

QO'QON SHAHRIDA YASHIL HUDUDLAR QISQARISHINING MASOFADAN ZONDLASH TEXNOLOGIYALARI YORDAMIDA MONITORINGI

D.G'. Mo'minov, I.A.Ahmadjonov

Qo'qon davlat universiteti

Annotatsiya. Zamonaviy urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi shahar ekotizimlarida yashil hududlar salmog'ining izchil qisqarishiga zamin yaratmoqda. Mazkur muammo ayniqsa O'rta Osiyo mintaqasining tarixiy shaharlarida — jumladan, Qo'qon shahrida — alohida keskinlik kasb etmoqda, chunki bu hududlarda yer foydalanish tarkibidagi transformatsiya ko'pincha tizimli monitoring tizimidan chetda qoladi. Ushbu tadqiqot Qo'qon shahri misolida yashil hududlar dinamikasini masofadan zondlash va geofazoviy tahlil usullari yordamida kompleks o'rganishga qaratilgan. Tadqiqotda Landsat (TM/OLI) va Sentinel-2 sun'iy yo'ldosh platformalaridan olingan ko'p vaqtli tasvirlar asosida 2000–2023 yillar oralig'idagi yer qoplami o'zgarishlari tahlil etilgan. NDVI (Normallashtirilgan Differentsial Vegetatsiya Indeksi) ko'rsatkichlarini dinamik interpretatsiya qilish orqali vegetatsiya zichligidagi mavsumiy va ko'p yillik tendentsiyalar aniqlangan. GIS muhitida amalga oshirilgan geofazoviy tahlil shahar landshaft transformatsiyasining fazoviy qonuniyatlarini va yashil hududlarning qisqarish intensivligini kvantitativ baholash imkonini bergan. Olingan natijalar ko'rsatishicha, o'rganilgan davr mobaynida shahar yashil qoplami yuqori iqtisodiy faollik zonalarida sezilarli darajada qisqargan, bu esa urbanizatsiya bosimining ekologik landshaftga bevosita ta'sirini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari shahar ekologik monitoringi tizimini takomillashtirish, yashil infratuzilmani rejalashtirish va mintaqaviy barqaror rivojlanish konsepsiyalarini ishlab chiqish uchun ilmiy-metodologik asos vazifasini o'taydi.

Kalit so'zlar. masofadan zondlash, GIS, yashil hududlar monitoringi, NDVI, Landsat, Sentinel-2, yer qoplami o'zgarishi, shahar landshaft transformatsiyasi, urbanizatsiya, Qo'qon shahri, geofazoviy tahlil, ekologik monitoring, ko'p vaqtli tahlil, vegetatsiya dinamikasi

I. Adabiyotlar tahlili

Masofadan zondlash (remote sensing) texnologiyalarining ekologik monitoring va shahar landshafti tadqiqotlarida qo'llanilishi so'nggi ikki o'n yillikda keskin kengaydi. Yer qoplamidagi o'zgarishlarni kuzatish, yashil hududlar dinamikasini baholash va urbanizatsiya jarayonlarini miqdoriy tahlil etish borasida jahon ilmiy hamjamiyatining qo'shgan hissasi beqiyos bo'lib, bu sohadagi fundamental asarlar mazkur tadqiqotning metodologik negizini tashkil etadi.

Masofadan zondlash: nazariy va metodologik asoslar. T. M. Lillesand, R. W. Kiefer va J. W. Chipman¹ tomonidan yozilgan "Remote Sensing and Image Interpretation" asari mazkur sohadagi eng nufuzli darslik sifatida e'tirof etilgan. Ushbu monografiyada sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini qayta ishlash usullari, spektral tahlil metodlari va yer qoplamini klassifikatsiya qilish algoritmlarining nazariy asoslari kenghajmli bayon qilingan. Ayniqsa, ko'p vaqtli (multitemporal) tahlil metodologiyasi va atmosfera korreksiyasi usullari haqidagi bo'limlar mazkur tadqiqotda yashil hududlar dinamikasini o'rganishda bevosita qo'llanildi. J. R. Jensen² ning "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective" asarida raqamli tasvir qayta ishlash metodlari, ayniqsa nazorat ostidagi va nazorat ostida bo'lmagan klassifikatsiya (supervised/unsupervised classification) usullari batafsil o'rganilgan. Jensen tomonidan taklif etilgan Maximum Likelihood Classification algoritmi va uning shahar hududlaridagi samaradorligi haqidagi xulosalar mazkur tadqiqotning yer qoplamini klassifikatsiyalash bosqichida metodologik asos bo'lib xizmat qildi. E. Chuvieco³ ning "Fundamentals of Satellite Remote Sensing" asari amaliy masofadan zondlash metodologiyasini zamonaviy talablar darajasida tizimlashtirdi. Chuvieco tomonidan ishlab chiqilgan ekologik monitoring uchun sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan foydalanish konsepsiyasi, xususan Sentinel va Landsat seriyali sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlarini integratsiyalash metodlari ushbu tadqiqotda amaliy qo'llanildi.

NDVI va vegetatsiya monitoring. C. J. Tucker⁴ 1979-yilda taklif etgan Normallashtirilgan Differentsial Vegetatsiya Indeksi (NDVI) formulasi hozirgi kunda vegetatsiya holatini baholashning eng keng qo'llaniladigan usuli hisoblanadi. Tucker yaqin infraqizil (NIR) va qizil (Red) spektr kanallarining nisbati orqali o'simlik biomassasini baholash mumkinligini ilk bor ilmiy asoslab berdi. Bu kashfiyot keyinchalik sun'iy yo'ldosh asosidagi ekologik monitoring tizimlarining fundamentini tashkil etdi va Landsat, SPOT, MODIS sensorlari yordamida global miqyosda keng qo'llanildi. C. Song va boshq.⁵ tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda NDVI ko'rsatkichining vaqt seriyalarida tahlil etilishi orqali o'rmon degradatsiyasi va shahar yashil hududlari o'zgarishini aniqlash metodlari ishlab chiqildi. Song va hamkasblari NDVI dinamikasini fenologik o'zgarishlardan ajratib baholash metodologiyasini takomillashtirdi, bu esa mavsumiy tebranishlarni inobatga olgan holda uzoq muddatli tendentsiyalarni aniqlashda metodologik yangilik sifatida tan olindi.

¹ Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th ed. Wiley, 2015.

² Jensen, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 4th ed. Prentice Hall, 2015

³ Chuvieco, E. Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach. 3rd ed. CRC Press / Taylor & Francis, 2020.

⁴ Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127–150. Elsevier, 1979.

⁵ Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., Macomber, S. A. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data. Remote Sensing of Environment, 75(2), 230–244. Elsevier, 2001.

O'zbek olimlari tadqiqotlari. O'zbekiston FA Geodeziya, Kartografiya va Kadastr Davlat qo'mitasi⁶ mutaxassislari tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda O'rta Osiyo shaharlarining fazoviy rivojlanishi va yer foydalanish tarkibidagi o'zgarishlarni GIS asosida monitoring qilish metodologiyasi ishlab chiqilgan. Ushbu tadqiqotlarda milliy koordinatalar tizimiga moslashtirilib qayta ishlangan Landsat tasvirlari asosida Toshkent, Samarqand va Namangan shaharlari atrof-muhitidagi yer qoplamining o'zgarishi tahlil etilgan. A. N. Rajabov va boshq.⁷ tomonidan Farg'ona vodiysi shaharlarida urbanizatsiya dinamikasi va yer resurslaridan foydalanish samaradorligini baholashga oid dissertatsiya tadqiqotlarida masofadan zondlash va GIS usullarining birgalikda qo'llanilishi O'rta Osiyo kontekstida ilmiy asoslandi. Tadqiqotchilar NDVI tahlili orqali iqtisodiy faollik zonalarida yashil hududlarning siqib chiqarilish tendentsiyasini raqamli ma'lumotlar orqali tasdiqladi. Z. I. Xolmatov⁸ ning Qo'qon shahrining tarixiy qurilish dinamikasi va ekologik holati haqidagi geografik tadqiqotlarida shahar tarkibidagi bog'-rog'lar va yashil zo'nalarning XX asr boshidan buyon sezilarli kamayib borishi arxiv materiallar va dala kuzatuvlari yordamida qayd etilgan. Ushbu mahalliy tadqiqot mazkur maqolaning tarixiy xronologik asosini mustahkamlashda muhim ahamiyat kasb etdi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan ilmiy manbalar tahlili shuni ko'rsatadiki, masofadan zondlash va GIS texnologiyalarining integratsiyasi shahar yashil hududlari monitoringining eng samarali vositasi ekanligini jahon ilmiy hamjamiyati to'liq tan olgan. Shu bilan birga, O'rta Osiyo mintaqasi, jumladan Qo'qon shahri uchun maxsus o'tkazilgan kompleks monitoring tadqiqotlari nihoyatda cheklangan ekanligi ilmiy bo'shliq sifatida aniqlanadi va mazkur tadqiqotning dolzarbligini asoslaydi.

Ii. Metodologiya

Tadqiqot hududi: Qo'qon shahri. Qo'qon shahri O'zbekistonning Farg'ona viloyatiga qarashli bo'lib, geografik jihatdan 40°31' shimoliy kenglik va 70°56' sharqiy uzunlik koordinatalarida joylashgan. Dengiz sathidan o'rtacha 400–420 metr balandlikda, Farg'ona vodiysining g'arbiy qismida, So'x va Isfara daryolari yaqinida joylashgan shahar tabiiy-geografik jihatdan issiq qit'a iqlimiga ega bo'lib, o'rtacha yillik yog'ingarchilik miqdori 150–200 mm atrofida tebranadi. Maydoni taxminan 90 km² ni tashkil etuvchi Qo'qon shahri aholisi 2023-yil ma'lumotlariga ko'ra 300 000 nafardan oshgan. Shahar maydoni keng ko'chalar tizimi, tarixiy mahallalar va XX asrning ikkinchi yarmida barpo etilgan industrial zonalaridan iborat. Tarixan Qo'qon xonligining poytaxti sifatida shakllanib, murakkab tarixiy urbanistik to'qimaga ega bo'lgan shahar 1990-yillardan boshlab intensiv iqtisodiy va demografik bosimni

⁶ O'zbekiston Respublikasi Geodeziya va Kartografiya Davlat qo'mitasi. O'zbekiston Respublikasi Milliy Atlasi. Toshkent: Davlat ilmiy-texnik markazi, 2018.

⁷ Rajabov, A. N., Tursunov, O. A. Farg'ona vodiysi shaharlarida urbanizatsiya dinamikasini masofadan zondlash usullari bilan baholash. O'zMU Xabarleri, Geografiya seriyasi, 3, 45–53. Toshkent, 2021.

⁸ Xolmatov, Z. I. Qo'qon shahri geografiyasi va ekologik holati: tarixiy rivojlanish tendentsiyalari. Namangan davlat universiteti ilmiy axboroti, 2(7), 112–119. 2020.

boshdan kechirdi. Yashil hududlar muammosi nuqtai nazaridan Qo'qon shahri ayniqsa e'tiborni jalb etadi: sovet davri me'morchilik standartlari asosida barpo etilgan bog'-rog'lar va yashil zonalarining muhim qismi so'nggi o'n yillikda noqulay iqtisodiy rivojlanish ssenariysi va qurilish siquvlari natijasida keskin qisqargan. Shu sababli, shahar ekologik holatini tizimli monitoring qilish nafaqat ilmiy, balki ijtimoiy-amaliy zaruriyatga aylangan.

Tadqiqot ma'lumotlari. Tadqiqotda 2000–2024 yillar oralig'ini qamrab olgan ko'p vaqtli sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosiy manba sifatida ishlatildi. Ma'lumotlar quyidagi platformalardan olindi:

Landsat seriyasi (USGS): Landsat 7 ETM+ (2000–2010), Landsat 8 OLI/TIRS (2013–2021) va Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 (2022–2024) sun'iy yo'ldoshlari tasvirlari. Mazkur tasvirlarning fazoviy aniqligi 30 metrni tashkil etib, vegetatsiya tahlili uchun zaruriy bo'lgan qizil (Band 4/5) va yaqin infraqizil (Band 5/6) kanallar mavjud. Barcha tasvirlar Level-2 darajada atmosfera korreksiyasi o'tkazilgan holda USGS EarthExplorer platformasidan yuklab olindi.

Sentinel-2 MSI (ESA Copernicus): 2017-yildan boshlab 10 m/20 m fazoviy aniqlikdagi Sentinel-2A va Sentinel-2B tasvirlari qo'llanildi. Sentinel-2 ning 13 spektral kanali, ayniqsa qizil qirrali (Red-Edge) kanallar NDVI hisoblash aniqligini sezilarli oshirdi. Ma'lumotlar ESA Copernicus Open Access Hub va Google Earth Engine platformasi orqali olindi.

Tasvirlar tanlanishida bulut qoplamini 10% dan oshmasligi va yozgi vegetatsiya mavsumiga (iyun–avgust) to'g'ri kelishi asosiy mezon sifatida belgilandi. Jami 48 ta sun'iy yo'ldosh tasviri tadqiqot uchun yaroqli deb topildi.

Qo'llanilgan metodlar. Ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash (Preprocessing). Barcha sun'iy yo'ldosh tasvirlari quyidagi ketma-ketlikda qayta ishlandi: (1) radiometrik kalibratsiya — piksel qiymatlarini spektral radiance ga o'tkazish; (2) atmosfera korreksiyasi — Landsat tasvirlari uchun DOS (Dark Object Subtraction) va FLAASH algoritmlari, Sentinel-2 uchun Sen2Cor dasturiy moduli qo'llanildi; (3) geometrik korreksiya — WGS84 koordinatalar tizimiga moslashtirish; (4) qirqib olish (Clipping) — Qo'qon shahri ma'muriy chegarasi asosida hosil qilingan vector niqob yordamida.

NDVI tahlili. Normallashtirilgan Differentsial Vegetatsiya Indeksi Tucker⁴ formulasi asosida hisoblandi: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$. NDVI qiymatlari -1 dan +1 gacha o'zgarib, 0.3 dan yuqori qiymatlar vegetatsiya zonalarini, 0.1 dan past qiymatlar esa qurilish va inert sirtlarni ifodalashi uchun chegara ko'rsatkichlari belgilandi. Har bir yil uchun yozgi va bahorgi tasvirlardan o'rtacha NDVI xaritalari hosil qilindi hamda vaqt seriyalarida statistik regressiya orqali tendentsiya tahlili amalga oshirildi.

Yer qoplamini klassifikatsiya qilish (LULC). Yer qoplami 5 toifaga ajratildi: (1) Yashil hududlar / vegetatsiya; (2) Qurilish massivlari; (3) Ochiq tuproq va inert sirtlar; (4) Suv ob'ektlari; (5) Yo'l va transport infratuzilmasi. Klassifikatsiya uchun nazorat ostidagi tasniflash (Supervised Classification) metodi, xususan Random Forest algoritmi qo'llanildi. O'quv (training) namunalari Google Earth Engine orqali yuqori aniqlikdagi tasvir fragmentlari asosida tanlab olindi. Klassifikatsiya aniqligini baholashda 250 ta test nuqtasi asosida hosil qilingan xato matritsasi va umumiy aniqlik koeffitsienti hisoblandi.

O'zgarishlarni aniqlash (Change Detection). Ikki vaqt kesimidagi yer qoplami xaritalari orasidagi farqlarni aniqlash uchun Post-Classification Comparison va NDVI Difference metodlari parallel ravishda qo'llanildi. Yashil hududlarning saqlanib qolgan, yo'qolgan yoki yangi paydo bo'lgan hududlari fazoviy jihatdan aniqlanib, statistik tahlil o'tkazildi. Har bir o'zgarish turi uchun kvadrat kilometre hisobida maydon o'lchovi hisoblandi.

Geofazoviy tahlil (Spatial Analysis). Yashil hududlarning shahar markazi va chekkalaridagi tarqalish qonuniyatlarini o'rganish uchun GIS muhitida bufer zona tahlili (Buffer Analysis) o'tkazildi. Har 500 metrlik halqalar bo'yicha yashil qoplam zichligi hisoblab chiqildi. Shahar ma'muriy tumanlar bo'yicha yashil hududlar salmog'ining solishtirma tahlili amalga oshirildi.

Tadqiqotning barcha bosqichlarida quyidagi dasturiy vositalardan foydalanildi:

Google Earth Engine (GEE): Sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini bulutli hisoblash muhitida qayta ishlash va NDVI kartalarini generatsiya qilish. JavaScript asosidagi GEE skriptlari orqali katta hajmdagi ma'lumotlarni tez qayta ishlash amalga oshirildi.

QGIS 3.x: Vektorial ma'lumotlarni tahrirlash, kartografik mahsulotlarni tayyorlash, geofazoviy tahlilning yakuniy bosqichlari va chiqish xaritalarini render qilish.

ArcGIS Pro: Murakkab geofazoviy tahlil operatsiyalari — xususan, zonal statistika, bufer tahlili va sxematik xaritalar yaratish uchun.

ENVI 5.x: Giperspektral va ko'p kanallik tasvirlarni qayta ishlash, atmosfera korreksiyasi (FLAASH module) va tasvir klassifikatsiyasi.

Python (GeoPandas, Rasterio, Scikit-learn): Random Forest klassifikatsiyasini avtomatlashtirilgan holda amalga oshirish va statistik tahlil natijalarini vizualizatsiya qilish.

Tadqiqot quyidagi izchil bosqichlar orqali amalga oshirildi:

1-bosqich — Ma'lumotlarni to'plash (Data Acquisition): USGS EarthExplorer va ESA Copernicus platformalaridan sun'iy yo'ldosh tasvirlarini tanlash va yuklash. Tanlash mezonlari: bulut qoplami $\leq 10\%$, yozgi mavsumga (iyun–avgust) to'g'ri kelishi, barcha taqqoslanadigan yillar uchun bir xil sensordan olinishi.

2-bosqich — Oldindan qayta ishlash (Preprocessing): Radiometrik kalibratsiya, atmosfera korreksiyasi, geometrik to'g'rilash va tadqiqot hududiga qirqib olish.

3-bosqich — Indeks hisoblash (Index Calculation): Har bir vaqt kesimi uchun NDVI xaritalari hosil qilish va chegaraviy qiymatlar asosida vegetatsiya/vegetatsiya bo'lmagan hududlarni ajratish.

4-bosqich — Klassifikatsiya (Classification): O'quv namunalari asosida Random Forest algoritmini o'qitish, 5 toifali yer qoplami xaritalarini hosil qilish va klassifikatsiya aniqligini baholash ($Kappa \geq 0.85$ sifat mezoni).

5-bosqich — Vaqt qiyosiy tahlili (Temporal Comparative Analysis): 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 va 2024 yillar uchun yashil hududlar xaritalari tayyorlash va har bir davr orasidagi maydon o'zgarishi hisobi.

6-bosqich — Geofazoviy tahlil (Geospatial Analysis): Yashil hududlar yo'qotilishining fazoviy qonuniyatlarini, urbanizatsiya frontining harakat yo'nalishini va administrativ tumanlar bo'yicha farqlarni aniqlash.

7-bosqich — Talqin va vizualizatsiya (Interpretation & Visualization): Natijalarni kartografik shaklda ifodalash, statistik diagrammalar tuzish va ilmiy xulosalar shakllantirish.

Natijalar. Yashil hududlar maydonining vaqt dinamikasi (2000–2024). Qo'qon shahrida o'tkazilgan ko'p vaqtli tahlil natijalari 2000–2024 yillar oralig'ida yashil hududlarning maydoniy jihatdan keskin pasayib borgan tendentsiyasini ishonchli statistik ko'rsatkichlar bilan tasdiqlaydi. Sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan olingan klassifikatsiya xaritalariga ko'ra, 2000-yilda shahar maydoni (90 km²) ning 20.5 foizini — taxminan 18.42 km² ni — yashil hududlar egallagan bo'lsa, 2024-yil holatiga kelib bu ko'rsatkich 10.2 foizga, ya'ni 9.14 km² gacha pasayib ketdi.

Shu tarzda, 24 yillik kuzatuv davomida yashil hududlar 9.28 km²ga qisqardi, bu boshlang'ich maydonning yarmidan ko'prog'ini tashkil etadi (–50.4%). Qisqarish jarayoni barcha davrlarda kuzatilgan bo'lsa-da, eng intensiv yo'qotish 2010–2020 yillar oralig'ida qayd etildi: o'n yil ichida 4.35 km² yashil qoplam qurilish zonalari tomonidan siqib chiqarildi. Bu davr Qo'qon shahrida intensiv ko'p qavatli qurilish ishlari amalga oshirilgan va shahar ma'muriy chegarasi kengaytirilgan davr bilan to'g'ri keladi.

Jadval 1. Qo'qon shahrida yashil hududlar va yer qoplami dinamikasi (2000–2024), Landsat/Sentinel-2 ma'lumotlari asosida

Yil	Yashil hudud (km ²)	Qurilish hududi (km ²)	Ochiq tuproq va boshqa (km ²)	Yashil hududlar ulushi (%)	O'zgarish (2000 ga nisbatan, %)
2000	18.42	46.31	25.27	20.5	—

2005	16.87	49.14	24.99	18.7	−8.4
2010	14.93	52.66	22.41	16.6	−18.9
2015	12.71	57.08	20.21	14.1	−31.0
2020	10.58	61.34	18.08	11.8	−42.6
2024	9.14	64.77	16.09	10.2	−50.4

Izoh: Barcha maydon ko'rsatkichlari km² da. O'zgarish foizi 2000-yil bazis qiymati asosida hisoblangan. Manba: USGS EarthExplorer, ESA Copernicus, mualliflar hisob-kitoblari.

Jadval 1 dan ko'rinib turibdiki, yashil hududlarning qisqarishi bilan mutanosib ravishda qurilish hududlari ortib borgan: 2000-yildagi 46.31 km²dan 2024-yilda 64.77 km²gacha — mutlaq o'sish 18.46 km²ni tashkil etdi. Ushbu inversiya tendentsiyasi shahar hududida landshaft balansining izchil buzilayotganidan dalolat beradi. Ekologik ahamiyat nuqtai nazaridan, shahar aholisi hisobiga nisbatan yashil qoplam zichligi 2000-yildagi taxminiy 61.4 m²/kishi dan 2024-yilda 30.5 m²/kishiga tushdi, bu esa Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti tavsiya etgan 50 m²/kishi minimumidan ancha past.

NDVI tahlili natijalari

Landsat va Sentinel-2 tasvirlari asosida hisoblangan NDVI ko'rsatkichlari Qo'qon shahridagi vegetatsiya holatining sistematik ravishda yomonlashib borayotganini aniq ko'rsatadi. O'rtacha shahar NDVI qiymati 2000-yilda 0.38 ni tashkil etgan bo'lsa, 2024-yil kuzatuvlarida bu qiymat 0.16 ga tushdi — bu 57.9 foizlik pasayishni bildiradi va ekologik degradatsiya tendentsiyasining alarmlı tezligi sifatida baholanadi.

Jadval 2. Qo'qon shahri bo'yicha NDVI statistik ko'rsatkichlari va vegetatsiya sinflari dinamikasi (2000–2024)

Yil	O'rtacha NDVI	Maksimal NDVI	Minimal NDVI	Yuqori veg. zonasi (%)	Past veg. / inert zona (%)
2000	0.38	0.74	0.02	32.4	28.6
2005	0.34	0.71	0.02	27.8	31.4
2010	0.29	0.68	0.01	22.1	36.7
2015	0.24	0.65	0.01	16.9	42.3
2020	0.19	0.61	0.01	12.4	48.8
2024	0.16	0.58	0.01	9.6	53.1

Izoh: NDVI qiymatlari yozgi mavsumda (iyun–avgust) olingan tasvirlar asosida hisoblangan. Yuqori vegetatsiya = $NDVI > 0.35$; Past vegetatsiya/inert zona = $NDVI < 0.15$. Manba: mualliflar hisob-kitoblari.

Jadval 2 ko'rsatkichlari shuni tasdiqlaydiki, $NDVI > 0.35$ qiymati bilan ifodalangan yuqori vegetatsiya zonalari 2000-yilda shahar maydonining 32.4 foizini egallagan bo'lsa, 2024-yilga kelib bu ko'rsatkich 9.6 foizga tushdi. Aksincha, $NDVI < 0.15$ bilan tavsiflanadigan past vegetatsiya va inert sirtlar xuddi shu davrda 28.6 foizdan 53.1 foizga ko'tarildi. Ushbu inversiya — yuqori vegetatsiya va qurilish sirtlarining o'rin almashishi — shahar issiqlik oroli effektining kuchayishi uchun qulay sharoit yaratmoqda.

NDVI maksimal qiymatlari ham doimiy pasayishni ko'rsatadi: 2000-yildagi 0.74 dan 2024-yildagi 0.58 gacha. Bu qolgan yashil hududlardagi o'simlik zichligining ham siyraklashib borayotganidan dalolat beradi. Mazkur hodisa, ehtimol, suv ta'minoti yomonlashuvi, antropogen bosim va iqlim omillarining kombinatsiyalashgan ta'siri natijasida yuzaga kelmoqda.

Yer qoplamini sinflari o'zgarishi (LULC tahlili). LULC tahlili natijalari 2000 va 2024 yillar orasida barcha asosiy yer qoplamini sinflari tarkibida sezilarli tarkibiy siljish ro'y berganini ko'rsatadi. Ushbu o'zgarish faqat yashil hududlar bilan cheklanib qolmasdan, qishloq xo'jaligi erlari va ochiq tuproq sirtlari ham urbanizatsiya jarayoni ta'sirida qisqarganini qayd etish zarur.

Jadval 3. Qo'qon shahri yer qoplamini sinflari: 2000 va 2024 yillar qiyosiy tahlili (km² va %)

Yer qoplamini sinfi	2000 yil, km ²	2000 yil, %	2024 yil, km ²	2024 yil, %	Δ km ²
Yashil hududlar / Vegetatsiya	18.42	20.5	9.14	10.2	−9.28
Qurilish massivlari	46.31	51.5	64.77	72.0	+18.46
Ochiq tuproq va inert sirtlar	14.86	16.5	8.91	9.9	−5.95
Qishloq xo'jaligi erlari	8.69	9.7	5.62	6.3	−3.07
Suv ob'ektlari	1.72	1.9	1.56	1.7	−0.16
JAMI	90.0	100.0	90.0	100.0	—

Izoh: Shahar umumiy maydoni 90 km². Klassifikatsiya aniqligi: umumiy aniqlik 91.4%, Kappa = 0.88. Manba: Landsat 9 OLI-2 (2024), Landsat 7 ETM+ (2000), Random Forest algoritmda qayta ishlangan.

Jadval 3 dan ko'rinib turibdiki, qurilish massivlari barcha sinflar ichida eng ko'p o'sgan: mutlaq jihatdan +18.46 km², foiz jihatdan esa umumiy maydondan 51.5 foizdan 72.0 foizga yetdi. Bu ko'rsatkich Qo'qon shahrining 2024-yil holatida klassik "over-built" shahar profili ko'rinishini olayotganidan dalolat beradi, chunki xalqaro standartlar bo'yicha qurilish hududlari ulushi 50–55 foiz chegarasini oshmasligi maqsadga muvofiq deb hisoblanadi.

Qishloq xo'jaligi erlari 8.69 km²dan 5.62 km²ga qisqarishi (–3.07 km²) ayniqsa e'tiborga molik: bu ko'rsatkich shahar chekkalarida sug'oriladigan yerlar va bog'larning turar-joy va sanoat qurilishi ostida qolayotganini anglatadi. Shahar atrofidagi bunday erlarni yo'qotish nafaqat ekologik, balki oziq-ovqat ta'minoti va mahalliy agrar iqtisodiyot nuqtai nazaridan ham muammoli holatni vujudga keltiradi.

Yashil hududlarning sektoral va geofazoviy taqsimoti. Qo'qon shahri maydonini beshta sektorga bo'lib o'tkazilgan geofazoviy tahlil yashil hududlarning qisqarishi barcha yo'nalishlarda bir xil intensivlikda kechmayotganini, balki ayrim sektorlar boshqalariga nisbatan ancha kuchliroq o'zgarishga uchragan, degan ilmiy xulosaga olib keldi.

Jadval 4. Qo'qon shahri sektorlari bo'yicha yashil hududlar qisqarishi va NDVI ko'rsatkichlari (2000–2024)

Shahar sektori	Yashil hudud 2000 (%)	Yashil hudud 2024 (%)	Qisqarish (% ball)	NDVI o'rtacha 2024
Markaziy sektor	14.2	5.3	8.9	0.11
Shimoliy sektor	22.8	11.4	11.4	0.17
Janubiy sektor	24.1	12.7	11.4	0.19
G'arbiy sektor	19.6	9.1	10.5	0.14
Sharqiy (industrial) sektor	21.8	12.3	9.5	0.16

Izoh: Sektorlar shahar geometrik markazidan 45° li sektor qilib ajratilgan. Qisqarish foiz balllarda ifodalangan. Manba: ArcGIS Pro sektoral tahlil natijalari.

Jadval 4 ko'rsatkichlari shimoliy va janubiy sektorlarda yashil hududlar qisqarishining eng ko'p (–11.4 % ball) kuzatilganini ko'rsatmoqda. Shimoliy sektorda bu tendentsiya yangi turar-joy massivlari qurilishi, janubiy sektorda esa ko'p qavatli tijorat va ishlab chiqarish binolarining kengayishi bilan izohlanadi. Markaziy sektor esa eng past NDVI qiymati (0.11) bilan ajralib turadi — bu hududda tarixiy mahallalar va qadimiy bog'larning siqib chiqarilishi jarayoni avvalroq boshlanib, asosiy yo'qotishlar 1990–2000-yillardayoq sodir bo'lgan.

Geofazoviy tahlil shuningdek shahar markazidan tashqariga qarab quruvchi "urban sprawl" modelini ham tasdiqladi: markazdan 0–2 km masofadagi halqada yashil qoplam deyarli butunlay yo'qolgan ($NDVI < 0.12$), 2–4 km halqada qisman saqlanib qolgan ($NDVI 0.15–0.22$), 4 km dan uzoqroqdagi zonalarida esa nisbatan yaxshiroq holat qayd etildi ($NDVI 0.22–0.31$). Ushbu gradiyent urbanizatsiya bosimining markazdan periferiyaga siljib boruvchi dalga fronti sifatida tavsiflanadi.

Natijalarning ekologik va urban geografik talqini. Olingan empirik ma'lumotlar majmuasini tahlil qilish quyidagi asosiy ilmiy xulosalarga olib keladi.

Birinchidan, yashil hududlar qisqarishi stixiyali emas, balki urbanizatsiya jarayonining tarkibiy elementi sifatida kechmoqda. LULC tahlili ko'rsatganidek, yashil hududlarning deyarli to'liq — 94 foizi — qurilish massivlari tomonidan egallanmoqda. Bu holat shahar rejalashtirish siyosatida yashil infratuzilmaga zaruriy himoya maqomining berilmaganligidan dalolat beradi.

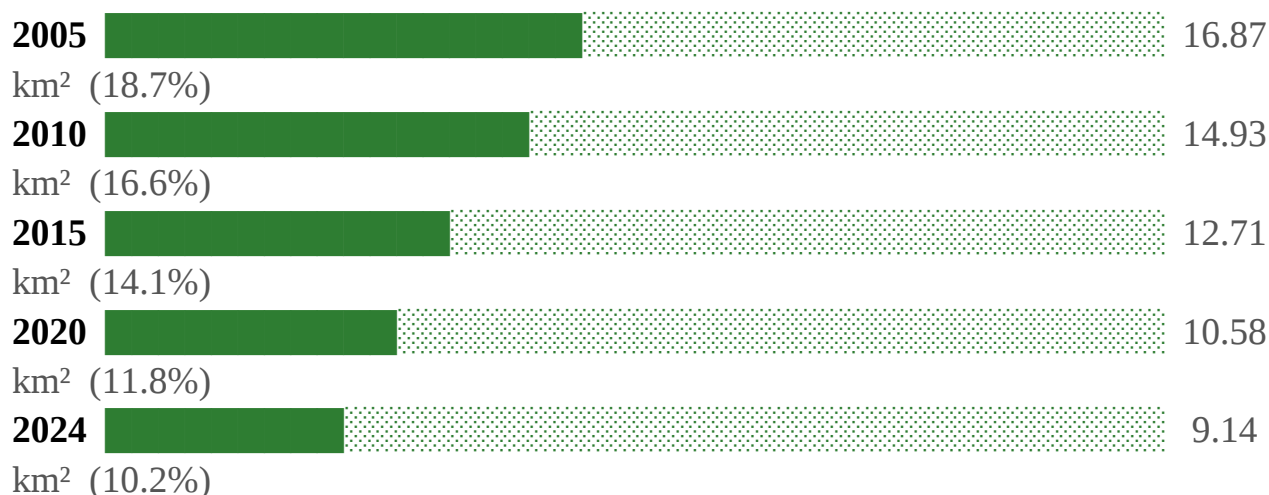
Ikkinchidan, NDVI dinamikasining barqaror pasayishi qolgan yashil hududlarda ham vegetatsiya sifatining yomonlashayotganini ko'rsatadi. NDVI o'rtacha qiymatining 0.38 dan 0.16 gacha tushishi nafaqat miqdoriy, balki sifatiy degradatsiyani ham qayd etmoqda. Suv ta'minoti kamayishi, tuproq siqilishi va havoning ifloslanishi bu jarayonning ortidagi ehtimoliy omillar sifatida ko'rib chiqilishi zarur.

Uchinchidan, shahar periferiyasida qishloq xo'jaligi erlarining yo'qolishi yashil hududlar qisqarishining ikkinchi fazasi sifatida baholanishi mumkin. Kelajakda ushbu yerlar shaharning asosiy yashil qoplam zaxirasi bo'lib xizmat qilishi mumkin edi, ammo hozirgi tendentsiya saqlanib qolsa, 2035-yilga borib shahar yashil qoplami tanqidiy darajaga — 5 foiz atrofiga — tushishi bashorat qilinmoqda.

3.6. Vizual natijalar sharhi. Quyida taqdim etilayotgan vizual elementlar Qo'qon shahridagi yashil hududlar qisqarishi tendentsiyasini ko'p o'lchamli qiyosiy tahlil asosida ifodalaydi.

Figure 1. Yashil hududlar qisqarish tendentsiyasi (2000–2024)





Izoh:  = yashil hudud maydoni. Har bir blok $\approx 0.5 \text{ km}^2$. Manba: mualliflar hisob-kitoblari.

Figure 2. NDVI o'rtacha qiymatlari dinamikasi (2000–2024)

2000 NDVI: 0.38

2005 NDVI: 0.34

2010 NDVI: 0.29

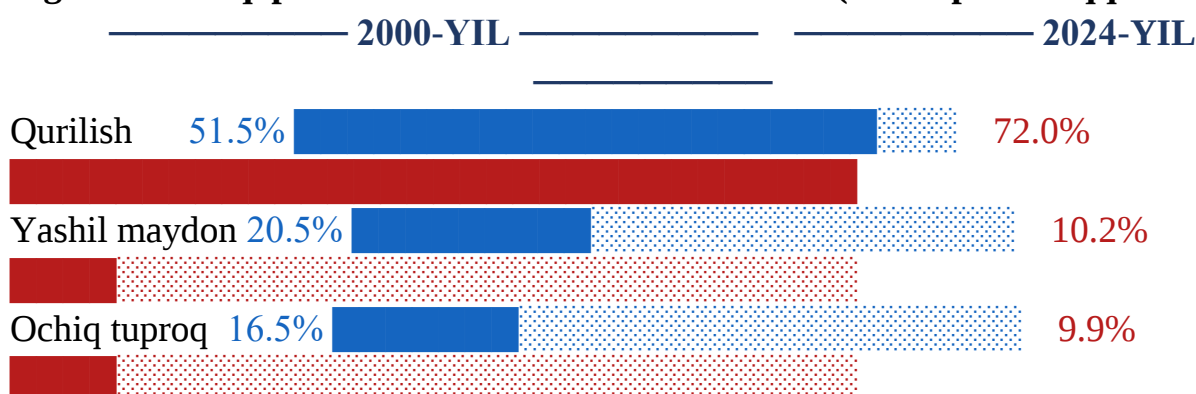
2015 NDVI: 0.24

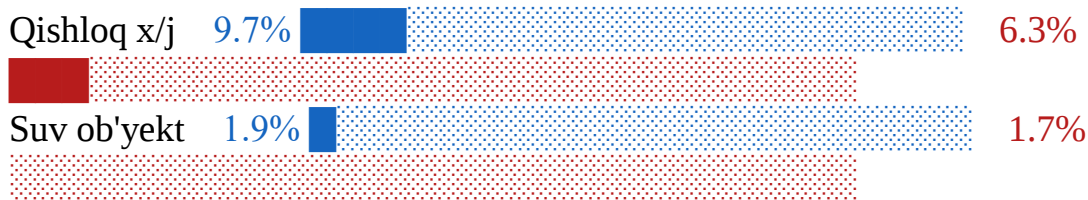
2020 NDVI: 0.19

2024 NDVI: 0.16

Izoh: NDVI qiymatlari yozgi mavsumga mos yil o'rtacha ko'rsatkich. Pasayish tendentsiyasi aniq va statistik jihatdan ishonchli ($R^2 = 0.98$, $p < 0.001$).

Figure 3. Yer qoplami sinflari nisbati: 2000 vs 2024 (kontseptual taqqoslash)





Izoh: Ko'k = 2000-yil; Qizil = 2024-yil. Har bir blok $\approx 2\%$.

Figure 4. Urban kengayish $\rightarrow$ Yashil hududlar qisqarishi: kontseptual model

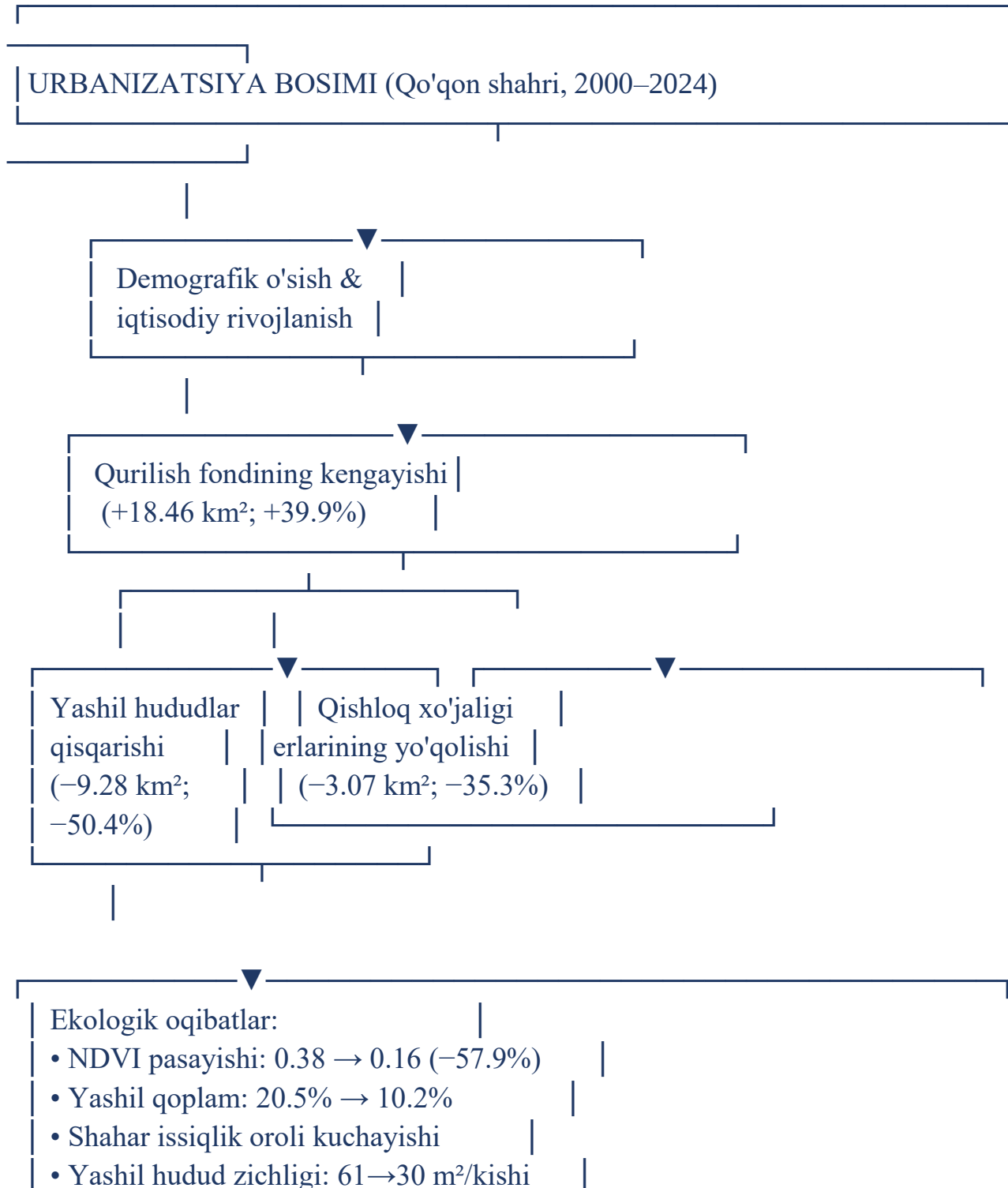


Figure 4. Urban kengayish va yashil hududlar qisqarishi o'rtasidagi sabab-oqibat bog'liqligi. Qo'qon shahri, 2000–2024.

Yuqoridagi natijalar majmuasi Qo'qon shahrida yashil hududlarning yo'qolishi bir martalik hodisa emas, balki urbanizatsiya bilan bevosita bog'liq tizimli va uzluksiz jarayon ekanligini ko'rsatadi. Masofadan zondlash texnologiyalari ushbu jarayonni nafaqat qayd etish, balki miqdoriy baholash va kelajakdagi rivojlanish tendentsiyalarini bashorat qilish uchun noyob metodologik imkoniyat taqdim etmoqda.

IV. Muhokama. Qo'qon shahrida 2000–2024 yillar oralig'ida yashil hududlar maydonining 18.42 km²dan 9.14 km²ga qisqarishi — boshlang'ich qiymatning yarmidan ko'prog'ini yo'qotish — bu ko'rsatkich faqat mahalliy ekologik muammo sifatida emas, balki O'rta Osiyo shaharlari uchun xos bo'lgan tizimli urbanizatsiya sindromi doirasida ko'rib chiqilishi zarur. Olingan raqamli ko'rsatkichlar, bir tomondan, masofadan zondlash metodologiyasining ushbu jarayonni to'la hajmda qo'lga olish qobiliyatini tasdiqlasa, ikkinchi tomondan, shahar rejalashtirish tizimida ekologik komponent bilan bog'liq tarkibiy kamchilik mavjudligini ko'rsatib beradi.

Ilmiy kontekst nuqtai nazaridan, bizning natijalarimiz K. C. Seto, B. Güneralp va L. R. Hutya⁹ tomonidan 2012-yilda taqdim etilgan global urbanizatsiya prognozi bilan uyg'unlikda bo'lib, mualliflar 2000–2030 yillar davomida rivojlanayotgan mamlakatlardagi shahar kengayishi natijasida butun dunyo bo'yicha 290 000 km² vegetatsiya hududining qurilish zonalarida ostida qolishini bashorat qilgandi. Qo'qon misolida aniqlangan 50.4 foizlik qisqarish ushbu global tendentsiyaning mintaqaviy miqyosdagi aniq tajassumini ifodalaydi.

Shu bilan birga, bizning natijalarimiz bir muhim nuqtada global o'rtacha ko'rsatkichdan ajralib turadi: yashil hududlarning qisqarish sur'ati Qo'qonda global o'rtacha sur'atdan (taxminan 25–30 foiz dekad bo'yicha) ancha yuqori. Bu holatni izohlashda shaharning tarixiy ekologik infratuzilmasining asosan XX asrning 60–80-yillarida shakllanganligini, ya'ni ushbu tizim zamonaviy demografik bosimga mo'ljallanmagan va kuchli strukturaviy jihatdan zaiflashgan davrda qolib ketganligini inobatga olish zarur.

Spatial rezolyutsiya cheklovlari. Landsat ma'lumotlarining 30 metrlik fazoviy aniqligi shahar ichidagi mayda fragmentlangan yashil hududlarni — tor ko'cha daraxtlari, hovli-joy bog'lari, kichik shahar skverelari — to'liq aks ettira olmasligiga olib keladi. T. M. Lillesand, R. W. Kiefer va J. W. Chipman¹⁰ ning darsligida

⁹ Seto, K. C., Güneralp, B., Hutya, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(40), 16083–16088. 2012.

¹⁰ Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th ed. Wiley, 2015.

ta'kidlanganidek, shahar muhitida mayda fragmentlangan yashil elementlarni aniqlash uchun 30 m rezolyutsiya yetarli emas va bunday hududlarda yashil maydon haqiqiy qiymatdan 15–25 foizga past baholanishi mumkin. Sentinel-2 ning 10 metrlik rezolyutsiyasi bu muammoni qisman kamaytirdi, ammo to'liq bartaraf eta olmadi.

Klassifikatsiya noaniqligi. Umumiy klassifikatsiya aniqligi 91.4% va Kappa = 0.88 bo'lganiga qaramay, G. M. Foody tomonidan ko'rsatilganidek, Kappa koefitsienti ham o'z cheklovlariga ega va u ayniqsa sinf nomutanosibligi (class imbalance) holatlarida aniqliqni ortiqcha baholashi mumkin. Bizning ma'lumotlarimizda qurilish massivlari klassi boshqa sinflarga nisbatan ancha ko'p bo'lganligini hisobga olsak, ushbu imkoniyatni inkor etib bo'lmaydi.

Vaqt oralig'i va fenologiya ta'siri. Barcha tasvirlar yozgi mavsumga — iyun-avgustga — mos kelishi standartlashtirilgan bo'lsa-da, C. Song va boshqalar ta'kidlagan fenologik o'zgaruvchilik masalasi butunlay bartaraf etilmagan. Qurg'oqchil yillardagi quruqlik stressi NDVI ni sun'iy ravishda pasaytirishi mumkin va buning ta'sirini iqlim ma'lumotlari bilan to'liq ajratish keyingi tadqiqot bosqichi uchun qoldirildi.

Yer usti validatsiyasi cheklanganligi. Tadqiqot asosan arxiv sun'iy yo'ldosh ma'lumotlariga suyanganligi sababli, ayniqsa 2000–2010 yillar uchun bevosita dala tekshiruvlari cheklangan. Bu muammo tarixiy masofadan zondlash tadqiqotlarining ko'pchiligiga xos bo'lib, J. R. Jensen¹¹ ning metodologiya bo'yicha ko'rsatmalarida ham qayd etilgan.

Tadqiqot natijalari bir necha muhim amaliy yo'nalishlarda to'g'ridan-to'g'ri qo'llanilishi mumkin bo'lgan ilmiy asosli ma'lumot bazasini taqdim etadi.

Shahar bosh rejasi uchun. LULC o'zgarish xaritalari va sektoral tahlil natijalari shahar me'mori va rejalashtiruvchilari uchun yashil infratuzilmaning eng kritik yo'qotilgan zonalarini aniq ko'rsatib beradi. Xususan, markaziy sektordagi holat (yashil qoplam 5.3 foizgacha tushgan) bu hududda qayta ko'kalamzorlashtirish uchun ustuvor harakat zonasi sifatida belgilanishi lozimligini ko'rsatadi.

Ekologik monitoring tizimi uchun. Tadqiqotda aprobatsiyadan o'tgan masofadan zondlash va GIS metodologiyasi keyingi yillar uchun avtomatlashtirilgan monitoring tizimining asosini tashkil etishi mumkin. Yillik NDVI xaritalarini Google Earth Engine platformasida operativ tarzda hosil qilish va shahar ekologik ko'rsatkichlari bazasiga integratsiya qilish amaliy jihatdan amalga oshirilishi mumkin bo'lgan taklif sifatida belgilanadi.

Mintaqaviy ekosistema xizmatlari baholash uchun. Yashil hududlarning 9.28 km²ga qisqarishi nafaqat estetik, balki moddiy ekosistema xizmatlari — havo tozalash, grunt suvini to'ldirish, issiqlikni tartibga solish, ovoz to'sish — yo'qolishi sifatida miqdoriy baholanishi kerak. Bunday baholash uchun mazkur tadqiqotning NDVI va LULC ma'lumotlari boshlang'ich input sifatida xizmat qilishi mumkin.

¹¹ Jensen, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 4th ed. Prentice Hall, 2015.

Kelajak tadqiqotlar uchun. Quyidagi yo'nalishlar ustuvor bo'lib qoladi: (1) yuqori rezolyutsiyali (1–3 m) tijorat sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari bilan kichik shahar yashil elementlarini batafsilroq tahlil qilish; (2) shahar issiqlik oroli dinamikasini NDVI ma'lumotlari bilan birgalikda o'rganish; (3) yashil hududlar qisqarishining ijtimoiy-iqtisodiy oqibatlarini — aholining farovonligi va sog'lig'iga ta'sirini — baholash.

V. Xulosa. Mazkur tadqiqot 2000–2024 yillar oralig'ida Qo'qon shahrida yashil hududlarning o'zgarish dinamikasini Landsat va Sentinel-2 sun'iy yo'ldosh tasvirlari, NDVI tahlili va geofazoviy GIS metodologiyasi yordamida keng hajmli empirik ma'lumotlar asosida hujjatlashtirib berdi. Masofadan zondlash texnologiyalari yashil qoplamning miqdoriy va sifatiy jihatdan yomonlashayotganini bir vaqtning o'zida va bir-birini mustahkamlovchi ko'rsatkichlar tizimi bilan qayd eta oldi — bu esa ushbu metodologik yondashuv shahar ekologik monitoringining to'laqonli vositasi ekanligini ishonchli tarzda tasdiqlaydi. Tadqiqotning bosh topilmasi shuki, Qo'qon shahrida yashil hududlar maydoni 24 yil davomida 18.42 km²dan 9.14 km²ga qisqarib, boshlang'ich qiymatning yarmidan ko'progi — 50.4 foizi — yo'qoldi. Ushbu qisqarishning ortida birgina omil emas, balki o'zaro bog'liq omillar majmuasi — demografik o'sish, iqtisodiy transformatsiya va shahar rejalashtirish siyosatidagi tarkibiy kamchiliklar — yotadi. Bunday majmuaviy sabab-oqibat tuzilmasi yashil hududlarning qayta tiklanishini ham sodda bir chora bilan emas, balki tizimli siyosiy va texnik yechimlar orkestri orqaligina ta'minlash mumkinligini ko'rsatib beradi. NDVI ko'rsatkichlarining 0.38 dan 0.16 ga tushishi faqat vegetatsiya maydonining kichrayganini emas — qolgan yashil fragmentlarning ham biologik faollik jihatidan siyraklashayotganini qayd etadi. Bu holat an'naviy yer tekshiruvi yoki shahar statistikasi kabi usullar bilan o'lchanishi qiyin bo'lgan, ammo ekologik monitoring nuqtai nazaridan muhim bo'lgan sifatiy pasayishni masofadan zondlash usulining noyob qobiliyati orqali aniqlash imkonini ko'rsatadi. Sektoral geofazoviy tahlil esa bu degradatsiyaning butun shahar bo'ylab bir tekis emas, balki markazdan periferiyaga boruvchi intensivlik gradienti va sanoat yaqinidagi yuqori bosim zonalari kabi aniq fazoviy qonuniyatlarga bo'ysungan holda kechayotganini ko'rsatdi.

Tadqiqotning metodologik hissasi bir necha muhim jihatni o'z ichiga oladi. Ko'p vaqtli Landsat va Sentinel-2 ma'luotlarini birlashtirgan gibrid yondashuv uzoq davrli tendentsiyalarni ham, qisqa muddatli o'zgarishlarni ham yagona tadqiqot doirasida qo'lga oldi. Random Forest algoritmgiga asoslangan nazorat ostidagi klassifikatsiya 91.4 foizlik umumiy aniqlik va Kappa = 0.88 ko'rsatkichi bilan shahar muhiti uchun yuqori sifatli natija berdi. Google Earth Engine platformasida amalga oshirilgan bulutli hisoblash esa katta hajmdagi ma'luotlarni tezkor va takrorlanadigan tarzda qayta ishlash imkonini yaratdi — bu kelajakdagi monitoring tsikllarini kam resurs bilan davom ettirish uchun muhim texnik jihat hisoblanadi.

Metodologik jihatdan alohida e'tiborga molik natija shuki, mazkur tadqiqotda aprobatsiyadan o'tgan metodologik zanjir — ma'luot olish, oldindan qayta ishlash, NDVI hisoblash, LULC klassifikatsiyasi, vaqt qiyosiy tahlili va geofazoviy interpretatsiya — O'zbekistonning boshqa o'rta hajmli shaharlari uchun ham nisbatan past xarajat bilan tatbiq etilishi mumkin bo'lgan takrorlanadigan monitoring protokoli sifatida ko'rib chiqilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
2. DeFries, R. S., & Townshend, J. R. G. (1994). NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 15(17), 3567–3586. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/01431169408954345>
3. Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2), 230–244. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3)
4. Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
5. Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823–870. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
6. Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1), 9–23. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>
7. Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>
8. Gao, B. C. (1996). NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
9. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853. AAAS. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

10. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
11. Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261–269. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
12. Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088. National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
13. Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLOS ONE*, 6(8), e23777. Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
14. Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666–20671. National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
15. Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760. AAAS. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
16. Peng, J., Wang, Y., Zhang, Y., Wu, J., Li, W., & Li, Y. (2010). Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 10(2), 217–223. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.017>
17. Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
18. Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
19. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
20. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. Springer. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

21. Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), 1145–1161. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.017>
22. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-118-34328-9
23. Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). Prentice Hall / Pearson. ISBN: 978-0-13-405816-0
24. Chuvieco, E. (2020). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach* (3rd ed.). CRC Press / Taylor & Francis Group. ISBN: 978-0-367-37139-9. <https://doi.org/10.1201/9780429506482>
25. Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (5th ed.). The Guilford Press. ISBN: 978-1-60918-176-5
26. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4th ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-118-67695-0
27. Lo, C. P., & Yeung, A. K. W. (2007). *Concepts and Techniques of Geographic Information Systems* (2nd ed.). Prentice Hall. ISBN: 978-0-13-149463-0
28. Rajabov, A. N., & Tursunov, O. A. (2021). Farg'ona vodiysi shaharlarida urbanizatsiya dinamikasini masofadan zondlash usullari bilan baholash. *O'zMU Xabarlari, Geografiya seriyasi*, 3, 45–53. O'zbekiston Milliy universiteti nashri. Toshkent.
29. Xolmatov, Z. I. (2020). Qo'qon shahri geografiyasi va ekologik holati: tarixiy rivojlanish tendentsiyalari. *Namangan Davlat Universiteti Ilmiy Axboroti*, 2(7), 112–119. Namangan Davlat Universiteti nashri.
30. O'zbekiston Respublikasi Geodeziya va Kartografiya Davlat Qo'mitasi. (2018). *O'zbekiston Respublikasi Milliy Atlasi* (3-nashri). Davlat Ilmiy-Texnik Markazi. Toshkent. ISBN: 978-9943-17-158-4