораздела оно как минимум удваивает количество притоков в водоёме. Постепенные шаги этой сети приводят к экспоненциальному росту водоёма. В данной исследовательской работе

используются методы адаптивной оптимизации. Следовательно, для расчета нового притока необходимо только одно правило: рисунок деления должен быть несимметричным и как можно более мелким.

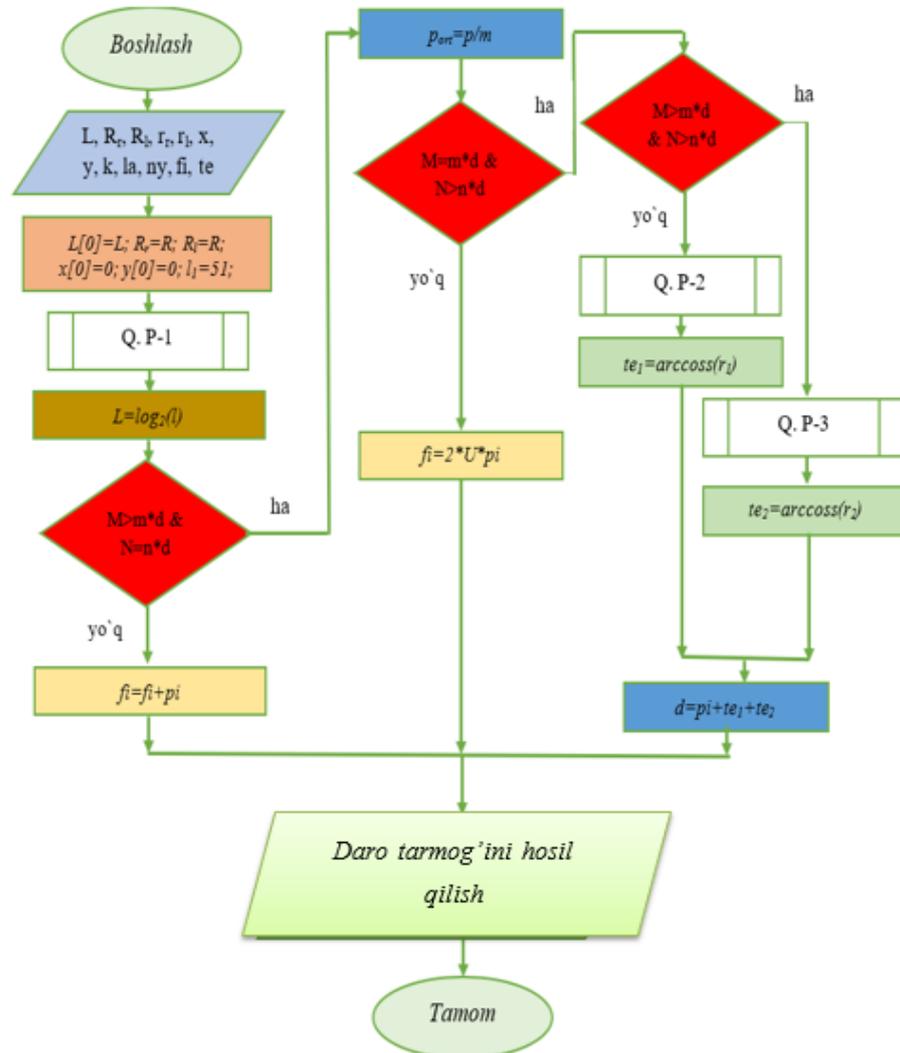


Рис. 12. Функционально-схематическая структура программного комплекса.

Для визуализации сложных фрактальных объектов использовались языки программирования C++ и OpenGL. Разработанное программное средство «Фрактальная поверхность» позволяет осуществлять быструю визуализацию разработки сложных фракталов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационной работы на тему «Геометрическое моделирование и визуализация земной поверхности с фрактальной структурой» были представлены следующие основные выводы:

1. Изучены и исследованы основные понятия теории фракталов, история возникновения фракталов, их свойства, виды и области применения. В результате было установлено, что его можно использовать в процессах определения фрактальной размерности объектов и проектирования сложных структур, полученных по изображениям, и это экономически эффективно.

2. С помощью фрактальных измерений, полученных на основе усовершенствованного подсчета ячеек и усовершенствованного метода куба, установлено наличие эрозии на фрактальных характерных участках речной сети Зарафшана.

3. С использованием основных понятий аналитической и фрактальной геометрии разработана геометрическая и фрактальная модель формирования фрактальной речной сети.

4. С помощью карты методом масштабированного эффекта Ричардсона определены длина границы Республики Узбекистан и фрактальная размерность, выявлено, что фрактальная размерность длины границы Республики Узбекистан равна $D \approx 1,21$.

5. Используя усовершенствованный метод подсчета ячеек и изображения Аральского моря за 1957-2024 годы, было определено, что его фрактальная размерность изменилась с $D \approx 1,76$ до $D \approx 1,20$. Снижение показателей уровня воды Аральского моря проанализировано посредством выявленных фрактальных размерностей. Установлено, что уровень воды в Аральском море снижается и его побережье имеет фрактальную структуру.

6. Геометрические и фрактальные модели, алгоритмы и программные средства, разработанные в рамках дипломной работы, внедрены в «Самаркандском областном управлении палаты государственных кадастров», «Самаркандском областном отделении государственного учреждения Республиканского центра экспертизы урбанизационных документов», ООО «YUKSAK BINO LOYIHA». В результате автоматизация проектирования объектов с фрактальной структурой для процесса определения длины границы и увеличение объёма производства на 8–11 %, также за счет сокращения ручного труда позволяет сократить затраты на 5-9%, время, затрачиваемое на алгоритмы обнаружения границ и геометрический анализ, сократилось в 2 раза, время, затраченное на определение фрактальной размерности расширения (сжатия) площадей объекта, сократилось в среднем на 10%.

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

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

SAIDKULOV ELYOR ABDULLAYEVICH

**GEOMETRIC MODELING AND VISUALIZATION
OF FRACTALLY STRUCTURED EARTH SURFACE**

05.01.01 – Engineering geometry and computer graphics.
Audio and videotechnologies

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

Tashkent 2025

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2023.4.PhD/T4160

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz.)

Scientific adviser: **Anarova Shahzoda Amanbayevna**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Hamdamov Utkir Rakhmatullaevich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Khaitov Bafo Usmonovich
Doctor of Technical Sciences, docent

Leading organization: **Samarkand State University**
named after Sharaf Rashidov

The defense of dissertation will take place «___» _____ 2025 at _____ at 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. Ph.: (+99871) 238-64-43, e-mail: iktuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. _____). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-70, e-mail: iktuit@tuit.uz).

Abstract of the dissertation sent out on «_____» _____ 2025 y.
(mailing report No. ___ on «_____» _____ 2025 y.).

M.M.Musaev
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

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

F.M. Nuraliyev
Chairman of the academic
seminar under the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop a geometric and fractal model of fractally structured parts of the Earth's surface, improve fractal measurement methods for calculating the boundary area, and visualize the results obtained.

The object of the research work is the Earth's surface and its objects with fractal structures.

The scientific novelty of the research work is as follows:

Using the fundamental concepts of analytic and fractal geometry, a geometric and fractal model of river network formation was constructed, and the box-counting method for calculating the fractal dimension was improved;

an algorithm for calculating the fractal dimensions of the Earth's erosion state using the improved cube method was developed;

an algorithm for calculating the fractal dimensions of border areas and river networks using the improved cell counting and scaled Richardson effect methods was developed;

a functional scheme of the software package for visualizing discrete values of fractal-like Earth surface changes was developed.

Implementation of the research results. Based on the algorithms and software developed as a result of the research conducted within the framework of the dissertation on the geometric and fractal modeling of the visualization of discrete values of the formation of reliefs with a fractal structure:

The software tool for visualizing the dynamics of the formation of reliefs with a fractal structure was introduced to the “Samarkand Regional Department of the State Cadastre Chamber” (Reference of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Karakalpakstan dated April 16, 2024 No. 03-07/01-1083). The implementation of the software tool increased the efficiency of scientific research, the informativeness, accuracy and reliability of the results obtained, and the time spent on creating a river network decreased by 1.3 times, the error in creating a network decreased by 3-5%, and labor productivity increased by 4-6% when creating an additional river network;

The software tool for creating surfaces with fractal properties was introduced to the “Samarkand regional territorial department of the state institution of the Republican Center for Expertise of Urban Planning Documentation” (Reference of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Karakalpakstan dated April 16, 2024 No. 03-07/01-1083). As a result, the time spent on determining the state of erosion decreased by 1.5 times, the error in determining erosion decreased by 3-6%, and allows reducing the amount of labor;

A software tool created based on methods and algorithms for determining the fractal dimension of the erosion process of a fractal relief was introduced at “YUKSAK BINO LOYIHA” LLC (Reference of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Karakalpakstan No. 03-07/01-1083 dated April 16, 2024). As a result, the time required to determine erosion based on fractal dimensions was reduced by 2 times.

The structure and volume of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion, references and appendixes. The volume of the dissertation is 118 pages.

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

I bo'lim(I часть; part I)

1. Anarova Sh.A., Berdiyev G'.R., Saidkulov E.A., Abdurahmonov A.A. O'zbekiston respublikasi chegarasi uzunligining fraktal o'lchovi // "TATU xabarlari" jurnali. -Toshkent, 2021, №1 (57). – B .88-100. (05.00.00; №31)
2. Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'.R., Saidkulov E.A. Меморий фрактал шаклларнинг тахлили ва истикболдаги ўрни // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari.№2 (16), 2021.-B. 142-416. (05.00.00; №10)
3. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Saidkulov E.A. Метод R-функций и построение уравнений фракталов // Hisoblash va amaliy matematika muammolari jurnali. -Toshkent, 2021. № 4(34). - B. 36–46.(05.00.00; №23)
4. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Saidkulov E.A. Фрактальная обработка и определение фрактальной размерности изображения // "Hisoblash va amaliy matematika muammolari" jurnali.–Toshkent, 2021. № 5(35). -B.52-70. (05.00.00; №23)
5. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A., Mirsaidov B.M. Development of models, algorithms, and programs for fractal structures containing relief surfaces // Journal of "Innovations in Social Sciences". Volume 03, Issue 02, 2023. ISSN: 2181-2594. -P. 68-70
6. Saidkulov E.A., Bobomurodov K., Mirsaidov B., Abatov Sh.A. Real-Time Determination of Object Size in Video Images // Journal of "Innovations in Social Sciences".Volume 03, Issue 02, 2023. ISSN: 2181-2594. -P. 206-209
7. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A., Xaqberdiyev S.N. Zarafshon daryo tarmog'ini geometirik modellashtirish // "Al-Farg'oniy avlodlari" elektron ilmiy jurnali. ISSN-2181-4252. Tom 1, Son 1, 2024. -B. 39-43. (05.00.00). OAK Reystirining 2023 yil 30 sentabrdagi 343-son qarori: <https://oak.uz/pages/4802>.
8. Saidkulov E.A., Mirsaidov B.M., Xaqberdiyev S.N. Zarafshon daryosining fraktal o'lchovini kublar usulida aniqlash // SamDU "Ilmiy axborotnomasi" ilmiy jurnali. 1-son (143/1), 2024. ISSN 2181-1296. -B.88-96. (05.00.00, №8).
9. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A., Abatov Sh.A. Yer yuzasining chegara uzunligini fraktal o'lchovlar usuli yordamida aniqlash // "Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari" xalqaro jurnali. № 1(7), 2024. ISSN 2181-3086. –B.107-111. (05.00.00). OAK Reystirining 2023 yil 29 avgustdagi 342/5-son qarori: <https://oak.uz/pages/4802>.
10. Saidkulov E.A. Zarafshon daryosining farktal xususiyatli tarmoqlarini qurish // "Al-Farg'oniy avlodlari" elektron ilmiy jurnali.ISSN -2181-4252. Tom 1, Son 2, 2024. -B.35-40. (05.00.00). OAK Reystirining 2023 yil 30 sentabrdagi 343-son qarori: <https://oak.uz/pages/4802>.

II bo‘lim(II часть; part II)

11. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A. Calculating boundaries in methods of determination of fractal dimension // 2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) IEEE Turkey section, 2021. – P. 688-692. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9604586>

12. Saidkulov E.A. Visualization of river networks with complex fractal structures “International Conference on Developments in Education” // Hosted from Amsterdam, Netherlands-2024. October-22. -P. 31-35.

13. Saidkulov E.A., Qobilov A.T. Fraktal o‘lchovni aniqlash usullarida chegaralarni hisoblash // “Zamonaviy axborot texnologiyalari va ta’lim tizimini rivojlantirish istiqbollari” xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. Denov-2023. –B. 43-46.

14. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A. Фрактальный подход как методологическое основание взаимосвязи естествознания и медицины // “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va AT-ta’lim tatbiqi muammolari” Respublika ilmiy-amaliy konferentsiyasi ma’ruzalar to‘plami. I tom. Samarqand-2021. –С. 79-81.

15. Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G‘.R., Saidkulov E.A. Me’morchilikda kompozitsion fraktal tahlil usulini qo‘llash // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении».Ташкент-2021. –В. 84-91.

16. Saidkulov E.A., Mirsaidov B.M. Uch o‘lchovli fazoda fraktal geometriya usullari yordamida relyefning raqamli modellarini yaratish // “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va AT-ta’lim tatbiqi muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. 1-tom. Samarqand-2022. -B. 158-160.

17. Berdiyev G‘.R., Saidkulov E.A. Ўзбекистон Республикасининг чегараси узунлиги ҳамда фрактал ўлчовини масштабланган харита ёрдамида Ричардсон эффекти усулида аниқлаш // «Ахборот kommunikatsiya texnologiyalari va dasturiy ta’minot yaratishda innovatsion g‘oyalar» Respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari to‘plami. I tom. Samarqand-2021. -B. 9-12.

18. Berdiyev G‘.R., Saidkulov E.A. Murakkab fraktal shakillarini kompyuter modellashtirishning ahamiyati // “Yangi O‘zbekistonda islohotlarni amalga oshirishda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish” xalqaro ilmiy-amaliy konfrensiya. Andijon-2020. –B. 597-599.

19. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A. Relyef yuzlarini o‘z ichiga olgan fraktal tuzulmalarning qo‘llanilish sohalari // “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va AT-ta’lim tatbiqi muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. Samarqand-2023. –B. 79-81.

20. Anarova Sh.A., Ibroximova Z.E., Saidkulov E.A. Yer yuzasining ma’lum qismlari chegaralarining fraktal o‘lchovini hisoblash //

“Yangi O‘zbekistonda islohotlarni amalga oshirishda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya, ilmiy maqolalar to‘plami. Andijon- 2021. –B. 407-413.

21. Anarova Sh. A., Saidkulov E.A. Tabiatshunoslik va tabiatda fraktalning o‘zaro bog‘liqlik metodologik asoslari // “Иқтисодиёт тармоқларининг инновацион ривожланишида ахборот коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. 1-қисм. Тошкент-2021. –Б. 22-23.

22. Anarova Sh.A., Ibroximova Z.E., Saidkulov E.A Determination of the border length of certain parts of relief surfaces using fractal measurement // Abstracts of the 8th international conference “Actual problems of applied mathematics and information technologies” - al-Khwarizmi-2023. Samarkand-2023. –P. 30.

23. Saidkulov E.A. Zarafshon daryo tarmog‘ining erroziyasi mavjud hududlarini kublar usuli yordamida aniqlash // “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va AT-ta‘lim tatbiqi muammolari” respublika ilmiy amaliy anjumani ma‘ruzalar to‘plami. Samarqand-2024.-B. 81-83.

24. Anarova Sh.A., Ibroximova Z.E., Saidkulov E.A. Relyefli sirtlarni fraktal tuzilmalar orqali ifodalash dasturiy vositasini yaratish // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturni rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi №DGU 24259. 19.04.2023 y.

25. Anarova Sh.A., Ibroximova Z.E., Berdiyev G‘.R., Ismoilov Sh.M., Saidkulov E.A., Samidov M. To‘qimachilik dizayni uchun daraxtsimon fraktal tuzilishlarini geometrik modellashtirishni avtomatlashtirish // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturni rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi №DGU 12238. 24.08.2021y.

26. Anarova Sh.A., Saidkulov E.A., Abatov Sh.A. Daryo tarmog‘ining fraktal model va algoritmini ishlab chiqish // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturni rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi №DGU 33243. 08.02.2024 y.

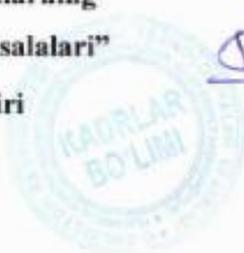
27. Saidkulov E.A., Abatov Sh.A. Yer silkinishini aniqlovchi portativ qurilma uchun dasturiy ta‘minot // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturni rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi №DGU 20597. 18.12.2022 y.

Avtoreferat « Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari » xalqaro ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tqazildi va o'zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi

MA'LUMOTNOMA

Saidkulov Elyor Abdullayevichning 05.01.01 – “Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va videotexnologiyalar” ixtisosligi bo'yicha texnika fanlari falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun tayyorlangan “Fraktal tuzilishli yer sirtini geometrik modellashtirish va vizuallashtirish” mavzusidagi dissertatsiyasi avtoreferati “Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari” xalqaro ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazildi va o'zbek, rus, ingliz tillarida matnlarini mosligi tekshirildi.

**“Raqamli texnologiyalarning
nazariy va amaliy masalalari”
jurnali bosh muharriri**



R. Sh. Indiaminov

