



UO'K: 504.062: 528.942

MSPA-MCR MODEL ASOSIDA EKOLOGIK KARKASNI SHAKLLANTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH MEZONLARI**КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ MSPA–MCR****CRITERIA FOR THE FORMATION AND OPTIMIZATION OF THE ECOLOGICAL NETWORK BASED ON MSPA–MCR MODELS****Abduganiev Olimjon Isomiddinovich¹** ¹Farg'ona davlat universiteti Geografiya kafedrası professori, DSc**Komilova Tursunoy Dilmurodjon qizi²** ²Farg'ona davlat universiteti mustaqil izlanuvchisi

Orcid ID: 0009-0007-1159-937

Annotatsiya

Mazkur tadqiqotda MSPA va MCR modellariga asoslangan ekologik tarmoqni shakllantirish va optimallashtirish mezonlari ilmiy asosda bayon etilgan. MSPA modeli landshaft tuzilmasini morfologik tahlil qilish orqali ekologik yadrolar, yo'laklar va izolyatsiyalangan fragmentlarni aniqlash imkonini beradi. MCR modeli esa antropogen va tabiiy omillar ta'sirida shakllanuvchi kumulyativ qarshilikni baholash orqali hududdagi ekologik bog'lanishlarni aniqlashga xizmat qiladi. Shuningdek, ekologik yo'laklarning optimal joylashuvini belgilash va tabiiy landshaftlarning yaxlitligini ta'minlashda MSPA–MCR modellarining qo'llash imkoniyatlari tahlil etilgan. Ushbu yondashuvlar asosida ekologik tarmoq elementlarini samarali rejalashtirish, biologik xilma-xillikni muhofaza qilish hamda hududlarning barqaror rivojlanishini ta'minlash imkoniyatlari baholangan.

Аннотация

В данном исследовании научно обоснованы критерии формирования и оптимизации экологической каркаса на основе моделей MSPA и MCR. Модель MSPA посредством морфологического анализа ландшафтной структуры позволяет выявлять экологические ядра, коридоры и изолированные фрагменты, тогда как модель MCR используется для оценки экологической связности с учётом различных антропогенных и природных факторов сопротивления на основе принципа минимального кумулятивного сопротивления. Также проанализированы возможности применения моделей MSPA–MCR для определения оптимального расположения экологических коридоров и обеспечения целостности природных ландшафтов. На этой основе рассмотрены перспективы эффективного планирования элементов экологической сети, сохранения биоразнообразия и обеспечения регионального устойчивого развития.

Abstract

This study scientifically substantiates the criteria for the formation and optimization of ecological networks based on MSPA and MCR models. The MSPA model, through morphological analysis of landscape structure, allows the identification of ecological cores, corridors, and isolated fragments, while the MCR model serves to assess ecological connectivity by considering various anthropogenic and natural resistance factors through the principle of minimum cumulative resistance. Furthermore, the possibilities of applying MSPA–MCR models to determine the optimal placement of ecological corridors and to ensure the integrity of natural landscapes have been analyzed. On this basis, opportunities for effective planning of ecological network elements, biodiversity conservation, and ensuring regional sustainable development have been considered.

Kalit so'zlar: ekologik karkas, MSPA, MCR, minimal kumulyativ qarshilik, landshaft strukturasi, ekologik yo'lak, bioxilma-xillik, barqaror rivojlanish.

Ключевые слова: экологическая каркас, MSPA, MCR, минимальное кумулятивное сопротивление, структура ландшафта, экологический коридор, биоразнообразие, устойчивое развитие.

Key words: ecological network, MSPA, MCR, minimum cumulative resistance, landscape structure, ecological corridor, biodiversity, sustainable development.

KIRISH

Yer sayyorasida global ekologik o'zgarishlarning so'nggi kompleks tahlillari insonning antropogen faoliyati tobora kuchayib, yangi geoxronologik bosqich – "Antropotsen" davrini shakllanib borayotganligini ko'rsatmoqda [17, 26]. Bu davrning eng muhim jihatlaridan biri jadal urbanizatsiya jarayonlari bo'lib, oxirgi o'n yilliklarda misli ko'rilmagan sur'atlarda kechmoqda [32]. Yerdan foydalanishdagi jadal o'zgarishlar landshaft tuzilmalarining transformatsiyasiga hamda bir qator ekologik muammolarning keskinlashishiga sabab bo'lmoqda. Bu borada biologik turlarning yashash muhitlarining fragmentatsiyasi [23], biologik xilma-xillikning yo'qotilishi [16, 8] va ekotizim xizmatlarining degradatsiyasi [2] kabi muammolar dolzarb hisoblanadi.

Xalqaro hamjamiyat tomonidan qabul qilingan "Dunyoni o'zgartirish – Barqaror rivojlanish bo'yicha 2030 yil kun tartibi" doirasida quruqlikdagi geotizimlarni muhofaza qilish, tiklash, ularning yaxlitligi va barqarorligini ta'minlash, shuningdek, bioxilma-xillikning yo'qotilishini to'xtatish borasida aniq vazifalar belgilab berilgan [19, 18]. Biroq, METHLarni tashkil etish va tabiiy resurslarni tiklash borasidagi dastlabki loyihalar asosan alohida obyektlar va hududlarni muhofaza qilishga qaratilgan bo'lib, geotizimlar yaxlitligi va landshaft miqyosidagi ekologik bog'liqlikni ta'minlash kabi masalalarga yetarlicha hisobga olinmagan [1, 34, 37, 27]. Bu o'z navbatida, ekologik tarmoqlar va yashil infratuzilmalarni yaratish kabi samarali strategiyalarni landshaft rejalashtirish asosida ishlab chiqishni talab etmoqda. Ekologik tarmoqlarni shakllantirish bo'yicha 1970-yillardan boshlab olib borilgan tadqiqotlar, asosan, biologik xilma-xillikni saqlash, geotizimlarni muhofaza qilish hamda ular o'rtasidagi ekologik aloqadorlikni ta'minlash bilan bog'liq nazariy va amaliy muammolarni hal etishga qaratilgan bo'lib, bu jarayonda ekologik tarmoqlar konsepsiyasi bosqichma-bosqich takomillashib bordi [21, 14, 1].

Ekologik tarmoqlar konsepsiyasining rivojlanishi 1980–1990-yillarda yangi bosqichga ko'tarildi. Bu davrda tadqiqotchilar ekologik yo'laklar va markaziy yadrolarning turlar migratsiyasi, populyatsiyalar genetik almashinuvi va biotik barqarorlikni ta'minlashdagi o'rnini chuqurroq tadqiq eta boshladilar. Shu bilan birga, landshaft ekologiyasidagi "landshaft aloqadorligi" tushunchasi ekologik tarmoqlarning nazariy-metodologik asosini mustahkamladi. Natijada, ekologik tarmoqlar nafaqat muhofaza etiladigan hududlar o'rtasida biologik xilma-xillikni saqlash vositasi, balki mintaqaviy rivojlanish, tabiiy resurslardan barqaror foydalanish va inson faoliyati bilan tabiat o'rtasidagi muvozanatni ta'minlashning muhim mexanizmi sifatida qarala boshlandi.

Ekologik tarmoqlar konsepsiyasi 2000-yillardan boshlab xalqaro miqyosda yanada rivojlanib, yirik xalqaro dasturlar doirasida nazariy asoslari boyitildi va amaliy qo'llanish sohalari kengaytirildi. Masalan, Yevropa Ittifoqida qabul qilingan Pan-European Ecological Network (PEEN) dasturi, Green Infrastructure va Nature-Based Solutions (NBS) konsepsiyalari ekologik tarmoqlarning amaliyotdagi ahamiyatini yanada oshirdi. Bu yondashuvlar biologik xilma-xillikni muhofaza qilish bilan birga, inson uchun muhim ekosistema xizmatlarini ta'minlashga yo'naltirildi. Shu bilan birga, ekologik tarmoqlarni rejalashtirish va boshqarish jarayonida GIS va modellashtirish texnologiyalari orqali baholash keng qo'llanila boshlandi. Mazkur tadqiqotlarda markaziy yadrolarni aniqlash, landshaftlar o'rtasidagi bog'lanish va qarshilik sirtini baholash jarayonlarini modellashtirish orqali ekologik tarmoqlarni takomillashtirishga e'tibor qaratilmoqda. Jumladan, turli tadqiqot vositalari yaratilmoqda, masalan, MCR (Minimal Cumulative Resistance/Minimal Kumulyativ Qarshilik) va MSPA (Morphological Spatial Pattern Analysis/Hududiy tuzilmalarning morfologik tahlili) modellari, ekotizim qiymatini baholash, zanjir nazariyasi, tarmoq tahlili va boshq. [27, 38, 29]. Xorijiy tajribada MSPA-MCR modeli landshaft rejalashtirish dasturlarining asosiy qismi sifatida ekologik tarmoqlarni loyihalashda keng qo'llanilmoqda. Modelning yuqori samaradorligi yerdan foydalanish tuzilmasini ekologiyalashtirishda landshaft yondashuvi bilan uzviy bog'liqligi va amaliy jihatlarining ustuvorligi bilan izohlanadi. Landshaft yondashuvi hududiy ekologik barqarorlikni ta'minlash, turli biotik va abiotik omillar o'zaro bog'liqligini hisobga olish hamda yer resurslaridan maqbul foydalanish imkoniyatlarini yaratib berishi bilan alohida ahamiyat kasb etadi.

Shu bois, MSPA–MCR modeli nafaqat ekologik tarmoqlarning hududiy tuzilishini aniqlashda, balki ularning funksional birligi va uzluksizligini ta'minlashda ham samarali vosita sifatida qo'llaniladi. Bu esa o'z navbatida, landshaft rejalashtirishning amaliy dasturlari orqali ekologik infratuzilmani shakllantirish, tabiiy hududlarni uzluksiz ekologik bog'lanishni ta'minlovchi "yashil yo'laklar"ni tashkil etish va hududiy rivojlanish strategiyalarini samarali amalga oshirish uchun zamin yaratadi. Shu bois, ekologik tarmoqlar nafaqat tabiiy hududlarni muhofaza qilish

GEOGRAFIYA

vositasi, balki shahar va qishloq infratuzilmasi bilan integratsiyalashgan holda barqaror hududiy rivojlanish strategiyasining ajralmas qismi sifatida baholanib kelinmoqda. Xususan, Shimoliy va Markaziy Yevropada yashil yo'laklar orqali transchegaraviy ekologik aloqalarni ta'minlash, Osiyo mamlakatlarida esa landshaft-biogeografik xususiyatlarga asoslangan milliy ekologik tarmoqlarni yaratish tajribalari ilmiy-nazariy va amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYASI

MSPA-MCR modellari asosida ekologik tarmoqlarni shakllantirish so'nggi yillarda landshaft ekologiyasi va landshaft rejalashtirish sohalarida eng samarali yo'nalishlardan biri hisoblanmoqda. MSPA-MCR modellarini qo'llash bo'yicha eng ko'p tadqiqotlar Xitoyda olib borilayotgan bo'lsa-da, bu modellarga asoslangan dastlabki metodologik ishlar Yevropa Ittifoqi, AQSh universitetlarining landshaft ekologiyasi, geoinformatika hamda shaharsozlik yo'nalishidagi olimlar tomonidan yaratilgan va rivojlantirilgan.

Masalan, McRae B.H. et al. (2008), P.Soille, P.Vogt (2009, 2022), J.D.Wickham et al. (2010), Cardinale B.J. et al. (2012), Wade Alisa A., et al. (2015), P.Vogt, K.Riitters (2017), C.Kremen, A.Merenlender (2018) kabi tadqiqotchilar landshaft strukturasi tahlil qilish va uzluksiz yashil yo'laklarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega bo'lgan MSPA modelining matematik va dasturiy asoslarini ishlab chiqdilar. Shuningdek, mazkur tadqiqot natijalari geotizimlar o'rtasidagi ekologik aloqadorlikni baholashga yo'naltirilgan MCR modelini amaliyotga joriy etishda muhim o'rin tutadi.

Xitoylik tadqiqotchilar (Zhu va boshq., 2020; Ye va boshq., 2020; Tang va boshq., 2021; Huang X. va boshq., 2021; Hu va boshq., 2022; Wang va boshq. 2023; Zhang va boshq., 2024; Yang, 2024; Guo va boshq., 2025; Tang va boshq. 2025) esa, so'nggi yillarda ushbu ikki MSPA va MCR modellarini integratsiya qilish orqali – katta hududlarda ekologik tarmoqlarni rejalashtirish va tabiiy landshaftlarning uzluksizligini baholashda eng samarali uslub sifatida qo'llamoqdalar. Rossiyada L.A.Petrov, E.Yu.Kolbovsky (2020), E.E.Mironova (2020), E.Yu.Kolbovsky (2022) kabi tadqiqotchilar tomonidan MSPA–MCR modellarini amaliyotga joriy etish va ularning turli landshaft-ekologik tahlillarda qo'llanishi faol olib borilmoqda.

Mazkur yo'nalishda ayniqsa ekologik karkasni shakllantirish, biologik turlar uchun ekologik yo'laklarni aniqlash, tabiiy hududlarning uzluksizligini baholash hamda urbolandshaftlarda yashil yo'laklarni rejalashtirish kabi masalalarda nazariy va amaliy tadqiqotlar keng yo'lga qo'yilgan. MSPA–bu landshaft tarkibidagi tabiiy va antropogen elementlarning hududiy shakli hamda ularning o'zaro aloqalarini tahlil qilishda qo'llaniladigan zamonaviy geoaxborot usulidir. MSPA asosan yirik miqyosli tabiiy geotizimlarning morfologik belgilari asosida tarkibiy qismlarini turli toifalarga ajratishga yordam beradi (1-jadval).

1-jadval**MSPA modeli asosida landshaftlarni ekologik tarmoqdagi funksiyasiga bo'yicha tavsiflanishi**

Ekologik tarmoq elementlari	Tavsifi
Core /Yadro	Bu keng va ichki qismida katta maydonga ega bo'lgan yirik tabiiy hududlar. Ularning ichki qismi chetki hududlardan yetarlicha uzoqroqda joylashgan. "Core" hududlar bioxilma-xillikni saqlash va turlarning yashashi uchun asosiy manba hisoblanadi. MSPA ularni landshaftning eng muhim "manba" (source) hududlari sifatida aniqlaydi.
Edge/Chetki zona	Bu katta "Core" maydonlarining tashqi chegarasi. Bu hududlar ichki maydonga qaraganda tashqi ta'sirlarga [masalan, inson faoliyati] ko'proq moyil bo'ladi. "Edge" effektlar ko'pincha turlar xilma-xilligiga va ularning o'zaro munosabatlariga ta'sir qiladi.
Perforation/ Delimitatsiya	Bu "Core" hududlarning ichida joylashgan demoiqtisodiy karkas elementlari (masalan, yo'llar, binolar va boshq.). Ular markaziy hududning yaxlitligini buzadi va uning ichki qismida "chetki" (edge) effektini keltirib chiqaradi.
Bridge	Bu ikki yoki undan ortiq "Core" hududlarni bir-biriga bog'laydigan yashil

/ekoko'prik	yo'laklar. "Bridge"lar turlarning migratsiyasi va genetik almashinuvi uchun juda muhim hisoblanadi. Ular ekologik tarmoqning ulanishini ta'minlovchi asosiy elementdir.
Loop /Halqalar	Bu "Core" hududlarni o'rab turgan yoki ularni o'zaro bog'lab, halqa shaklini hosil qiladigan ekoyo'laklar. Ular "Bridge" bilan bir qatorda ekotarmoqdagi ekologik bog'lanishini yaxshilaydi, lekin ko'pincha yanada murakkab shaklga ega bo'ladi.
Branch/ Shoxlanish	Bu "Core" hududlardan chiqib ketadigan, ammo boshqa hududga ulanmagan tor chiziqlar. Ular turlar uchun faqat bir tomonlama harakat yo'nalishini yaratadi va ekologik tarmoqning umumiy bog'lanishiga kamroq hissa qo'shadi.
Islet /"qo'riq"lar	Bular juda kichik va uzoqdagi izolyatsiyalangan tabiiy maydonlar yoki qo'riqlar. Ularning kengligi tanlangan tahlil parametridan kichikroq bo'ladi va shu sababli boshqa hududlar bilan bog'lanmagan. "Islet"lar kichik turlar uchun vaqtinchalik yashash joyi bo'lishi mumkin, lekin ularning ekologik tarmoqdagi ahamiyati past.

MSPA usuli yerdan foydalanishning rastrli ikkilik xaritalari asosida landshaft tuzilmasini aniq tasniflash va muhim turlar yashash joylarini aniqlash imkonini beradi [13, 35]. Bu metod landshaftlar o'rtasidagi ekologik bog'lanishini saqlash uchun ekologik karkasning asosiy elementlarini aniqlashga qaratilgan. MCR modeli esa turli tabiiy, tabiiy-antropogen va antropogen landshaftlar o'rtasidagi ekologik bog'lanishni kompleks tahlil qilish hamda landshaftlarning qarshilik sirtini baholash orqali ehtimoliy ekologik yo'laklarni belgilaydi [36, 33, 40]. MSPA va MCR modellarining integratsiyasi ekologik tarmoqlarni yaratish va optimallashtirish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

MSPA va MCR modellariga asoslangan yondashuv ekologik tarmoq elementlarini rejalashtirish va optimallashtirishda yuqori samaradorlikka ega. Mazkur modellar ekologik yadro va ekologik yo'laklarni aniqlashda samarali vosita hisoblanadi. Ayniqsa, ekologik karkasda turlar migratsiyasini yo'naltirish, ekologik yo'laklarni rejalashtirish va urbanizatsiya ta'sirini hisobga olishda keng qo'llaniladi. Model karkas elementlari (markaziy yadro va ekologik qayta tiklanish hududlari)ni bog'lovchi minimal qarshilikka ega ekoyo'laklarni aniqlaydi va ular orqali turlarning harakatlanish ehtimolini baholaydi. Bu nafaqat geotizimlarni muhofaza qilishda, balki yangi infratuzilma loyihalarini (aholi punktlari, avtomobil yo'llari, sanoat zonalari) ekologik moslashtirishda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

MCR modeli markaziy yadrolar o'rtasidagi eng kam qarshilikka ega yo'l yoki hududni aniqlash uchun turli landshaft omillarini hisobga oluvchi fazoviy tahlil vositasidir. U "manba-qabul qiluvchi" nazariyasiga asoslanib, biologik turning landshaft bo'ylab qanchalik oson harakatlanishini modellashtirish imkonini beradi. Model xaritada eng kam qarshilikka ega sirtini aks ettirib, ehtimoliy to'siqlarni aniqlash va ekologik karkasdagi muhim ekoyo'laklarni belgilashda xizmat qiladi.

Mazkur yondashuvlar xalqaro ilmiy hamkorlik va turli ilmiy maktablar tajribasini uyg'unlashtirish orqali ekologik tarmoqlar nazariyasini yanada rivojlantirishga xizmat qilmoqda. Ilmiy tajribalar shuni ko'rsatadiki, MSPA-MCR modeli mahalliy va mintaqaviy ko'lamda ekologik karkasni shakllantirishda ilmiy-nazariy va amaliy jihatdan ishonchli usul hisoblanadi.

Tadqiqot hududi sifatida Farg'ona viloyati tanlab olindi va quyidagi vazifalar belgilandi: landshaftlar o'rtasidagi ekologik bog'lanishlarni baholash; markaziy yadro funksiyasini bajaruvchi hududlarni aniqlash; landshaftlarning qarshilik sirtini tahlil qilish; MSPA va MCR modellari asosida ekologik tarmoqni shakllantirish; kichik tabiiy hududlarni qo'shish orqali ekologik karkas tarkibini optimallashtirish. Ushbu tadqiqot natijalari O'zbekiston Respublikasining boshqa ma'muriy-hududiy birliklarida ekologik karkasni rejalashtirish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Ekologik karkasni MSPA va MCR modellari asosida shakllantirish va optimallashtirish quyidagi ifodalar yordamida tahlil qilinadi:

1. **Landshaftlarning qarshilik sirtini aniqlash.** Qarshilik sirtiga asoslangan modellashtirish shunga asoslanadiki, turlar landshaft bo'ylab harakatlanganda faqat geografik

GEOGRAFIYA

masofaga emas, balki u yerdagi to'siq va qulayliklarga ko'ra ham yo'nalish tanlaydi. Qarshilik sirtini aniqlashga asoslangan ekologik bog'lanish modellari real geotizimlarda turlar harakatini tushunish va prognoz qilishda muhim hisoblanadi. U tabiiy, tabiiy-antropogen va antropogen landshaftlarni o'zaro bog'lab, landshaftning ekologik funksiyalarini saqlash hamda ularni moslashuvchan ravishda boshqarish imkonini beradi.

Bu yondashuv global iqlim o'zgarishi va antropogen ta'sir ortib borayotgan sharoitda dolzarb ahamiyat kasb etadi. Yer toifalaridagi antropogen yuk ko'rsatkichiga mos holda qarshilik indeksi ortib boradi, bog'lanish indeksi pasaydi. Demak tabiiy, antropogen yuk qanchalik yuqori bo'lsa, geotizimlar o'rtasidagi ekologik bog'lanish ko'rsatkichi ham shunchalik pasayib boradi. Bu model quyidagi komponentlarni o'z ichiga oladi:

–**Turlarga xos harakat xususiyatlari.** Har bir tur landshaftni o'ziga xos qabul qiladi qiladi. Masalan, o'rmon hayvoni uchun o'rmon qarshiligi past, cho'l hayvoni uchun esa yuqori bo'lishi mumkin.

–**Keng qamrovli hududiy ma'lumotlar.** Yerdan foydalanish, o'simliklar qoplami, relief, suv tarmoqlari, yo'llar kabi ma'lumotlar asosida landshaft xaritalari tuziladi.

–**Qarshilik sirtini baholash.** Landshaftning har bir maydoniga turlar harakati uchun qarshilik qiymati belgilanadi va bu qiymatlar modelning asosini tashkil etadi.

–**Ekoyo'lak modellari.** GIS asosidagi dasturlar orqali optimal yo'nalishlar va ekologik ahamiyatga ega yo'laklar aniqlanadi.

–**Ko'p turli va iqlimga moslashgan stsenariylar.** Modellar turli turlar va iqlim o'zgarishi sharoitidagi stsenariylar asosida ham qo'llanilib, kelajakdagi barqarorlik baholanadi.

Biologik turlarning aloqalariga, dispersiyasiga va migratsiyasiga tabiiy sharoit va inson faoliyati qarshilik omillari sifatida jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Bu borada landshaftlarning qarshilik hisobga oluvchi MCR modeli bu jarayonni baholashda muhim o'rin tutadi. Ushbu model asosida turlarni bir manbadan ikkinchi manbaga ko'chishda yuzaga keladigan to'siqlarni aniqlash mumkin (3, 4, 26, 41, 33). MCR modeli quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=m}^{i=n} (D_{ij} \times R_i) \quad (1)$$

Bu yerda: f_{\min} – musbat korrelyatsiya funksiyasini ifodalaydi; D_{ij} – i va j uchastkalar orasidagi masofa; R_i – landshaft turi/toifasi i uchun qarshilik koeffitsiyenti; n – hisobga olinayotgan landshaft birliklarining umumiy soni yoki manzil nuqtasi; m – MCR hisoblash jarayonida manba nuqtasi (boshlanish nuqtasi) sifatida qaraladi. Bu formula MCR – eng kam qarshilikni hisoblash uchun qo'llaniladi. Ya'ni, biologik tur yoki modda va energiya (masalan, mineral, suv, havo) manbadan boshqa manbaga eng kam qarshiliksiz yetib borishini aniqlash uchun ishlatiladi (36, 40, 15, 10, 41).

Agar qarshilik qiymati past (masalan, R=10–30) bo'lsa, bu turlar uchun o'sha landshaft orqali harakat qilish oson ekanligini anglatadi; Agar qarshilik qiymati yuqori (R=80–100) bo'lsa, bu o'sha hudud orqali harakat juda qiyin yoki imkonsiz ekanligini bildiradi. Shu tariqa, MCR qiymati qanchalik kichik bo'lsa, markaziy yadrolar va tabiiy landshaftlar o'rtasidagi ekologik bog'lanish darajasi shunchalik yuqori hisoblanadi. Aksincha, MCR qiymati yuqori bo'lsa, bu biologik bog'lanishning kuchsizligini yoki turlarning harakatida jiddiy to'siqlar mavjudligini ko'rsatadi. Ushbu model ArcGIS yoki QGIS dasturlaridagi Cost Distance, Cost Path, va Least-Cost Corridor modullari orqali amaliy tatbiq etiladi. MCR yordamida ekologik yo'laklar va turlar migratsiyasini qo'llab-quvvatlovchi hududlar ilmiy asosda shakllantiriladi.

Ekologik bog'lanish jarayonida turlar harakatlanishi uchun ular ekologik manbalar o'rtasidagi qarshiliklarni yengib o'tishlari kerak bo'ladi. Yerdan foydalanish turlari ham turli darajada qarshilik sirtini shakllantiradi. Shuningdek, balandlik ham harakatga ta'sir ko'rsatadi: agar turlar o'xshash balandlikda ko'chsa, ularning o'tish imkoniyati yuqori bo'ladi. Nishablik asosan yonbag'ir jarayonlarni keltirib chiqaruvchi omil sifatida baholanadi. Masalan, surilma, ko'chkilarni paydo bo'lishi, eroziya kabi ekologik muammolar bilan bog'liq bo'lib, u ham biologik turlarni dispersiyasiga va harakatiga ta'sir ko'rsatadi. NDVI (o'simlik qoplami indeksi) bo'yicha esa – indeks qancha yuqori bo'lsa, qarshilik shuncha past bo'ladi. Shuning uchun beshta asosiy ta'sir etuvchi omil tanlandi: Yerdan foydalanish turi; NDVI; balandlik; nishablik va relyefning o'zgaruvchanligi (2-jadval).

MSPA-MCR modeliga asoslangan tadqiqot natijalaridan foydalanib geotizimlarda qarshilik sirtini belgilovchi omillar, vaznlar va koeffitsiyentlar aniqlandi. Turli qarshilik omillari turli miqyos va birliklarda bo'lgani bois ularni hisoblashda standartga keltirish talab etiladi. Bu barcha omillarni bir xil shkalaga (odatda 0–1 yoki 1–100 oralig'iga) keltirish jarayoni bo'lib, quyidagi formulalardan foydalaniladi:

Musbat masshtab MMS:

$$\text{Min Max Scaler (MMS): } (X - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min}) \quad (2)$$

Manfiy masshtab NMMS:

$$\text{Negative Min Max Scaler (NMMS): } (\text{Max} - X) / (\text{Max} - \text{Min}) \quad (3)$$

Aniqlanishicha, yerdan foydalanish turlari bo'yicha qarshilik darajalari u dan 100 gacha shkalada baholandi. Har bir qarshilik turi raster kalkulyator yordamida yagona o'lchov birligiga keltiriladi. Keyingi bosqichda ArcMap dasturining cost-distance vositasi orqali beshta omilga oid qarshilik yuzalari yaratildi (2-jadval). Ularni umumiy integral yuzaga birlashtirish quyidagi formula orqali amalga oshirildi: Integral qarshilik yuzasi = nishablik × 0.25 + balandlik × 0.10 + yer turi × 0.5 + Relyefning o'zgaruvchanligi × 0.15 + NDVI × 0.22. Ushbu formula orqali minimal qarshilik sirti hosil qilinadi. Shu asosda qiymatli masofa rasteri va "Eng kam qarshilik yo'nalishi" aniqlanadi.

2-jadval

Geotizimlarda qarshilik sirtini belgilovchi omillar, vaznlar va koeffitsiyentlar

Qarshilik omili	Vazn	Klassifikatsiya mezonlari	Qarshilik koeffitsiyenti	Qisqa izoh
Yerdan foydalanish turlari	0.5	Aholi punktlari, ijtimoiy bino va imoratlar	90-100	Infratuzilma va shahar hududlari biologik turlar harakati uchun deyarli mutloq to'siq hisoblanadi. Yer qoplami sun'iy, tabiiy muhit bilan aloqa uzilgan.
		Qurilish yerlari va boshqa yerlar	70-80	Sanoat zonalari, chiqindixonalar va qurilish maydonlarida antropogen ta'sir yuqori. Biotik turlar uchun hayot sharoiti yomon, qarshilik juda yuqori.
		Avtomobil va temir yo'llar	50-70	Yo'llar geotizimlarni parchalaydi, hayvonlar migratsiyasi uchun xavfli va cheklovchi omil hisoblanadi. Qarshilik yuqori.
		Qishloq xo'jaligi yerlari	40-50	Sug'oriladigan yerlar va bog'lar tabiiy muhitdan farq qiladi, lekin ayrim turlar uchun o'tkazuvchanlik mavjud. Qarshilik o'rta darajada.
		Suv omborlari, kanallar va kollektorlar	30-40	Suv havzalari turlarga nisbatan turli darajada to'siq bo'lishi mumkin. Ayrim turlari uchun esa qulay muhit hisoblanadi.
		Ko'p yillik daraxtzor, o'tloq va botqoqlar	5-10	Tabiiy-antropogen landshaftlar (o'rmonzor, cho'l o'tloqlari)da modda va energiya almashinuvi faol. Turlar harakati uchun qulay muhit. Qarshilik past.
		Tabiiy landshaftlar	0-5	Biologik turlar uchun eng qulay muhit. Migratsiya, modda va energiya oqimi uzluksiz. Qarshilik eng past.
Balandlik (m)	0.1	< 500	10	Past va tekis hududlar. Biologik turlar migratsiyasi uchun qulay. Qarshilik juda past.
		500-1200	30	Adirlar va past tog' oldi hududlari. Biotik faoliyat barqaror, ammo ayrim turlar uchun moslashish biroz cheklangan. Qarshilik past.

GEOGRAFIYA

		1200 – 2000	50	O'rta tog' hududlari. Migratsiya imkoniyatlari qisman cheklangan, lekin ayrim yuqori biotik turlar moslashgan. Qarshilik o'rtacha.
		2000 – 3000	70	Yuqori tog' hududlari. Migratsiya imkoniyatlari cheklangan, siyrak archa o'rmonlari uchraydi. Qarshilik yuqori.
		> 3000	100	Alp tipidagi baland tog' hududlari. Migratsiya uchun noqulay muhit. Qarshilik juda yuqori.
Nishablik (°)	0.25	< 9	10	Turlar xarakati uchun kam qarshilik tug'diradi, erkin harakatlanishi mumkin. Migratsiya uchun eng qulay.
		9 – 18	30	Migratsiyada kichik to'siqlar kuzatiladi, lekin ko'p turlar erkin harakatlana oladi.
		18 – 27	50	Turlar harakatiga sezilarli ta'sir mavjud, lekin migratsiyani to'liq cheklamaydi.
		27 – 36	70	Yuqori. Biologik aloqalar cheklanadi va tarqalishi qiyinlashadi.
		> 36	100	Migratsiya deyarli to'xtaydi. Ko'p turlar bunday qiyaliklarni bosib o'tish imkoniyatiga ega emas.

jadval davomi

Qarshilik omili	Vazn	Klassifikatsiya mezonlari	Qarshilik koeffitsiyenti	Qisqa izoh
Relyefning o'zgaruvchanligi (m)	0.15	> 200	10	Quyi terrasalarning yassi tekisliklari. Qarshilik juda past, turlar migratsiyasi va ekotizimlar o'rtasidagi modda va energiya almashinuvi erkin. Bunday maydonlar ekokoridorlar uchun qulay.
		150 – 200	30	O'rtacha ko'tarilgan, biroz to'lqinli yoki qiya relyeflarga ega konussimon yoyilmalar. Qarshilik past-o'rta darajada. Biologik o'tkazuvchanlik saqlanadi, lekin energiya sarfi ortib boradi.
		100 – 150	50	Turli darajada parchalangan adir va adir orti tekisliklari. Relyef shakllari harakat uchun ma'lum darajada to'siq yaratadi.
		50 – 100	70	Yalang qoyalar va ular orasidagi tog' oraliq botiqlari. Qarshilik yuqori, turlar uchun tabiiy to'siqlar ko'p. Biologik yo'laklar cheklanadi.
		< 50	100	Kuchsiz ishqorlangan va kuchli yuvilgan, yirik skeletli va kuchli parchalangan chuqur jarliklardan iborat zonalar. Qarshilik juda yuqori. Ekologik tarmoqda bu maydonlar deyarli o'tmas hududlar sifatida baholanadi.
NDVI qiymati	0.22	≤ 0.1	90	O'simlik qoplami juda siyrak yoki umuman yo'q (shahar, yo'l, tog' yolg'iz qoyalar). Biologik turlar uchun moslashish juda qiyin, migratsiya to'siqqa uchraydi.

			Qarshilik juda yuqori.
	0.1 – 0.2	70	O'simlik siyrak, suv manbalari mavjud bo'lmagan chala cho'l landshaftlari. Biotik faollik past, lekin ayrim turlar uchun o'tkazuvchanlik mavjud. Qarshilik yuqori.
	0.2 – 0.3	50	O'rtacha o'simlik qoplamiga ega. Bu yerlarda ekologik tizim qisman tiklangan, turlar harakati uchun ma'lum darajada qulay mavjud. Qarshilik o'rtacha.
	0.3 – 0.4	30	Zich o'simlik qoplamiga ega. Modda va energiya ayirboshlanishi faol, biologik yo'laklar shakllangan. Qarshilik past.
	> 0.4	10	Barqaror o'simlik qoplamiga ega. Biotik migratsiya uchun eng qulay muhit, modda va energiya oqimi uzluksiz. Qarshilik eng past.

Farg'ona vodiysida biologik bog'lanishni ta'minlash uchun landshaft strukturasi qarshilik xususiyatlarini ham tahlil qilish muhim. Yuqoridagi jadvallardan ko'rinib turibdiki: o'rmon hududlari va daryo bo'ylari biologik harakat uchun eng qulay zonalar sanaladi. Ular orqali turlar o'zining genetik almashinuvini saqlash mumkin. Lekin, Farg'ona viloyatidagi daryolar va tabiiy o'rmonlarda ekologik bog'lanish yaxlit emas. Daryolarning deyarli barchasi Sirdaryoga yetib bormaydi. Daryo tizimlari tog' bilan adir mintaqasi o'rtasidagi ekologik bog'lanishni yaxshi ta'minlagan bo'lib, cho'l mintaqasida bu ko'rsatkich juda past.

Demoiqtisodiy karkas elementlaridan ijtimoiy binolar, imoratlar, transport yo'llari yuqori qarshilikka ega bo'lib, bu landshaftlardagi ekologik bog'lanishni keskin pasaytiradi. Ayniqsa, Farg'ona viloyatidagi shaharlashgan hududlar biologik turlar harakati uchun 100 % to'siq sifatida namoyon bo'ladi. Sug'oriladigan yerlar o'rtacha qarshilikka ega bo'lib, ularda ekologik yo'laklarni tashkil etish mumkin. Sug'oriladigan yerlar tarkibida uchraydigan turli kattalikdagi qo'riq yerlarni saqlab qolish, yashil himoya zonalarini, ixtazorlarni kengaytirish va bir-biriga bog'lash kabi qo'shimcha chora-tadbirlar talab etiladi.

Farg'ona viloyatida cho'l, adir va tog' mintaqalari bo'ylab daryo vodiylarini yaxlitligini ta'minlash, o'rmon hududlarini asosiy ekologik yo'lak sifatida saqlash va bir biriga to'liq bog'lash talab etiladi. Yuqori qarshilik sirtiga ega bo'lgan demoiqtisodiy karkas tarkibida "yashil zonalar"ni tashkil etilishi maqsadga muvofiqdir. GIS asosida "eng qulay yo'l" modellari qo'llanilib, migratsiya uchun qulay yo'nalishlarni aniqlash va bu asosida ekologik yo'laklarni loyihalashtirish taklif etiladi. Farg'ona vodiysidagi landshaft turlari bo'yicha qarshilik sirti indeksi 0 dan 100 gacha bo'lgan shkalada baholangan (2-jadval). Bu baholashda quyidagi asosiy omillar inobatga olindi: relyefning nishabligi va parchalanganlik darajasi, geologik tuzilishi, eroziya va denudatsiya jarayonlarining faolligi hamda har qanday biologik bog'lanishni ta'minlashdagi o'tkazuvchanlik.

Mazkur modelda O.I.Abdug'aniyev (2024) tomonidan ajratilgan Farg'ona vodiysi landshaft toifalari asos qilib olindi hamda ularning har biri uchun qarshilik sirti indeksi belgilandi. Bu indeks asosida landshaft toifalari turlar harakatini qanchalik qarshilik qilishi 0 dan 100 gacha shkalada baholangan. Modelda ekologik bog'lanish samaradorligi "100 – qarshilik indeksi" formulasi asosida aniqlanadi. Bu indekslar biologik turlarning harakati, ekoyo'laklar orqali o'tish imkoniyatlari, landshaftning tabiiyligini saqlanishi, antropogen ta'sir darajasi hamda geomorfologik xususiyatlardan kelib chiqib belgilanadi. Qiymatlar 1 (eng kam qarshilik) dan 100 (eng yuqori qarshilik)gacha bo'lgan shkalada berilgan. Samaradorlik qanchalik yuqori bo'lsa, turlar o'sha hudud orqali oson ko'chadi va genetik bog'lanish saqlanadi.

Farg'ona viloyatida ekologik karkasni shakllantirishda Sirdaryo vodiysi, qayiqlari, adirlararo tekisliklar, konussimon yoyilmalar va suv manbalariga asosiy ekologik yo'laklar sifatida qaralishi lozim. Sirdaryo va uning terrasalari Farg'ona vodiysidagi asosiy magistral ekologik yo'lak sifatida saqlanishi va mustahkamlanishi kerak. Baland va o'rta tog'lar atrofida turlar migratsiyasini yengil-

GEOGRAFIYA

lashtiruvchi “yashil bog‘lovchi elementlar” joriy etilishi lozim. Bu turlarning bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga qadar borishi uchun eng kam to‘siqlarga ega yo‘llarni aniqlash oqali belgilanadi. GIS platformasida “Circuitscape” va “Least-Cost Path Analysis” (LCPA– eng samarali (xavfsiz) yo‘l) kabi vositalar yordamida aniq ekologik yo‘laklar xaritasi va muhofaza choralari ishlab chiqilishi tavsiya etiladi.

“Circuitscape” – elektr zanjiri nazariyasiga asoslangan model. Turlarning harakatini elektr toki oqimidek tasavvur qilinadi. Ya‘ni, landshaft elementlarini qarshilik va o‘tkazuvchanlik xususiyatlariga e‘tibor qaratiladi. Bu vosita orqali biologik turlarning harakati va ekologik jarayonlar landshaft orqali qay tarzda kechishi baholab chiqiladi. Oxirida, eng qulay yoki xavfsiz hudud orqali harakat yo‘llari belgilanadi va har bir markaziy yadrodan ikkinchisigacha harakatlanish jarayoni to‘liq modellashtiriladi. Ushbu jarayonda olingan natijalar asosida so‘nggi ekoyo‘laklar shakllantiriladi.

2. Probability Connectivity Index/Landshaft bog‘lanishining ehtimollik indeksi (PC) – Landshaftlarning morfologik birliklari o‘rtasidagi bog‘lanishni aniqlash uchun ishlatiladi. Bu indeks quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} \times a_i \times a_j}{A_L^2} \quad (4)$$

bu yerda, n – geotizimdagi patch/markaziy yadrolar (bitta landshaft toifasi bo‘yicha olinadi) soni; a_i va a_j mos ravishda i va j – bu landshaftda aniqlangan markaziy yadrolarning maydonlarini bildiruvchi qiymatlar. A_L – landshaft turining umumiy maydonini; P_{ij} – i va j markaziy yadrolar orasidagi maksimal bog‘lanish ehtimolini ifodalaydi. Maydon (a_i va a_j) – landshaftdagi ekologiya nuqtai nazaridan markaziy yadrolarning miqdoriy yoki hududiy imkoniyatlarini ko‘rsatadi. Masalan, katta maydonga ega markaziy yadrolar ko‘proq turlar xilma-xilligini saqlaydi, tabiiy resurslarga boy bo‘ladi va ekologik bog‘lanishda muhim rol o‘ynaydi.

PC indeksi turli markaziy yadrolar o‘rtasidagi turlarning dispersiyasi, migratsiyasi yoki modda va energiya almashuvining ekoyo‘laklar orqali umumiy bog‘lanish darajasini ko‘rsatadi. Qiymat qanchalik katta bo‘lsa, landshaftdagi ekologik bog‘lanish shunchalik yuqori bo‘ladi. Ya‘ni, agar kartada 10 ta ekologik qiymati yuqori hudud yoki markaziy yadro aniqlangan bo‘lsa, har biri uchun uning maydoni (gektarda yoki kvadrat metrda) hisoblanadi [11, 29, 7, 6]. Mazkur hududlarning maydonlari quyidagi yo‘llar bilan aniqlanadi:

1. Remote sensing / masofadan zondlash GIS orqali: Sputnik suratlaridan yoki aerokosmik tasvirlardan O‘zbekiston Respublikasining yer fondini tashkil etuvchi asosiy yer toifalari ajratiladi va xaritalari ishlanadi. Masalan, “Core habitat”, “Grassland”, “Forest” va “Water body” kabi landshaft kategoriyalari poligon shaklida raqamlashtiriladi. Har bir poligonning maydoni avtomatik hisoblanadi. ArcGIS, QGIS, ENVI yoki ERDAS kabi dasturlar shu maqsadda ishlatiladi.

2. Yangi ishlangan kartalar yoki kadastr kartalari asosida: Hududlar kadastr yoki topografik xaritalarda belgilangan bo‘lsa, ularning maydoni planimetr yordamida yoki ma‘lum formulalar asosida hisoblanadi.

3. Rasterga asoslangan hisoblashlar: Agar tahlil raster formatda (masalan, 30 m × 30 m piksel) bo‘lsa: Bo‘lakdagi piksellar soni hisoblanadi. Maydon = piksellar soni × bir piksel 100). Masalan: 1000 ta piksel × 900 m² = 900,000 m² yoki 90 ga.

Dasturda i va j indekslari va ularning maydonlarini aniqlash mezonlari. Ekologik tarmoqlar tahlillarida landshaftdagi alohida uchastkalar “node” yoki “patch” sifatida modellashtiriladi. Bu uchastkalar o‘zaro bog‘lanuvchanlik tarmog‘ining elementlarini tashkil etadi va ularning o‘zaro aloqasi, masofasi yoki biologik dispersiya imkoniyati asosida tahlil etiladi.

i va j indekslari “node” yoki “patch”larning raqamli belgilari bo‘lib, ularning maydonlari va xususiyatlari quyidagi uslubda aniqlanadi: a_i – landshaftdagi i -raqamli uchastka (patch i) maydoni; a_j – landshaftdagi j -raqamli uchastka (patch j) maydoni. Bu yerda i va j “node” yoki “patch”larning turi, tabiati va funksiyasi bir-biridan farq qilishi mumkin:

1. i va j uchastkalarining tabiati. Landshaft-tahlil va ekologik tarmoq modellarida i va j ikkalasi ham tabiiy yoki tabiiy-antropogen landshaft turiga tegishli yoki turli landshaft toifalari va

tiplariga mansub bo'lishi mumkin. Masalan: i = o'rmon uchastkasi, j = o'tloq uchastkasi yoki i = adir landshaft turi, j = cho'l landshaft turi.

2. **Turli landshaft sinflaridagi i va j tanlanishi.** Misol uchun, landshaft sinfida «tekislik» va «tog'» kichik sinfi shakllangan bo'lsa: Tekislik sinfi o'z navbatida bir nechta landshaft guruhiga, landshaft turiga, landshaft toifalariga bo'linishi mumkin (masalan, erozion o'zanlar, akkumulyativ terrasalar va h.k.). Bu toifalarning har biri i yoki j sifatida belgilanadi. Mezon sifatida geografik ajralganligi va ularning funksiyasi hisobga olinadi: har bir landshaft toifa yoki uchastkasi «**patch**» sifatida alohida hisoblanadi. Ekologik modelda ularning maydonlari, joylashuvi va bog'lanuvchanligi hisobga olinadi.

3. **i va j maydonlarini aniqlash.** i va j maydonlari (a_i va a_j) quyidagicha aniqlanadi: a_i = i -uchastkaning maydoni (ga), a_j = j -uchastkaning maydoni (ga) GIS yordamida aniqlanadi. Landshaft kartalari ma'lumotlari asosida har bir «**node**» yoki «**patch**»larning yuzasi hisoblanadi. Masalan, i uchastkasi — o'rmon massivi bo'lib, 120 ga maydonga ega; j uchastkasi - o'tloq maydoni 80 ga.

4. **Antropogen landshaftlarning roli.** Antropogen landshaftlar (agokomplekslar, urbokomplekslar, avtomobil va temir yo'llar, industrial zonalar): Oddiy holda **patch** sifatida emas, balki **matrix** ya'ni, qarshilik sirti sifatida modelda kiritiladi. Ular ekologik bog'lanuvchanlikni pasaytiradi, bu landshaftda turli obyektlar (masalan, hayvonlar, suv, modda va energiya kabilar) harakatlanishi uchun turli miqyosda qarshilik ko'rsatuvchi yuza yoki muhitni anglatadi.

Shunday qilib, landshaft yondashuvi asosida ekologik tarmoqlarni tahlil qilishda i va j uchastkalar (**patch**) tabiiy yoki tabiiy–antropogen landshaft toifalari sifatida qaraladi. Ular xilma-xil landshaft turlari va toifalariga tegishli bo'lishi mumkin. Ularning maydonlari (a_i va a_j) geoaxborot tizimlari yordamida aniqlanadi va ekologik tarmoq modellarida landshaftlarning o'zaro bog'liqligini hisoblashda asosiy parametrlardan biri sifatida xizmat qiladi. Antropogen uchastkalar esa asosan qarshilik sirti sifatida baholanadi va i yoki j sifatida kiritilmaydi (2–jadval).

3. **Integral Index of Connectivity/Bog'lanishning integral indeksi (IIC)** landshaft ekologiyasida landshaftning o'zaro bog'liqligini miqdoriy jihatdan baholash uchun ishlatiladigan grafik asosidagi mezonlardir. Bu, ayniqsa, tabiatni muhofaza qilish rejalarini tuzishda va turlarning yashash joylarining bo'linishi kabi landshaftdagi o'zgarishlarning ta'sirini baholashda muhim vosita hisoblanadi. IIC turlar o'zlarining yashashi uchun mos keladigan areallar (markaziy yadrolar) o'rtasida qanday harakatlana olishini baholaydi hamda areallarning miqdori va hududiy joylashuvini ham hisobga oladi.

Pascual-Hortal va Saura (2006) fikricha, bu binar bog'lanishlar modeli asosida hisoblanadi, unda ikki markaziy yadro o'zaro bog'langan (to'g'ridan-to'g'ri ulangan) deb hisoblanadi, agar ular orasidagi masofa belgilangan dispersiya masofasidan kichik yoki teng bo'lsa – ular bog'langan hisoblanadi. Bu markaziy yadrodagi turlar asosida aniqlanadi. Agar, markaziy yadrolar o'rtasidagi masofa dispersiya masofasidan katta bo'lsa – ular bog'lanmagan hisoblanadi. Shu orqali landshaftdagi yopiq uchastkalardan iborat graf (to'r) strukturasi hosil bo'ladi. IIC quyidagi ifoda orqali hisoblab chiqiladi:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j / (1 + n l_{ij})}{A_L^2} \quad (5)$$

bu yerda: n – landshaft turidagi patch/markaziy yadrolar (landshaftlarning kichik turi va toifalari) soni; a_i va a_j mos ravishda i va j – bu landshaftdagi ikki xil markaziy yadroning maydonlarini bildiruvchi qiymatlar; $n l_{ij}$ – i va j uchastkalar o'rtasidagi eng qisqa yo'ldagi bog'lanishlar soni. Oddiy qilib aytganda, ekotarmoq ichida bitta yashash joyi(i)dan boshqasi yashash joyi(j)ga yetib borish uchun zarur bo'lgan minimal "yo'laklar" soni; Agar ikkita i va j uchastkalar o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri bog'lanish bo'lmasa, u holda IIC tenglamasining suratidagi $n l_{ij}$ (yo'llar soni) qiymati cheksizlikka ($n l_{ij}=\infty$) teng deb qabul qilinadi. Bu shuni anglatadi: agar ikki uchastka butunlay izolyatsiya qilingan bo'lsa va bir-biriga yetib borishning iloji bo'lmasa, ularning tenglamadagi bog'liqlikka qo'shgan hissasi 0 bo'ladi.

Bu $n l_{ij}$ cheksiz bo'lsa, uning o'zaro qiymati 0 ga teng bo'lishini anglatadi. Agar $i=j$ bo'lsa, u holda $n l_{ij}=0$ (o'zidan ma'lum bir markaziy yadroga yetishish uchun aloqalar kerak emas). IIC 0 dan

GEOGRAFIYA

1 gacha bo'ladi va qo'shimcha ulanish bilan ortadi. 0 ga yaqin bo'lsa, IIC yashash joylari o'rtasida bog'liqlik juda yomon yoki umuman yo'qligini ko'rsatadi. Agar, 1 ga yaqin bo'lsa, IIC yuqori bog'liqlikni, ya'ni uchastkalarining bir-biriga yaxshi bog'langanini ko'rsatadi. Agar, IIC=1 bo'lsa, butun landshaft yashash muhiti bilan band, ya'ni gipoteatik holatda. Unda landshaftning har bir qismi boshqa har bir qismga bog'langan bo'ladi, bu maksimal mumkin bo'lgan bog'liqlikni ifodalaydi [37, 39, 40].

Mohiyatiga ko'ra, IIC ekologlar va tabiatni muhofaza qilish mutaxassislarini uchun turli hududlarning bir-biriga qanchalik yaxshi bog'langanini miqdoriy jihatdan aniqlash uchun qimmatli vositadir. Bu turlarning harakati, genetik oqim va geotizimlarning umumiy barqarorligi uchun juda muhimdir. Yuqori qiymatga ega IIC odatda yanada mustahkam va chidamli ekologik tarmoqni anglatadi.

Tabiiy hududlar odatda «matrix» tarkibida «patch» ko'rinishida tarqalgan bo'ladi (masalan, o'rmon massivlari, botqoqliklar, METHLar va boshq.). Turlar «patch»lar orasida harakatlanishi, migratsiya qilishi kerak. Agar «patch»lar uzoq yoki ajralgan bo'lsa → migratsiya cheklanadi → genetik xilma-xillik kamayadi. Agar «patch»lar yaqin va bog'langan bo'lsa → migratsiya va turlarning tarqalishi oson bo'ladi → ekosistema barqaror bo'ladi. Masalan, tabiiy o'rmon massivlari yoki do'ng marza qumlar bir-biridan 1000 m teng bo'lsa va ulardagi turlar bu masofada erkin harakat qila olsa → IIC yuqori. Agar, tabiiy hududlar o'rtasidagi masofa 5 km bo'lsa, migratsiya cheklanadi → IIC past bo'ladi. Lekin, tabiiy hududlar o'rtasidagi masofa 1000 metrdan kichik yoki unga teng bo'lgan holda, demoiqtisodiy karkas elementlari bilan parchalangan bo'lsa, «patch»lar orasida bog'lanuvchanlik yo'qoladi → IIC yanada pasayadi.

4. Patch Importance Index/Landshaftni bog'lanishida markaziy yadro ahamiyatining indeksi (dPC). dPC – bu landshaft ekologiyasida qo'llaniladigan baholash usuli bo'lib, u ma'lum bir ekologik manbani, ya'ni turlarning yashash joyini butun landshaftdagi bog'lanuvchanlikka qanchalik ta'sir qilishini aniqlaydi. Agar biror “markaziy yadro”ni olib tashlasak, umumiy ekologik bog'lanuvchanlik qanchalik pasayadi – shunga qarab dPC hisoblanadi. Qiymati qanchalik yuqori bo'lsa, o'sha “markaziy yadro” ekologik karkasda shunchalik muhim hisoblanadi. Ushbu indeks muayyan markaziy yadro (patch) olib tashlanganda, umumiy tarmoq bog'lanuvchanligining qanday o'zgarishini ko'rsatadi va shu asosda har bir markaziy yadroning ekologik tarmoqdagi ahamiyati aniqlanadi. dPC quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$dPC_k = \frac{PC - PC_{remove,k}}{PC} \times 100\% \quad (6)$$

bu yerda: PC – asosiy ekologik tarmoqning umumiy bog'lanuvchanligi; $PC_{remove,k}$ – markaziy yadro olib tashlangandan so'ng qolgan tarmoqning bog'lanuvchanligi; dPC_k – k-markaziy yadroning ekologik tarmoqdagi nisbiy ahamiyati (%). Shunday qilib, markaziy yadro olib tashlanganda tarmoq bog'lanuvchanligi sezilarli kamaysa, u yuqori ahamiyatga ega deb baholanadi. Aksincha, olib tashlanganda tarmoqda deyarli o'zgarish bo'lmasa, bu markaziy yadroga past ahamiyatli deb qaraladi.

Conefor 2.6 dasturi orqali hisoblangan dPC landshaft turlarining ekologik oqim tarqalishiga qanchalik qulay yoki to'siq bo'lishini aniq aks ettira oladi. Tadqiqotchilar tomonidan 1500 metr masofani chegaraviy masofa sifatida belgilangan bo'lib, agar ikki markaziy yadro o'rtasidagi masofa ushbu chegaradan kichik bo'lsa, ular orasida tarqalish ehtimoli 0,5 deb olinadi (12, 11). Oxirida, tabiiy muhitning asosiy hududlari dPC ko'rsatkichi asosida beshta sinfga ajratiladi: juda yuqori, yuqori, o'rta, past, juda past. Bu ma'lumotlarni geografik tasvirlashda, ayniqsa, xaritalar yaratishda qo'llaniladigan statistik tasniflash usuli. Conefor 2.6 – landshaftlarning bog'lanuvchanligini tahlil qilish uchun dunyoda e'tirof etilgan dastur. U turlarning tarqalishi, migratsiyasi, genetik almashinuv va hududlar o'rtasidagi bog'lanish imkoniyatlarini aniqlashda juda qimmatli vosita hisoblanadi.

Biologik turlarning 1500 m chegaraviy masofasi va tarqalish ehtimoli. Bu – 1500 m markaziy yadrolar o'rtasida ekologik bog'lanish saqlanadigan masofa. Masalan, kichik sutemizuvchilar yoki hashorotlar uchun bu juda mos qiymat. Bu parametrlar turlar biologiyasi va harakat qobiliyatidan

kelib chiqqan holda belgilanadi. Formuladagi 1500 m chegaraviy masofa turlarning dispersiyasidan kelib chiqib o'zgarishi mumkin.

Natural Breaks (tabiiy dam olish nuqtalari) – jadval yoki ma'lumotlardagi keskin o'zgarish nuqtalarini avtomatik ravishda aniqlaydi. Bu usul dPC qiymatlarini tabiiy tarzda guruhlashtirishga imkon beradi, shu bilan muhim, o'rtacha va kam ahamiyatli hududlar ajratib ko'rsatiladi. dPC natijalari landshaftlarni ahamiyati bo'yicha 5 ta sinfga ajratish imkonini beradi (3-jadval). Ekologik rejalashtirishda quyidagilarga e'tibor qaratiladi: yuqori ahamiyatli markaziy yadrolarni qo'riqxonalar rejimida muhofazaga olinishini ta'minlash; o'rtacha va past ahamiyatli patchlar o'rtasida bog'lovchi "ekologik yo'laklar"ni tashkil qilish; past ahamiyatli yadrolarni moslashtirish va qayta tiklash orqali ularning ahamiyatini oshirish.

3-jadval

Landshaftlarning dPC natijalari bo'yicha tasnifi

Guruhlar tavsifi	Ilmiy ma'nosi
Juda yuqori	Markaziy yadro butun landshaft turi hamda migratsiya va genofond uchun juda muhim.
Yuqori	Katta ahamiyatga ega. Agar yo'qotilsa, bog'lanish sezilarli darajada pasayadi.
O'rta	Bog'lanishni ta'minlovchi, lekin strategik emas.
Past	Ikkilamchi rol o'ynaydi. Qo'llab-quvvatlovchi funksiyaga ega.
Juda past	Umumiy bog'lanishga ta'siri kam. Lekin, tabiatni tiklash loyihalarida e'tibor qaratish mumkin.

dPC indeksi landshaft tarmog'idagi har bir markaziy yadroning strategik ahamiyatini hisoblab, ekologik oqim va biologik xilma-xillikni saqlashda qaysi hududlar ustuvor ekanini ko'rsatadi. Ushbu yondashuv asosida tabiiy muhitni muhofaza qilish, ekologik yo'laklarni shakllantirish va qayta tiklash bo'yicha aniq va samarali qarorlar qabul qilish mumkin.

5. The patch importance value/Tabiiy hududlarning ahamiyatini baholash (dl). Muhim markaziy yadrolar deganda landshaft bog'lanuvchanligini saqlash va yaxshilashga katta ta'sir ko'rsatadigan yuqori bioxilma-xillik muhitiga ega uchastkalar tushuniladi. dl indeksi markaziy yadroning landshaftning umumiy bog'lanuvchanligiga qo'shayotgan hissasini ifodalaydi. Ushbu tadqiqotda uchastka ahamiyatini hisoblash uchun dlIC va dPC ko'rsatkichlaridan foydalanildi. Hisoblash formulasi quyidagicha:

$$dl_k = \frac{I - I_{remove,k}}{I} \times 100\% \quad (7)$$

Bu yerda: dl_k – uchastkaning bog'lanuvchanlik uchun ahamiyat indeksi, I – tadqiqot hududining asl bog'lanuvchanlik indeksi, $I_{remove,k}$ — uchastka olib tashlanganidan so'nggi bog'lanuvchanlik indeksi. dl_k qiymati qanchalik katta bo'lsa, ushbu uchastka landshaft bog'lanuvchanligini saqlashda shunchalik muhim sanaladi.

Yuqorida keltirilgan dl va dPC indeksleri landshaft tarkibidagi markaziy yadrolarning bog'lanishdagi ahamiyatini baholash uchun ishlatiladi. Lekin, ular turlicha hisoblanadi va mazmuni jihatdan bir-birini to'ldiradi, ya'ni ayni bitta holatni emas, bitta yo'nalishni turlicha o'lchaydi. Masalan, dl – bu har bir markaziy yadroning individual ahamiyatini (mahalliy darajada) ko'rsatadi. dPC esa shu ahamiyatni butun tarmoq kontekstida, ya'ni regional yoki global bog'lanish tizimida baholaydi (4-jadval).

4-jadval

Landshaft bog'lanishini baholashda qo'llaniladigan indeksning qiyosiy tavsifi

Belgisi	Nomi	Asosiy mohiyati	Hisoblanish	Talqin
---------	------	-----------------	-------------	--------

GEOGRAFIYA

			usuli	
dl	Patch Importance Value	Yadroning lokal yoki topologik ahamiyati	Yadro maydoni va bog'lanish ehtimollariga ko'ra	Obyektning yaqin atrofdagi geotizim bilan bog'lanishini ko'rsatadi
dPC	Patch Importance Index	Yadroning butun landshaftdagi strategik ahamiyati	Tizimdagi PC ni yadro olib tashlab solishtirish orqali	Obyektning yo'qotish butun tizimning barqarorligiga qay darajada ta'sir qilishini ko'rsatadi

6. Ekologik tarmoqni baholash va optimallashtirish. Ekologik yo'laklarning ahamiyatini baholashda tortiluvchi kuch modeli qo'llanilib, turli uchastkalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlarining intensivligi aniqlanadi. Ta'sir kuchi yuqori bo'lgan yo'laklar ko'proq ahamiyatga ega hisoblanadi. Bu formula gravitatsiya modeliga asoslangan ekologik bog'lanish kuchini ($F=G_{ij}$) hisoblashda qo'llaniladi. U ikkita landshaft uchastkalari (i va j) o'rtasidagi ekologik tortiluvchanlik yoki aloqa darajasini aniqlash uchun ishlatiladi. Yo'lak kuchini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$F = G_{ij} = \frac{N_i N_j}{D_{ij}^2} = \frac{\frac{\ln a_i}{P_i} \frac{\ln a_j}{P_j}}{\left(\frac{L_{ij}}{L_{max}}\right)^2} = \frac{L_{max}^2 \ln(a_i) \ln(a_j)}{L_{ij}^2 P_i P_j} \quad (8)$$

Bu yerda, F yoki G_{ij} – I va J uchastkalar o'rtasidagi bog'lanish kuchi yoki ekologik tortiluvchanlik; N_i, N_j – I va J uchastkalarining ekologik ahamiyati, masalan, turlarning miqdori yoki yadro uchastkaning maydoniga nisbatan ahamiyati; D_{ij} – I va J uchastkalar o'rtasidagi ekologik masofa, ya'ni ularni bog'lovchi eng kam qarshilikli yo'l; a_i, a_j – I va J uchastkalarining maydoni (masalan, gektarda); P_i, P_j – I va J uchastkalarga taalluqli qarshilik indeksi. Bu yerda yuqori qarshilik landshaftlar o'rtasida harakatlanishni qiyinlashtiradi; L_{ij} – I va J uchastkalar o'rtasidagi real masofa; L_{max} – Hududdagi eng katta masofa, ya'ni L_{ij} ning me'yorlashtirish uchun ishlatiladigan maksimum qiymati (eng katta qarshilik qiymati).

Bu gravitatsiya modeliga o'xshash: ikkita yadro uchastka qanchalik katta va bir-biriga yaqin bo'lsa, ular orasidagi ekologik bog'lanish shunchalik kuchli bo'ladi. Maydoni katta (a) bo'lgan uchastkalar ko'proq ahamiyatga ega; Qarshiligi past (P) bo'lsa, ko'chish oson bo'ladi; Masofa kichik (L_{ij}) bo'lsa, aloqa osonroq amalga oshadi. Shu sababli, formula ekologik landshaftlar o'rtasida turlar migratsiyasi, gen oqimi yoki biologik bog'liqlik kabi jarayonlarni baholashda juda muhim hisoblanadi. Ushbu formula gravitatsiya modeli asosida ishlab chiqilgan bo'lib, u ikki geoekologik nuqta o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchini baholash imkonini beradi. Formulada: Uchastkaning ahamiyati uning maydoni va qarshilik darajasi bilan belgilanadi; Masofa ortishi bilan ta'sir kamayadi, shu sababli qarshilik kvadrati (G_{ij}^2) qo'llaniladi; Tabiiy-ekologik harakatlar (modda, energiya yoki populyatsiya ko'chishi) shunday trayektoriya bo'yicha ro'y beradiki, u eng kam qarshilik yo'lini tanlaydi; Logorifmlar vositasida hisoblash maydon va qarshiliklar o'rtasidagi eksponensial aloqani ifodalaydi. Shu tariqa, mazkur formula turlar migratsiyasi, ekologik yo'laklarni aniqlash, landshaft tarmoqlari va karkaslarni tahlil qilishda muhim vosita hisoblanadi.

Tadqiqotda qo'llanilgan MSPA–MCR modeli ekologik tarmoqlarni takomillashtirish va ularning funksional bog'lanuvchanligini ta'minlashda yuqori samaradorlikka ega usul sifatida namoyon bo'lmoqda. Mazkur model yordamida antropogen ta'sir kuchayib borayotgan landshaftlarda saqlanib qolgan tabiiy landshaft elementlari – ekologik manbalar aniqlanadi va ularning hududiy tarkibi baholanadi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, ayrim hollarda bir landshaft toifasi doirasida uchta yoki undan ortiq markaziy yadrolar mavjud bo'lib, ular turli yerdan foydalanish turlari (qishloq xo'jaligi yerlari, aholi yashash maskanlari boshqa.) tarkibida joylashgan. Bu holat tabiiy landshaftlarni parchalanishini kuchaytiradi hamda ular o'rtasidagi ekologik bog'lanish darajasini pasaytiradi.

Yerdan foydalanish turlarining markaziy yadrolarga taʼsirini aniqlash maqsadida har bir ekologik manbaning maydon kattaligi, shakli, yaxlitligi va biologik turlar xilma-xilligi tahlil qilindi. Natijada maydoni kichik va yuqori darajada fragmentatsiyaga uchragan manbalarda bioxilma-xillik pastligi kuzatildi, bu esa ularning ekologik barqarorligini kamaytiradi. Shuningdek, MSPA va MCR tahlillari asosida turlarning antropogen landshaftlarda erkin harakati (dispersal) va migratsiya yoʻnalishlari ham modellashtirildi. Bu tadqiqot turlar uchun ekologik “yoʻlaklar”ning faoliyat doirasini aniqlash, ularda turlarni tarqalish ehtimolini baholash va ekologik uzluksizlikni taʼminlash imkonini berdi. Umuman olganda, MSPA–MCR modeli tabiiy va antropogen geotizimlar oʻrtasidagi bogʻlanish mexanizmlarini aniqlash, ekologik fragmentatsiya darajasini baholash va mintaqaviy ekologik karkasni ilmiy asosda shakllantirishda muhim metodologik ahamiyat kasb etdi.

XULOSA VA TAVSIYALAR.

Tadqiqot natijalari shuni koʻrsatadiki, MSPA va MCR modellarini integratsiyalash asosida ekologik karkasni shakllantirish va optimallashtirish landshaft ekologiyasida zamonaviy va ilmiy jihatdan asoslangan yondashuv hisoblanadi. Bu mezonlar IUCN, Yevropaning Natura 2000, hamda BMTning global dasturlarda muhim hisoblanadi. Ayniqsa, urbanizatsiya tezlashgan, landshaft fragmentatsiyasi kuchaygan va yuqori aholi zichligiga ega agrar hududlarda mazkur bogʻlanish indekslarini landshaft parametrlari bilan integratsiya qilish ekologik karkasning strategik rejalashtirilishini taʼminlaydi.

Fargʻona vodiysi sharoitida ekologik tarmoqlar konsepsiyasini joriy etish dolzarb hisoblanadi. Bu hududda aholi zichligi juda yuqori boʻlib, qishloq xoʻjaligi, sanoat va transport infratuzilmasining jadal rivojlanishi tabiiy landshaftlarning parchalanishi va biologik xilma-xillikning qisqarishiga olib kelmoqda. Shu bois, Yevropada qoʻllanilayotgan Green Infrastructure va Nature-Based Solutions modellarini Fargʻona vodiysi sharoitiga moslashtirish muhim ahamiyatga ega. Bu modellar landshaft strukturasi tahlil qilish, turlar migratsiyasini baholash va tabiiy geotizimlar oʻrtasidagi ekologik bogʻlanishni miqdoriy aniqlash imkonini berdi.

Nazariy jihatdan, tadqiqot natijalari ekologik tarmoqlar konsepsiyasini landshaft yondashuvi asosida takomillashtirish imkonini berdi. MSPA va MCR modellarining uygʻun qoʻllanilishi orqali landshaft strukturasi uzluksizligi va funksional yaxlitligi ilmiy jihatdan asoslandi. Bu esa ekologik tarmoqlarni rejalashtirishda GAT tahlillarining dolzarbligini yanada oshirdi. Metodologik jihatdan, Fargʻona viloyati misolida ekologik karkas elementlarini aniqlash uchun tabiiy va antropogen omillar asosida qarshilik sirti indeksi ishlab chiqildi. Shuningdek, 17 ta asosiy landshaft toifasi uchun qarshilik darajalari 0 dan 100 gacha boʻlgan shkalada baholandi va ularning ekologik bogʻlanuvchanlik darajalari aniqlandi. Bu model yordamida turlar migratsiyasi uchun eng qulay ekologik yoʻlaklar belgilanadi.

Amaliy jihatdan, GIS platformasida “Least-Cost Path” va “Circuitscape” modellari orqali ekologik bogʻlanuvchanlik xaritalari tuzish imkonini berdi. Natijada, landshaft elementlarining bogʻlanish ehtimoli, uzluksizligi va ekologik yoʻlaklar tizimi aniqlandi. Bu usul hududiy rejalashtirish, tabiiy resurslardan barqaror foydalanish va ekologik xavfsizlikni taʼminlashda ilmiy asos sifatida tavsiya etiladi. Ilmiy yangilik sifatida, tadqiqotda landshaft strukturasi, turli yer toifalarining qarshilik sirti xususiyatlari va biologik bogʻlanish indeksi (IIC, PC, dPC) koʻrsatkichlari asosida ekologik karkasning funksional yaxlitligi miqdoriy baholandi. Ushbu usul milliy miqyosda ekologik infratuzilmalarni shakllantirishda universal model sifatida qoʻllanilishi mumkin.

Amaliy tavsiya sifatida, Fargʻona vodiysida Sirdaryo vodiysi, uning qayirlari va togʻ oldi adirlarida uzluksiz “yashil yoʻlaklar” tizimini tashkil etish, tabiiy oʻrmon massivlarini ekoyoʻlaklar sifatida muhofaza qilish hamda urbanizatsiya jarayonlariga moslashtirilgan yashil zonalarini yaratish zarur deb hisoblanadi. Kelgusidagi tadqiqotlar uchun yoʻnalishlar sifatida iqlim oʻzgarishiga moslashuvchan modellarni takomillashtirish, ekologik monitoring tizimini joriy etish va ekologik tarmoqlarni milliy miqyosda integratsiyalash boʻyicha ilmiy ishlar tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR ROʻYXATI

1. Abdugʻaniyev O.I. Muhofaza etiladigan tabiiy hududlar tizimini takomillashtirish va ulardan foydalanishning geoeologik asoslari (Fargʻona vodiysi misolida). Monografiya. Fargʻona, 2024-y. 296 b.
2. Бобылев С.Н., Горячева А.А. (2019) Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст // Вестник международных организаций. Т. 14. № 1. С. 225–236. DOI: 10.17323/1996-7845-2019-01-13

GEOGRAFIYA

3. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Зеленая инфраструктура города: оценка состояния и проектирование развития. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2020. — 324с.
4. Колбовский Е.Ю. Пространственный анализ в геоэкологии. М.: МГУ, 2022. 820 с.
5. Миронова Е.Е. ГИС-моделирование зеленой инфраструктуры средиземноморских городов для управления урбанизированными экосистемами (на примере города Малага). *Экосистемы: экология и динамика*, 2020, том 4, № 4, с. 14-36.
6. Петров Л.А., Колбовский Е.Ю. Современные методы пространственного анализа зеленой инфраструктуры урбанизированных территорий (на примере города Грозного) *Грозненский естественнонаучный бюллетень*, том 5, № 3 (21), 2020. С. 39-51. DOI: 10.25744/genb.2020.20.3.004
7. Унагаева Н., Злобин Д. (2023). Цифровой инструментарий формирования зеленой инфраструктуры городов. *проект байкал*, 20 (78), 66–71. <https://doi.org/10.51461/issn.2309-3072/78.2236>.
8. Cardinale, B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity // *Nature*. – 2012. – Vol. 486, No. 7401. – P. 59–67. doi:10.1038/nature11148
9. Effects of urban agglomeration and expansion on landscape connectivity in the river valley region, Qinghai-Tibet Plateau Qingbo Wang, Shiliang Liu *, Yixuan Liu, Fangfang Wang, Hua Liu, Lu Yu.
10. Evans CC, Moorhead AR, Storey BE, Blagburn BL, Wolstenholme AJ, Kaplan RM (2017) Evaluation of the larval migration inhibition assay for detecting macrocyclic lactone resistance in *Dirofilaria immitis*. *Vet Parasitol* 246:76.
11. Guo Ziyun., Zhu Chuxin., Fan Xiang., Li Muye., Xu Nuo., Yuan Yuan., Guan Yanjun., Lyu Chunjuan., Bai Zhongke (2025). Analysis of ecological network evolution in an ecological restoration area with the MSPA-MCR model: A case study from Ningwu County, China. *Ecological Indicators*, 170, 113067. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113067>
12. Hu C., Wang Z., Wang Y., Sun D., Zhang J. Combining MSPA-MCR Model to Evaluate the Ecological Network in Wuhan, China. *Land* 2022, 11, 213. <https://doi.org/10.3390/land11020213>
13. Huang X., Wang H., Shan L., Xiao F. Constructing and optimizing urban ecological network in the context of rapid urbanization for improving landscape connectivity. *Ecological Indicators*. 2021, 132, 108319.
14. Jongman R.H.G., Kulvik M., Kristiansen I. European ecological networks and greenways // *Landscape and Urban Planning*. – 2011. – Vol. 100(4). – P. 434–438.
15. Junqueira VS, Cardoso FF, Oliveira MM, Sollero BP, Silva FF, Lopes PS (2017). Use of molecular markers to improve relationship information in the genetic evaluation of beef cattle tick resistance under pedigree-based models. *J Anim Breed Genet* 134(1):14.
16. Kremen C, Merenlender AM. Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*. 2018 Oct 19;362(6412):eaau6020. doi: 10.1126/science.aau6020. PMID: 30337381.
17. Lewis S.L. and Maslin M.A. (2015) *Defining the Anthropocene*. *Nature* 519: 171–180.
18. Liu J., Chen J., Yang Y., You H., Han X. Construction and optimization of an ecological network in the Yellow River Source Region Based on MSPA and MCR Modelling. *International journal of environmental research and public health*. 2023, 20, 3724.
19. Malekpour S., et al., 2024. Transformative localization to accelerate the 2030 Agenda. *Nat. Sustain.* 7, 516–518.
20. McRae B.H., Dickson B.G., Keitt T.H., Shah V.B. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology* 89: 2712-2724 November 2008. DOI: [10.1890/07-1861.1](https://doi.org/10.1890/07-1861.1)
21. Opdam P., Steingröver E., van Rooij S. Ecological networks: a spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes // *Landscape and Urban Planning*. – 2006. – Vol. 75(3–4). – P. 322–332.
22. Pascual-Hortal, L., Saura, S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. – *Landscape Ecology*, 2006. – P. 959–967. DOI: 10.1007/s10980-006-0013-z.
23. Ramirez-Delgado J.P., Di Marco M., Watson J.E.M. et al. Matrix condition mediates the effects of habitat fragmentation on species extinction risk. *Nat Commun* 13, 595 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28270-3>
24. Soille P., Vogt P. (2009). [Morphological segmentation of binary patterns](https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.10.015). *Pattern Recognition Letters* 30, 4:456-459, doi: 10.1016/j.patrec.2008.10.015.
25. Soille P., Vogt P. (2022). [Morphological spatial pattern analysis: open source release](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-427-2022). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-4/W1-2022 Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G) 2022 – Academic Track, 22–28 August 2022, Florence, Italy. pp. 427-433, doi: doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-427-2022.
26. Summerhayes C.P. et al. Summerhayes The future extent of the Anthropocene epoch: A synthesis. *Global and Planetary Change* 242 (2024) 104568 C.P. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2024.104568>
27. Sun Qiaoyun, Yu Jianqi, Zeng Yingran, Gai Yifang, Wang Jia, Zhang Yujun. Mapping Biodiversity Conservation Priorities for Protected Areas for Spatial Optimization: A Case Study in the Songnen Plain, China // *Ecology and Evolution*. – 2024. – Vol. 14. – e70516. – P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.70516>.
28. Tang F., Zhou X., Wang L., Zhang Y., Fu M., Zhang P. Linking Ecosystem Service and MSPA to Construct Landscape Ecological Network of the Huaiyang Section of the Grand Canal. *Land* 2021, 10, 919. <https://doi.org/10.3390/land10090919>.
29. Tang X., Mei J., Tang Y. Construction of Landscape Heritage Corridors in Ethnic Minority Villages Based on LCA-MSPA-MCR Framework: A Case Study of the Nanling Ethnic Corridor Region in China. *Buildings* 2025, 15, 3403. <https://doi.org/10.3390/buildings15183403>

30. Vogt, P., & Riitters, K. (2017). GuidosToolbox: universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50 (1), 352–361. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1330650>.
31. Wade, Alisa A.; McKelvey, Kevin S.; Schwartz, Michael K. 2015. Resistance-surface-based wildlife conservation connectivity modeling: Summary of efforts in the United States and guide for practitioners. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-333. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 93 p
32. Wang Q., Liu S., Liu Y., Wang F., Liu H., Yu L. (2022). Effects of urban agglomeration and expansion on landscape connectivity in the river valley region, Qinghai-Tibet Plateau. *Global Ecology and Conservation*, 36, e02004. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02004>.
33. Wang, Z.; Shi, Z.; Huo, J.; Zhu, W.; Yan, Y.; Ding, N. Construction and Optimization of an Ecological Network in Funiu Mountain Area Based on MSPA and MCR Models, China. *Land* 2023, 12, 1529. <https://doi.org/10.3390/land12081529>.
34. Watson J., Dudley N., Segan D., Hockings M. The performance and potential of protected areas. *Nature* 2014, 515, 67–73.
35. Yang S. Evaluation of urban ecological security model based on GIS sensing and MCR model. *Measurement: Sensors*. 2024, 33, 101206.
36. Ye H., Yang Z., Xu X., 2020. Ecological corridors analysis based on MSPA and MCR model—A case study of the Tomur World Natural Heritage Region. *Sustainability* 12 (3), 959.
37. Zeng Y., Koh L.P., Wilcove D.S. Gains in biodiversity conservation and ecosystem services from the expansion of the planet's protected areas. *Sci. Adv.* 2022, 8, eabl9885.
38. Zhang F., Jia Y., Liu X., Li T., Gao Q. Application of MSPA-MCR models to construct ecological security pattern in the basin: A case study of Dawen River basin. *Ecological Indicators*. 2024, 160, 111887
39. Zhang R., Niu S., Kutsch W.L., Yu G. Global Ecosystem Restoration and Carbon Neutrality Programme, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-2440, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-2440>.
40. Zhang Shuhan., Jiang Hailing., Yu Hailin., Feng Xinhui., Fan Mingxuan. (2024). Construction of landscape ecological network based on MCR risk assessment model: A case study of Liaoning Province, China. *Ecological Indicators*, 166, 112549. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112549>
41. Zhu K., Chen Y., Zhang S., Yang Z., Huang L., Lei B., Li L., Zhou Z., Xiong H., Li X. Identification and Prevention of Agricultural Non-Point Source Pollution Risk Based on the Minimum Cumulative Resistance Model. *Glob. Ecol. Conserv.* 2020, 23, e01149.