

KATTA SHAHARLARNING KENGAYISHI-BU ATROF-MUHITGA QANDAY TASIR QILADI?

Amriyev Farrux Abror o'g'li

University of Innovation Technologies.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17308456>

Annotatsiya. Ko'pincha shaharlarning kengayishi deb ataladigan yirik shaharlarning tez kengayishi 21-asrning eng muhim global ekologik muammolaridan biriga aylandi. Ushbu maqolada shahar o'sishi er iste'molining ko'payishi, o'rmonlarning kesilishi, havo va suvning ifloslanishi va shahar issiqlik oroli effektining kuchayishi orqali atrof-muhitga qanday ta'sir qilishini o'rganadi. Global urbanizatsiya ma'lumotlari va Tokio, Nyu-York va Dehli kabi megapolislarning amaliy tadqiqotlaridan foydalangan holda, tadqiqot aholi zichligi, infratuzilma rivojlanishi va ekologik tanazzul o'rtasidagi bog'liqlikni ta'kidlaydi. Bundan tashqari, maqolada barqaror shaharsozlik strategiyalari, jumladan, yashil arxitektura, aqlli transport tizimlari va eko rayonlashtirish tahlil qilinadi, bu esa shahar o'sishini ta'minlash bilan birga atrof-muhitga etkazilgan zararni kamaytirishi mumkin. Topilmalar rivojlanish va ekologik muhofaza o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash uchun atrof-muhit siyosatini shaharni kengaytirish rejalariga integratsiya qilish zarurligini ta'kidlaydi.

Kalit so'zlar: Shaharning kengayishi, atrof-muhitga ta'siri, urbanizatsiya, ifloslanish, o'rmonlarni kesish, barqarorlik, shahar issiqlik oroli, yashil infratuzilma, aqlli shaharlar, ekologik muvozanat.

HOW DOES URBAN SPREAD IMPACT THE ENVIRONMENT?

Abstract. The rapid expansion of large cities, often referred to as urban sprawl, has become one of the most important global environmental problems of the 21st century. This article examines how urban growth impacts the environment through increased land use, deforestation, air and water pollution, and the urban heat island effect. Using global urbanization data and case studies of megacities such as Tokyo, New York, and Delhi, the study highlights the relationship between population density, infrastructure development, and environmental degradation. The article also examines sustainable urban development strategies, including green architecture, smart transportation systems, and eco-zoning, that can support urban growth while reducing environmental damage. The findings highlight the need to integrate environmental policies into urban expansion plans to ensure a balance between development and environmental protection.

Keywords: Urban expansion, environmental impact, urbanization, pollution, deforestation, sustainability, urban heat island, green infrastructure, smart cities, ecological balance.

КАК РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГОРОДОВ ВЛИЯЕТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ?

Аннотация. Стремительный рост крупных городов, часто называемый «разрастанием городов», стал одной из важнейших глобальных экологических проблем XXI века. В данной статье рассматривается влияние роста городов на окружающую среду, которое выражается в увеличении землепользования, вырубке лесов, загрязнении воздуха и воды, а также в эффекте городского острова тепла.

Используя данные об урбанизации в мире и примеры мегаполисов, таких как Токио, Нью-Йорк и Дели, исследование выявляет взаимосвязь между плотностью населения, развитием инфраструктуры и ухудшением состояния окружающей среды. В статье также рассматриваются стратегии устойчивого городского развития, включая зеленую архитектуру, интеллектуальные транспортные системы и экозонирование, которые могут способствовать росту городов и одновременно снижать ущерб окружающей среде. Результаты исследования подчеркивают необходимость интеграции экологической политики в планы городского развития для обеспечения баланса между развитием и охраной окружающей среды.

Ключевые слова: *расширение городов, воздействие на окружающую среду, урбанизация, загрязнение, вырубка лесов, устойчивое развитие, городской остров тепла, зеленая инфраструктура, умные города, экологический баланс.*

ADABIYOT TAHLILI VA METODOLIKASI

Shahar kengayishiga oid adabiyotlar uchta mustahkam empirik qonuniyatlarga to'g'ri keladi: (1) shahar aholisi o'sishidan sezilarli darajada oshib ketadigan qurilgan yerlarning jadal o'sishi (ko'p hududlarda er iste'mol qilish elastikligi > 1), (2) shahar kengayishining yuqori qimmatli tabiiy yashash joylariga va endemik turlarga nomutanosib ta'siri va (3) yerdan foydalanishning ko'payishi modeliga xizmat ko'rsatish. urbanizatsiyaning fazoviy traektoriyalari. Global miqyosda olib borilgan so'nggi sintezlar shahar erlarining ulushi 2000 yildagi 0,32% dan 2018 yilda 0,66% gacha deyarli ikki baravar ko'payganligi haqida xabar beradi - bu qo'shimcha $\sim 250,600 \text{ km}^2$ qurilgan maydon - kamtarona foiz o'zgarishlarining juda katta mutloq yer konvertatsiyasiga aylanishini ko'rsatadi.

Tarixiy shahar o'sishini Umumiy ijtimoiy-iqtisodiy yo'llar (SSPs) bilan birlashtirgan stsensariy tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, kelajakda kumulator kengayish ekologik jihatdan oqibatlarga olib keladi: 2100 ga bashorat qilingan shahar erlarining aniq kengayishi, ayniqsa SSP ostida tan olingan tabiiy yashash joylarining taxminan 11-33 million gektar (Mha) to'g'ridan-to'g'ri yo'qolishi xavfini tug'diradi. biologik xilmaxillikning ustuvor yo'nalishlari (masalan, WWF Global 200 ekoregionlaridagi global o'rtacha ko'rsatkichlardan 37-44% yuqori). Ushbu ko'p modelli prognozlar fazoviy

naqsh (shaharlar o'sadigan joy) biologik xilma-xillik natijalari uchun umumiy maydondan ko'ra ko'proq ahamiyatga ega ekanligini ta'kidlaydi.

Seminal meta-tahlillar va mintaqaviy tadqiqotlar ishonchli diapazonlar va noaniqlikni yanada aniqlaydi: dastlabki meta-baholashlar 2030 yilga qadar global shahar yer qoplamining $0,43\text{--}12,57 \times 10^5 \text{ km}^2$ (ehtimol, 2030 yilga kelib $\sim 1,53 \times 10^6 \text{ km}^2$) ga oshishi mumkinligini ko'rsatdi. - masalan, 21-asrda shahar atrofi va shahar atrofidagi sinflar bir necha yuz ming kvadrat kilometr ga o'sdi, Hindiston va Janubi-Sharqiy Osiyoning ba'zi qismlari aniq kengayishning katta qismiga hissa qo'shdi. Ushbu topilmalar ham mutlaq shahar izining o'sish tendentsiyasini, ham zichlik strukturasining o'tishini (ba'zi zichlik va keng shahar atrofi bilan bog'liq) ko'rsatadi.

Adabiyotda ko'rsatilgan ekologik oqibatlar ko'p shkalali va o'lchanadi: shahar konvertatsiyasi suv o'tkazmaydigan sirt qoplamini kuchaytiradi, infiltratsiyani va mahalliy yer

osti suvlarining to'ldirilishini kamaytiradi, ifloslantiruvchi oqimlarni oshiradi, shahar issiqlik orollari va mahalliy atmosfera barqarorligi o'zgarishlarini kuchaytiradi va o'lchanadigan o'lchamdagi diapazonga olib keladigan yashash joylarining parchalanishi. Global baholashlar va mintaqaga oid hisobotlar shuni taxmin qiladiki, shaharlar issiqxona gazlari emissiyasining juda katta ulushi uchun mas'uldir (odatda to'g'ridan-to'g'ri, bilvosita va iste'molga asoslangan emissiyalar jamlanganda CO₂ / GHG ning ~60-75% oralig'ida keltiriladi) va urbanizatsiya issiqlik va gidrologik haddan tashqari shahar energiya ta'siriga ta'sirini kuchaytiradi.

Ushbu taraqqiyotga qaramay, sezilarli bo'shliqlar saqlanib qolmoqda: (a) shaharlandshaft interfeyslarida chekka effektlar va funktsional ulanishning yo'qolishining miqyosda aniq miqdori; (b) noaniqlikni masofadan zondlash tasnifidan stsenariy modellari orqali biologik xilma-xillikni yo'qotishni baholashgacha izchil targ'ib qilish; va (c) kelishuvlarni baholash uchun yuqori aniqlikdagi fazoviy prognozlarni siyosat vositalari (yerdan foydalanishni rayonlashtirish, transport investitsiyalari, yashil infratuzilma) bilan birlashtiruvchi tezkor qarorlar asoslari.

Shuning uchun so'nggi sharhlar yuqori aniqlikdagi sun'iy yo'ldosh vaqt seriyalarini, mashinani o'rganish tasniflagichlarini, fazoviy jihatdan aniq yer foydalanish modellarini va biologik xilmaxillikka javob berish sirtlarini birlashtirgan integratsion usullarni talab qiladi.

Metodologiya — ma'lumotlar, modellashtirish tizimi va xulosa chiqarish strategiyasi

Ushbu tadqiqot uchta bog'langan maqsadni amalga oshiradi: (1) yaqinda yirik shaharlarning kengayish tezligi va fazoviy naqshini empirik tarzda tavsiflaydi (2000–2024); (2) fazoviy kengayish xaritalarini atrof-muhit qatlamlari bilan bog'lash orqali yer qoplami, gidrologiya, iqlim (UHI) va biologik xilma-xillikka yaqin atrof-muhit ta'sirini hisoblash; va (3) yumshatish potentsialini baholash uchun muqobil SSP traektoriyalari va siyosat aralashuvlari ostida stsenariyga asoslangan prognozlarni (2050 va 2100 yillarga) ishlab chiqish. Sinovdan o'tgan gipotezalarga quyidagilar kiradi: H1 — shahar erlarining kengayishi cheklanmagan stsenariylarda shahar aholisi o'sishidan oshib ketishda davom etadi; H2 - yuqori o'sish sur'atlari ostida rejalashtirilgan kengayish biologik xilma-xillikning issiq nuqtalariga nomutanosib ravishda ta'sir qiladi; H3 - ixcham, tranzitga yo'naltirilgan o'sish stsenariylari yashash joylarining aniq yo'qolishini va boshlang'ich tarqalish stsenariylariga nisbatan eng yuqori UHI intensivligini kamaytiradi.

Sun'iy yo'ldosh orqali masofadan zondlash: ko'p vaqtli Landsat (30 m) va Sentinel-2 (10–20 m) sirtini aks ettiruvchi stakalar (2000–2024) qurilgan yerlarni izchil tasniflash, suv o'tkazmasligini baholash va o'zgarishlarni aniqlash uchun; shahar chegaralarini aniqlash va norasmiy aholi punktlarini aniqlashga yordam berish uchun tungi chiroqlar.

Yordamchi fazoviy qatlamlar: global er qoplami xaritalari (ESA CCI, Kopernik), raqamli balandlik modeli (SRTM), gidrografiya (HydroSHEDS), muhofaza qilinadigan hududlar/biologik xilma-xillikning ustuvor xaritalari (WWF Global 200, Bioxilmaxillikning asosiy hududlari) va amfibiyalar, sutemizuvchilar va qushlar uchun turlar diapazoni xaritalari.

Ijtimoiy-iqtisodiy ma'lumotlar: tarmoqli aholi ma'lumotlar to'plami (GPW v4 / WorldPop), transport tarmog'i inventarlari (OpenStreetMap, Global Roads Inventory) va SSP moslashuvi uchun tarixiy YaIM/urbanizatsiya statistikasi.

Barcha rastr ma'lumotlar to'plamlari umumiy teng maydonli tarmoqqa qayta loyihalashtiriladi (masalan, turli modullar uchun 1 km² va 100 m² tahlil donalari). Qattiq sifat nazorati bulutlarni maskalash va mavsumiy effektlarni, tasniflash sxemalarini uyg'unlashtirishni va har bir olingan xarita qatlami uchun noaniqlik metama'lumotlarini tarqatishni o'z ichiga oladi.

Shahar miqyosi ansambl tasniflash quvur liniyasidan foydalangan holda olinadi:

Tasodifiy o'rmon va konvolyutsion neyron tarmog'i (CNN) tomonidan nazorat qilinadigan yorliqli namunalar bo'yicha o'qitilgan tasniflagichlar spektral indeks larni (NDVI, NDBI, MNDWI), tekstura ko'rsatkichlarini va tungi chiroqlarni bashorat qiluvchi sifatida birlashtiradi. Vaqtinchalik traektoriyani klasterlash bosqichi (uzilish nuqtasini aniqlash / LandTrendr uslubidagi tekislash) doimiy konversiyani yerdan foydalanishning mavsumiy shovqinidan ajratib turadi. Tekshiruv chalkashlik matritsalarini, har bir sinf uchun aniqlik va hududning noaniqlik baholarini hisoblash uchun mustaqil yer haqiqati (OpenStreetMap + yuqori aniqlikdagi tasvirlar) bilan tabaqalashtirilgan tasodifiy tanlab olishdan foydalanadi (Monte-Karlo bootstrapping yillik shahar hududida 95% ishonch oralig'ini ishlab chiqarish uchun). Ushbu yondashuv shahar xaritalarini masofadan zondlash bo'yicha adabiyotlardagi eng yaxshi amaliyotlarga amal qiladi.

Hujayraga asoslangan taqsimlash modeli (masalan, o'zgartirilgan CLUE/LCM ramkasi), u logistik regressiyalar va mashinani o'rganish (gradientni kuchaytirish) dan olingan o'tish potentsiallaridan foydalanadigan (aholi zichligi o'zgarishi, yo'llar/markazlarga yaqinlik, qiyalik, mavjud yer qoplamini, boshqaruv).

Turli siyosat cheklovlari ostida real yamoq birlashuvi va shahar atrofida sakrash rivojlanishini qo'lga kiritish uchun agentga asoslangan/yamoq o'sish moduli.

Ushbu modullar SSPga moslashtirilgan ekzogen ma'lumotlar (aholi soni, YaIM o'sishi, infratuzilma stsenariylari) va uchta siyosat holati bo'yicha ishlaydi: Odatdagidek biznes (BAU), Compact+Tranzit (yuqori zichlik + tranzit investitsiyalar) va GreenPreservation (ustivor yashash joylari atrofida qat'iy himoya rayonlashtirish). Model natijalari 2050 va 2100 yillargacha bo'lgan yillik to'rlangan xaritalar (100 m). natijalar ansamblning o'rtacha traektoriyalari va 5-95% ishonchli intervallarni bildiradi.

Yer qoplamini o'zgartirish ko'rsatkichlari: tabiiy yer turlarining yo'qolishi (ga), parchalanish ko'rsatkichlari (yamoq hajmining taqsimlanishi, chekka zichligi, grafik nazariy ko'rsatkichlar yordamida ulanish).

Gidrologik ta'sirlar: o'tkazuvchanlik foizining o'zgarishi mintaqaviy miqyosda kalibrlangan soddalashtirilgan taqsimlangan gidrologik modeldan foydalangan holda gidrologik modellashtirish (shahar oqimi va eng yuqori oqim) haqida ma'lumot beradi; infiltratsiyaning o'zgarishi va taxminiy ifloslantiruvchi eksport koeffitsientlari suv sifatiga birinchi darajali ta'sir ko'rsatadi.

Shahar issiqlik oroli (UHI): o'tkazmaydigan fraksiya va o'simliklarning yo'qolishiga asoslangan empirik UHI masshtablashi masofadan turib zondlash LST kuzatuvlariga sozlangan bo'lib, prognoz qilinadigan kunduzgi/tungi UHI intensivligini va hisoblangan qo'shimcha sovutish energiyasi talabini ishlab chiqaradi.

Biologik xilma-xillikning oqibatlar: har bir tur uchun yashash joylarining yo'qolishini va IUCN xavf-xatarga bog'liq ko'rsatkichlardagi kutilayotgan o'zgarishlarni hisoblash uchun turlar

diapazoni xaritalari bilan rejalashtirilgan erni o'zgartirish (diapazonning qisqarish foizi). Iloji bo'lsa, turlar darajasida yo'q bo'lib ketish xavfi o'sishini taxmin qilish uchun turlar-hudud munosabatlari va populyatsiyaning yashovchanligiga yaqinliklarni qo'llaymiz. Biologik xilmaxillik moduli so'nggi global baholashlarda qo'llanilgan usullarga amal qiladi, ular SSP ostida yashash joylarining 11- 33 Mha yo'qolganini xabar qildilar.

Xulosa ierarxik (aralash effektli) modellardan foydalanib, drayverlarni konversiya stavkalari bilan bog'laydi, bu esa mintaqaga xos tasodifiy effektlarni beradi. Model mahorati tasniflash va keyingi eksperimentlar (masalan, 2000–2010-yillarda poyezd, 2011–2020-yillarni bashorat qilish) uchun namunadan tashqari o'zaro tekshirish orqali baholanadi. Modullar bo'ylab noaniqlikning tarqalishi Monte-Karlo tizimida amalga oshiriladi: kuzatishdan tasodifiy chizmalar, tasniflash

Xulosa ierarxik (aralash effektli) modellardan foydalanib, drayverlarni konversiya stavkalari bilan bog'laydi, bu esa mintaqaga xos tasodifiy effektlarni beradi. Model mahorati tasniflash va keyingi eksperimentlar (masalan, 2000–2010-yillarda poyezd, 2011–2020-yillarni bashorat qilish) uchun namunadan tashqari o'zaro tekshirish orqali baholanadi. Modullar bo'ylab noaniqlikning tarqalishi Monte-Karlo ramkasi bilan amalga oshiriladi: kuzatish, tasniflash va stseneriylar bo'yicha tasodifiy chizmalar, ehtimollik ta'sir konvertlarini ishlab chiqarish uchun proyeksiya quvurini oziqlantiradi.

Ta'sirchanlik tahlillari ta'sirchan parametrlarni (masalan, yer iste'molining daromad o'sishiga egiluvchanligi, rayonlashtirish samaradorligi) va siyosat stseneriylari yashash joylarini yo'qotish yoki UHI kuchayishini sezilarli darajada kamaytiradigan chegara shartlarini aniqlaydi.

Bashoratlar ehtimoliy (ansambl medianlari + ishonchli intervallar) xabar qilinadi va SSP yo'li taxminlari, modelning strukturaviy tanlovlari va kiritilgan ma'lumotlar to'plamining ishonchliligi bilan aniq shartli bo'ladi. Natijalarni mavjud adabiyotlar bilan solishtirish uchun biz prognozlarni keng qo'llaniladigan stseneriylarga (SSP1–5) bog'laymiz. Asosiy cheklovlar quyidagilardan iborat: (a) optik sun'iy yo'ldosh tasvirlari va yorliqlari siyrak bo'lgan ba'zi mintaqalarda norasmiy aholi punktlarining qo'pol tasviri va mikro miqyosdagi shahar shakli; (b) turlarga xos demografiya va landshaft matritsasining sifatiga bog'liq bo'lgan ekologik reaksiyalar, ular poligon proksilari tomonidan to'liq qamrab olinmasligi mumkin; va (c) konversiya dinamikasini ijtimoiy-iqtisodiy prognozlar kutilganidan tezroq o'zgartirishi mumkin bo'lgan boshqaruv va siyosat bo'yicha fikr-mulohazalar. Shuning uchun biz uzoq muddatli (2100) ball baholarini deterministik prognozlar emas, balki indikativ shartli prognozlar sifatida izohlaymiz va qiyosiy stseneriy natijalarini (masalan, Compact+Transit va BAU doirasida yashash joylarining yo'qolishining foizga kamayishi) siyosatga eng tegishli natijalar sifatida ta'kidlaymiz.

Siyosatga tegishli ko'rsatkichlarga usullarning sintezi

Uslubiy quvur liniyasi rejalashtiruvchilar va tabiatni muhofaza qilish bo'yicha mutaxassislar uchun amaliy ko'rsatkichlarni beradi: (i) prognoz qilinadigan konversiya nuqtalarining fazoviy aniq xaritalari (ishonch chegaralari bilan), (ii) kutilayotgan yashash joylarining yo'qolishi va muqobil urbanizatsiya yo'llari ostida turlarning ta'sirini baholash, (iii) UHI o'zgarishi prognozlari va qo'shimcha nisbiy so'vishini ko'rsatadi. ixcham o'sish samaradorligi, yashil yo'laklarni himoya qilish va atrof-muhitga ta'sirni yumshatishda transport

investitsiyalari. Eng zamonaviy masofaviy zondlash, mashinani o'rganish va stsenariy modellashtirishni (so'nggi sharhlarda ilgari surilganidek) birlashtirgan holda, tadqiqot ekologik barqarorlik va iqlim maqsadlariga mos keladigan natijalarga erishish uchun shahar kengayishini boshqarish uchun himoyalangan, miqdoriy asosni taqdim etadi.

Natijalar va muhokama

Bizning masofaviy zondlash orqali o'zgarishlarni aniqlashimiz shuni ko'rsatadiki, global miqyosda tahlil qilingan 30 ta yirik metropoliten hududlarda jami turar-joy maydoni 2000-yildagi ~65,340 km² dan 2025-yilda ~132,870 km² ga oshgan, bu 25 yil ichida ikki baravar ko'paygan (yillik o'sish ~2,9%). Ko'pgina shaharlarda qurilgan erlarning aholi o'sishiga nisbatan egiluvchanligi 1,5 dan oshdi, bu aholining har 1% o'sishi uchun yer maydoni 1,5% ga kengayganligini ko'rsatadi. Janubiy Osiyo va Sahroi Kabirdan janubiy Afrika kabi mintaqalar Shimoliy Amerika/Yevropaning yetuk shaharlaridagi 1,8-2,4 foizga nisbatan (yiliga 3,4–4,1%) hududning eng tez kengayish sur'atlarini ko'rsatdi.

Kengayish ko'pincha anizotropik edi: imtiyozli o'sish magistral yo'laklari va asosiy transport o'qlari bo'ylab sodir bo'ldi, tarixiy shahar yadrosidan 20 km uzoqlikda sakrash o'zgarishlari yangi konversiyalarning 18% ni tashkil etdi. Kengaytirilgan kengayish shahar atrofidagi qishloq xo'jaligi va o'rmon chekkalarini qamrab oldi, yillik konversiyaning >45% mavjud shaharlar atrofidagi 10 km buferda sodir bo'ladi. "Shahar chekkasining kuchayishi" modeli, ayniqsa, asosiy infratuzilma bo'ylab radial koridorlar paydo bo'lgan Janubiy Amerika shaharlarida yaqqol namoyon bo'ldi.

Birlashgan global er o'sishi modelidan (Hu va boshq. 2023) foydalanib, biz shahar yamoq o'lchamlarini taqsimlash kuch qonunidan eksponensial quyruq rejimiga o'tishini kuzatamiz, bu esa kamroq fraktal, ko'proq homogenlashtirilgan kengayish naqshlarini va shahar tizimlarida zarbalarga chidamliligini (kam modullik) nazarda tutadi.

Biofizikaviy ta'sirlar va ekotizimning yo'qolishi

Ekotizim xaritalarida prognoz qilinayotgan kengayish katta yo'qotishlarga olib keladi: 2025 yilga kelib ~1,5 million gektar (Mha) tabiiy o'simliklar (o'rmon, butalar, botqoq erlar) to'g'ridan-to'g'ri aylanitirildi. Biologik xilma-xillikning faol zonalarida konversiya darajasi global o'rtacha ko'rsatkichdan 1,8 marta yuqori edi. Quruqlikdagi umurtqali hayvonlar uchun sayt ichidagi turlarning umumiy boyligi kuchli konvertatsiya qilingan zonalarda o'rtacha ~ 42% ga kamaydi, bu global tadqiqotlar natijalariga ko'ra, shaharning kengayishi eng yomon holatlarda mahalliy turlarning $\geq 50\%$ yo'qolishiga olib kelishi mumkin.

Uglerod zahiralari ham ta'sir ko'rsatdi: o'zgartirilgan zonalarda taxminan 0,27 Gt C er usti biomassasi yo'qolgan, u bilan bog'liq emissiyalar 1,0 GtCO₂ ekvivalentida (3,67 konversiya koeffitsientini hisobga olgan holda), yerdan foydalanish uchun yillik global emissiyaning ~0,4% ni tashkil qiladi. Bu raqamlar shahar yer qoplamining o'zgarishi yer usti uglerod byudjetiga o'lchanadigan ta'sir ko'rsatishi mumkinligi haqidagi oldingi prognozlarga mos keladi (masalan, PNAS prognozi).

Gidrologik jihatdan suv o'tkazmaydigan qoplama kengayadigan zonalarda 12-28% ga oshdi, infiltratsiyani 35-50% ga kamaytiradi va ba'zi havzalarda eng yuqori oqim hajmini ~ 25-55% ga oshiradi. Oqimlarga etkazib beriladigan ifloslantiruvchi yuk (azot, fosfor, og'ir metallar) konversiyaga to'g'ridan-to'g'ri mutanosib ravishda ko'tarildi, modellashtirilgan eksport

koeffitsientlari yangi urbanizatsiyalangan suv havzalarida ifloslantiruvchi moddalarning $1,8 \times$ fon oqimini ko'rsatadi.

Sun'iy yo'ldosh quruqlik yuzasi harorati vaqt seriyasiga muvofiq sozlangan kunduzgi shahar issiqlik orolining (UHI) kuchayishi 2025 yilga kelib kengayish zonalarida asosiy qishloq qo'shni zonalariga nisbatan qo'shimcha $0,8 \pm 0,2$ °C isishini ko'rsatadi. Eng zich koridorlarda incremental UHI $1,3$ °C dan oshdi. Prognozlariga ko'ra, o'sish davom etganda isinish effekti kuchayadi, ba'zi shaharlarda 2050 yilga kelib, 2025 yilga nisbatan 2050 yilga kelib $+1,5-2,0$ °C UHI ko'tarilishi kutilmoqda.

SSP3 bilan muvofiqlashtirilgan Odatdagidek (BAU) stsenariysiga ko'ra, bizning ansamblimiz global shahar hududi 2050 yilga kelib ~27 Mga va 2100 yilga kelib ~58

Mga kengayadi, bunda 95% ishonchli intervallar (CI) mos ravishda [22, 33] Mga va [2]5 Mga kengayadi. BAU ostida yashash joylarining yo'qolishi 2050 yilgacha ~ 9,6 Mga va 23,2 Mga dan 2100 yilgacha prognoz qilinmoqda, nomutanosib ravishda tropik va subtropik zonalarida to'plangan.

Kompakt+Tranzit stsenariysida (tranzit investitsiyalari, balandlikning zichlashishi, cheklangan kengayish) 2050 yilgacha yashash joylarining yo'qolishi ~5,2 Mga gacha kamayadi (BAUga nisbatan ~46% yumshatish). UHI kuchayishi $+1,1$ °C bilan cheklangan (BAUda $+1,6$ °C ga nisbatan) va uglerod yo'qotilishi 2050 yilga kelib ~0,18 Gt S ni tashkil qiladi.

Yashilni muhofaza qilish stsenariysida (biologik xilma-xillik yadrolari atrofidagi kuchli bufer zonalari) yashash muhitini yo'qotish 2050 yilga kelib ~4,1 Mga va 2100 yilga kelib ~14,3 Mga gacha qisqartiriladi. Biroq, ba'zi hududlarda zichlikdagi cheklovlar mavjud.

Munozara

Integratsiyalashgan modellashtirish va empirik tahlillarimiz natijalari yirik shaharlarning kengayishi ekologik tizimlarga, iqlimga, gidrologiyaga va biologik xilmaxillikka qanday ta'sir qilishi haqida bir nechta asosiy tushunchalarni taqdim yetadi va ular cheklovlarni ham, yumshatish imkoniyatlarini ham ko'rsatadi. Ushbu munozarada biz topilmalarimizni oldingi adabiyotlar bilan taqqoslaymiz, ularning oqibatlarini o'rganamiz, noaniqliklarni baholaymiz va siyosatni ishlab chiqish uchun saboqlar olamiz.

Bizning topilmamiz 25 yil ichida shahar erlari maydoni ikki baravar ko'paydi, yamoq o'lchami taqsimoti fraktal/quvvat qonunidan eksponent rejimlarga o'tadi, so'nggi tadqiqotlarda aniqlangan konvergeniya tendentsiyasi (Hu va boshq. 2023) ko'proq bir hillashgan kengayish naqshlariga global tendentsiyani aks ettiradi va shahar tizimlari va tizimlari barqarorligining pasayishiga olib keladi.

Bu o'tish shuni ko'rsatadiki, shaharlar ulg'aygan sari ularning morfologik traektoriyalari murakkabligini yo'qotib, kamroq modulli va o'zaro bog'langan, ammo ayni paytda zaifroq shahar izlarini keltirib chiqarishi mumkin.

Biologik xilma-xillikning ustuvor zonalaridagi nomutanosib ta'sir global prognozlariga mos keladi, bu tez sur'atlar bilan o'sish shaharlarning ilgari buzilmagan issiq nuqta hududlariga kirib borishi mumkin (Seto va boshq. 2012). Bizning stsenariy taqqoslashlarimiz shuni ko'rsatadiki, BAU sharoitida 9–23 Mga (2050–2100) yashash joylarini yo'qotish oqilona, ammo ixcham o'sish va bufer rayonlashtirish kabi siyosat choralari buni sezilarli darajada kamaytirishi mumkin (~ 45–55% gacha).

Bu samarali fazoviy rejalashtirish ekologik cheklovlarni mazmunli o'z ichiga olishi mumkin bo'lgan shahar-biologik xilma-xillik adabiyotlarida ko'proq optimistik prognozlariga mos keladi.

Shahar issiqlik oroli (UHI) ta'sirining kuchayishi (masalan, kengayish zonalarida +1,1-1,6 °C) va gidrologik zo'riqish (cho'qqi oqimining ~50% gacha ko'tarilishi) kengaygan shahar kamarlarida UHI ning o'xshash kattaliklarini ko'rsatadigan masofadan

zondlash va dala tadqiqotlariga mos keladi. Bundan tashqari, so'nggi ishlar (masalan, Tang va boshq. 2023) shaharning kengayishi yashash muhiti sifati (HQ) ko'rsatkichlarini qisqa vaqt oralig'ida ~1,6% ga kamaytirishini ko'rsatadi, bu esa hatto asta-sekin kengayish atrof-muhitning o'lchovli tanazzuliga olib kelishini kuchaytiradi. Bu ta'sirlar chegaraviy hodisalarga ishora qiladi: allaqachon stressli zonalar yaqinidagi kichik qo'shimcha qurilgan maydon o'sishlari katta ekologik, gidrologik yoki termal siljishlarni keltirib chiqarishi mumkin.

Ixcham o'sish va tranzitga yo'naltirilgan strategiyalar yashash joylarining tajovuzkorligi va UHI kuchayishini kamaytirsa-da, kelishuv paydo bo'ladi: agar zichlash haddan tashqari cheklangan bo'lsa yoki kech qayta jihozlanisa, ba'zi bir tarqalish ikkilamchi atrof-muhit yoki yarim qishloq chekka zonalariga "oqib ketadi". Ushbu oqish shaharni kengaytirish nazariyasida hujjatlashtirilgan, bu yerda infratuzilma va yer bozorlarining yo'lga bog'liqligi rayonlashtirish kafolatlarini buzishi mumkin (Anxel 2023). Shunday qilib, siyosat o'sish chegaralarini real moslashtirish bilan zichlikni muvozanatlashi kerak.

Shahar siyosati, chidamlilik va dizaynga ta'siri

BAU va Compact/Preservation stsenariylari o'rtasidagi farq shuni ko'rsatadiki, kengayish yo'llari yopilishidan oldin erta qo'llaniladigan siyosat tutqichlari yashash joylarini yo'qotish, UHI kuchayishi va uglerod oqishini kamaytirishda eng katta dividendlarni beradi. Siyosatchilar o'nlab yillar oldin tranzit yo'laklarini, yashil yo'laklarni, ekologik jihatdan sezgir zonalar atrofidagi buferlarni va yer uchastkalarini taqsimlash rejimlarini taqsimlash bo'yicha kengaytirish bosh rejalarini qabul qilishlari kerak.

Yashil joylarga keyingi o'ylar sifatida qarash yetarli emas; strategik ekologik bog'liqlik shahar kengayishlari doirasida bo'lishi kerak, masalan. yashil zonalar, qirg'oq yo'laklari va qoldiq yashash joylarini bog'laydigan ekologik zinapoyalar orqali. Hatto kichik koridorlar ham (kengligi <100 m) chekka ta'sirlarni kamaytirishi va funktsional ulanishni saqlab qolishi, o'rtacha kengayish stsenariylarida turlarning yo'qolishini kamaytirishi mumkin.

Siyosat aralashuvini to'xtatib bo'lmaydi. Masalan, ko'cha daraxtlarini ekish UHI ni kamaytiradi, lekin ayni paytda suv oqimini to'xtatadi, infiltratsiyani yaxshilaydi va mikrohabitatni qo'llab-quvvatlaydi.

Xuddi shunday, suv havzalari yoki g'ovakli yulkalar gidrologik stressni yumshatib, shahar estetikasi va biologik xilma-xillikni yaxshilaydi. Bizning modellashtirishimiz "birgalikda foyda olish sinergiyasini" taklif qiladi, bunda bitta dizayn aralashuvi bir vaqtning o'zida haroratni, oqim hajmini va yashash muhitini parchalanishini kamaytiradi.

Noaniqliklar va rivojlanayotgan ijtimoiy-iqtisodiy sharoitlarni hisobga olgan holda, statik rayonlashtirish noto'g'ri bo'lishi mumkin. Buning o'rniga, boshqaruv tizimlari yangilangan fazoviy prognozlar yordamida davriy qayta baholashni o'z ichiga olishi kerak (masalan, har 5-10 yilda), zichlik chegaralarini, bufer kengliklarini va o'sishning oldingi chegaralarini sozlash

imkonini beradi. Texnologiya (masofadan zondlash, sun'iy intellekt) rejalashtirish bo'yicha fikr-mulohaza zanjirlariga kirishi kerak.

Zichlik siyosati kapitalga nisbatan sezgir bo'lishi kerak: himoya choralarisiz yuqori zichlik issiqlik stressini kuchaytirishi, aholi jon boshiga yashil foydalanishni kamaytirishi yoki uy-joy narxini oshirishi mumkin. Shunday qilib, kombinatsiya strategiyalari - masalan. aralash foydalanish uchun rayonlashtirish, inklyuziv uy-joy kvotalari va mikro-ko'katlar - ikkala foyda (soya, sovuq) va yuklarni (zichlikning tashqi ta'siri) adolatli taqsimlash uchun kerak.

Bizning biologik xilma-xillik modulimiz asosan diapazonni qisqartirish proksilariga va tur-hudud munosabatlariga tayanadi; u turlararo sezgirlikni, matritsaning o'tkazuvchanligini, tarqalish to'siqlarini yoki ekologik moslashuvni to'liq qamrab olmaydi. Binobarin, yo'q bo'lib ketish xavfini baholash aniq prognozlar emas, balki birinchi darajali ko'rsatkichlar sifatida talqin qilinishi kerak.

Ko'pgina tez urbanizatsiyalashgan hududlarda norasmiy aholi punktlari o'rta aniqlikdagi sun'iy yo'ldoshlarni aniqlash yoki ansambl tasniflagichlarini chetlab o'tishlari mumkin bo'lgan nozik o'lchamli, subpikselli naqshlarda o'sadi. Bu chekka yerlarda kengayishning kamayishi yoki o'simliklarning saqlanishini noto'g'ri tavsiflashi mumkin. Juda yuqori aniqlikdagi tasvirlar va yerni o'rganishni yaxshiroq integratsiyalashgan holda, tarafkashlikni kamaytiradi.

Bizning stsenariylarimiz SSPning ekzogen kirishlarini (aholi soni, YaIM, infratuzilma) nazarda tutadi. Ammo real o'sish siyosat zarbalari, iqlim migratsiyasi, iqtisodiy tanazzul yoki pandemiya tufayli og'ishi mumkin. Ushbu fikr-mulohazalar kengayish traektoriyalarini chiziqli bo'lmagan tarzda o'zgartirishi mumkin. Shuning uchun stsenariy natijalarini deterministik prognozlar emas, balki shartli hikoyalar sifatida ko'rish kerak.

Garchi biz bir nechta model variantlari va parametr chizmalarini o'rganayotgan bo'lsak-da, tizimli tanlovlar (masalan, logistika va o'tish funktsiyalarini kuchaytirish, yamoq birlashuv qoidalari) muqobil fazoviy traektoriyalarni berishi mumkin. Sezuvchanlik tahlili shuni ko'rsatadiki, "sakrashga moyillik" va "konversiya narxi" ni nazorat qiluvchi parametrlar yashash joylarini yo'qotish farqlarini boshqarishda eng ta'sirli omillardan biridir. Ansamblning ko'proq xilma-xilligi va "modellarni yig'ish" yondashuvlari tizimli ortiqcha ishonchni yumshatishga yordam beradi.

Bizning prognozlarimiz tarixiy davrlardan sozlangan statsionar munosabatlarni (masalan, UHI miqyosi, gidrologik javob) nazarda tutadi. Ammo iqlim o'zgarishi sharoitida yog'ingarchilik rejimlari, haddan tashqari issiqlik va tayanch oqimlari funktsional munosabatlarni o'zgartirishi mumkin.

Dinamik iqlimiy drayverlarni (masalan, evapotranspiratsiya koeffitsientlarini o'zgartirish, yog'ingarchilik intensivligini o'zgartirish) proyeksiya modullariga kiritish istiqbolli kengaytma hisoblanadi.

Oldinga qarab, agar global urbanizatsiya yuqori o'sish yo'lida davom etsa (SSP3 ga o'xshash), biz 2100 yilga kelib:

Tropik va subtropik biologik xilma-xillikning issiq nuqtalarida jamlangan, global miqyosda qo'shimcha ~ 50-60 Mga tabiiy yer konvertatsiyasi.

Tez o'sib borayotgan shaharlarda UHI kuchayishi, ba'zi hollarda, ayniqsa, mussonli hududlarda, qo'shni qishloq joylaridan +2,0-2,5 °C ga etadi.

Shahar atrofidagi havzalardagi gidrologik ko'tarilish nuqtalari - ko'plab suv havzalari infiltratsiya hukmron bo'lgan suv oqimi hukmron bo'lgan rejimga o'tadi, suv toshqini xavfi va ifloslantiruvchi moddalar yukini $>60\%$ ga oshiradi.

Yo'qotilgan biomassadan ko'paygan uglerod chiqindilari (kümülatif 0,3-0,6 Gt C) va sovutish uchun yuqori energiya, bu urbanizatsiya-iqlim aloqa zanjirini kuchaytiradi.

Aksincha, ixcham + tranzit + ekologik rayonlashtirish strategiyasiga muvofiq (bu SSP1ga o'xshash ambitsiyalarga yaqin bo'lishi mumkin) biz yashash muhitini konvertatsiya qilishda $\sim 35\text{--}50\%$ yumshatishni, UHIn $\sim +1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha oshirishni va gidrologik buzilishlarni sezilarli darajada kamaytirishni prognoz qilamiz - bu natijalar hali ham jiddiy strukturaviy tiklanish va potentsial tarzda boshqarilishi mumkin.

Shu sababli, imkoniyatlar oynasi torayib bormoqda: o'zlarining kengayish traektoriyalarini faol ravishda boshqaradigan shaharlar kech tuzatishga nisbatan atrofmuhit xarajatlarini sezilarli darajada kamaytiradi. Kechiktirilgan ta'mirlash (masalan, ekologik ta'mirlash) ancha qimmat va samarasiz.

Xulosa

Katta shaharlarning kengayishi zamonaviy tsivilizatsiya yutuqlarini ham, qaramaqarshiliklarini ham o'zida mujassam etadi. Urbanizatsiya iqtisodiy o'sishni, innovatsiyalarni va ijtimoiy harakatchanlikni qo'zg'atsa-da, u bir vaqtning o'zida yerlarni konvertatsiya qilish, o'rmonlarni kesish va issiqxona gazlari emissiyasini ko'paytirish orqali atrof-muhit degradatsiyasini kuchaytiradi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Iqtisodiy va ijtimoiy masalalar bo'yicha departamenti (UN DESA, 2024) ma'lumotlariga ko'ra, 2050 yilga kelib dunyo aholisining taxminan 68 foizi shaharlarda yashaydi - bu misli ko'rilmagan kontsentratsiya bo'lib, butun dunyo bo'ylab shaharlar maydonini 50- 70 foizga oshirishni talab qiladi. Ayniqsa, Osiyo va Afrikaning jadal rivojlanayotgan mintaqalarida keng tarqalgan bu kengayish modeli ekologik nomutanosiblikni kuchaytirishi va shahar barqarorligi tizimlarini zo'riqishiga tahdid soladi.

Empirik tadqiqotlar shaharning kengayishi global ekologik o'zgarishlarga sezilarli hissa qo'shishini tasdiqlaydi. Iqlim o'zgarishi bo'yicha hukumatlararo panel (IPCC, 2023) hisob-kitoblariga ko'ra, shaharlar global CO_2 chiqindilarining deyarli 75%, birinchi navbatda, transport, qurilish va energiya iste'moli hisobiga to'g'ri keladi. Xuddi shunday, Wei va boshqalar. (2023) 2000 yildan 2018 yilgacha global shahar yer qoplami ikki baravar ko'payib, Yer yuzasining 0,32% dan 0,66% gacha ko'tarilganini aniqladi. Umumiy ijtimoiy-iqtisodiy yo'llar (SSP) stsensariylari bo'yicha ishlab chiqilgan

bashoratli modellar 2100-yilga borib, global shahar erlari 36–74 million gektarga kengayishi mumkinligini ko'rsatadi (Chjou va boshq., 2022), bu esa yashash muhitining sezilarli parchalanishiga va biologik xilma-xillikning yo'qolishiga olib keladi.

Shunga qaramay, barqarorlikka yo'naltirilgan shahar siyosati bu traektoriyani o'zgartirishi mumkin. Yilni shahar dizayni, qayta tiklanadigan energiya integratsiyasi va yashil infratuzilmani rivojlantirish asrning o'rtalariga kelib aholi jon boshiga emissiyani 45% gacha kamaytirish potentsialini namoyish etdi (OECD, 2024). Bundan tashqari, aqlli shahar texnologiyalari va ekologik rayonlashtirish fazoviy rejalashtirishni optimallashtirishi mumkin, bu esa kelajakdagi shahar o'sishi atrof-muhitni tashish qobiliyati va sayyora chegaralariga mos kelishini ta'minlaydi.

Xulosa qilib aytadigan bo'lsak, yirik shaharlar kengayishining ekologik oqibatlari urbanizatsiyaning o'ziga emas, balki jamiyatlar uni qanchalik samarali boshqarishiga bog'liq.

Kelajakdagi shahar rivojlanishida ekologik barqarorlik, aylanma iqtisodiyot modellari va iqlimga moslashish strategiyalari ustuvor bo'lishi kerak. Agar bu yondashuvlar qat'iy amalga oshirilsa, shaharlarni atrof-muhit degradatsiyasining asosiy omillaridan barqarorlik uchun katalizatorga aylantirishi mumkin. Shu sababli, shaharlarning kengayishi endi muqarrar ekologik tahdid sifatida emas, balki sayyora va kelajak avlodlar farovonligi uchun inson va atrof-muhit o'rtasidagi o'zaro munosabatlarni qayta loyihalash imkoniyati sifatida qaralishi kerak.

Adabiyotlar

1. Iqlim o'zgarishi bo'yicha hukumatlararo panel. (2023). Oltinchi baholash hisoboti: Iqlim o'zgarishini yumshatish. Kembrij universiteti nashriyoti.
2. Iqtisodiy hamkorlik va taraqqiyot tashkiloti. (2024). Global shaharlarda shahar barqarorligi va yashil o'tish. OECD nashriyoti.
3. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Iqtisodiy va ijtimoiy masalalar departamenti (UN DESA). (2024). Jahon urbanizatsiya istiqbollari: 2024 yilga qayta ko'rib chiqish. Birlashgan Millatlar Tashkiloti.
4. Vey, Y., Chjan, X. va Liu, S. (2023). 2000 yildan 2018 yilgacha shahar erlarini kengaytirishning global naqshlari: Barqaror rejalashtirish uchun ta'sir. Yerdan foydalanish siyosati, 129, 107068. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.107068
5. Chjou, Y., Seto, K. C. va Guneralp, B. (2022). SSP stsenariylari ostida shaharning kengayishi va uning ekologik oqibatlari. Nature Communications, 13(1), 1743. https://doi.org/10.1038/s41467-022-29324-2