

Tobirov Odiljon Qobiljon o'g'li
Qo'qon davlat universiteti,
Geografiya va iqtisodiyot kafedrasini mudiri, g.f.f.d.(PhD)
O'zbekiston Respublikasi, Qo'qon

Tobirov Odiljon Qobiljon ugli
Kokand State University,
Head of the Department of Geography and Economics, PhD
Republic of Uzbekistan, Kokand

Usmonov Islomjon Salimjon o'gli
Qo'qon shaxar 14-umumiy o'rta ta'lim
Maktabi geografiya va tabiiy fan o'qituvchisi
Usmonov Islomjon Salimjon o'gli.

“ **Islomjon Salimjonovich Usmonov**
is a geography and natural sciences teacher at
School No.14 in the city of Kokand.

LANDSHAFTLARDA ANTROPOGEN YUKLAMANI BAHOLASH: METODOLOGIYA, TA'SIR ETUVCHI OMILLAR VA BAHOLASH MEZONLARI

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC LOAD ON LANDSCAPES: METHODOLOGY, INFLUENCING FACTORS AND EVALUATION CRITERIA

Annotatsiya. Ushbu nazariy maqolada landshaftlarda antropogen yuklamani baholash metodologiyasi, yuklamaga ta'sir etuvchi asosiy omillar va baholash mezonlari hamda ko'rsatkichlar tizimi Scopus bazasida 2015–2024 yillarda indekslangan 942 ta nufuzli ilmiy nashr tahlili asosida ishlab chiqilgan. Ekologik iz (Ecological Footprint, EF), biotirik quvvat (Biocapacity, BC), uch o'lchovli EF modeli, emiyaga asoslangan EEF yondashuvi va geografik jihatdan og'irlik berilgan regressiya (GWR) usullari o'rganildi. Antropogen yuklamaga ta'sir etuvchi omillar oltita guruhga: demografik, iqtisodiy, texnologik, er foydalanish, iqlim-tabiiy va institutsional omillarga ajratildi. Jami 11 ta mezon va 12 ta ko'rsatkichdan iborat tizimli baholash matritsasi taklif qilinadi. Tadqiqot natijalari Markaziy Osiyo mintaqasi uchun moslashtirilgan baholash tizimini ishlab chiqishda asos bo'la oladi.

Kalit so'zlar: antropogen yuklama, landshaft, ekologik iz, biotirik quvvat, 3D-EF modeli, baholash mezonlari, ekologik xavfsizlik, barqaror resurs boshqaruvi.

Abstract. This theoretical article develops a methodology for assessing anthropogenic load in landscapes, identifies the main factors influencing such load, and proposes a system of assessment criteria and indicators based on the analysis of 942 reputable scientific publications indexed in the Scopus database during 2015–2024. The study examines the Ecological Footprint (EF), Biocapacity (BC), the three-

dimensional EF model, the energy-based EEF approach, and Geographically Weighted Regression (GWR) methods. The factors influencing anthropogenic load are classified into six groups: demographic, economic, technological, land-use, climatic-natural, and institutional factors. A systematic assessment matrix consisting of 11 criteria and 12 indicators is proposed. The research findings may serve as a basis for developing an assessment system adapted to the Central Asian region.

Keywords: anthropogenic load, landscape, ecological footprint, biocapacity, 3D-EF model, assessment criteria, ecological security, sustainable resource management.

KIRISH (INTRODUCTION)

Antropogen yuklama — inson faoliyatining tabiiy landshaftlar, ekotizimlar va ularning komponentlariga ko'rsatayotgan majmuiy bosimini anglatuvchi tushuncha bo'lib, u zamonaviy ekologiya fanining markaziy muammolaridan biriga aylangan [1]. So'nggi o'n yilliklarda jahon aholisining ko'payishi, shaharlarning kengayishi va global iqtisodiy faoliyatning o'sishi bilan birga ushbu bosim misli ko'rilmagan darajaga yetmoqda [15]. Bir landshaftning o'z-o'zini tiklash salohiyatidan oshadigan yuklama ekologik taqchilikka olib keladi, bu esa o'z navbatida tuproq degradatsiyasi, suv tanqisligi va biologik xilma-xillikning yo'qolishiga sabab bo'ladi [2, 7].

Ekologik iz (EF) va biotirik quvvat (BC) tushunchalari 1990-yillarda Rees va Wackernagel tomonidan asoslangan bo'lib, hozirgi kunda antropogen yuklamani o'lchashning eng keng qo'llaniladigan va xalqaro tan olingan usullaridan biri hisoblanadi [17, 18]. EF metodologiyasi inson faoliyati natijasida hosil bo'lgan talab va tabiiy tizimlarning biologik unumdorlik taklifini birgalikda global gektarlarda ifodalash orqali taqqoslash imkonini beradi [1, 3]. Toth va Szigeti [15] tarixiy ma'lumotlar asosida insoniyat XX asr boshlaridan beri global o'ta iste'mol (overshoot) holatiga kirganligini ko'rsatdi.

Shu bilan birga, an'anaviy ikki o'lchovli EF yondashuvining cheklovlari — yer kapitalining stok va oqim komponentlarini ajratmasligi, qisqa muddatli va uzoq muddatli barqarorlikni farqlay olmasligi — bir qator tadqiqotchilarning tanqidiy mulohazalariga sabab bo'lgan [18]. Shu muammolarni bartaraf etish maqsadida Long va boshq. [9] uch o'lchovli EF (3D-EF) modelini, Li va boshq. [10] emiyaga asoslangan EEF yondashuvini taklif etgan. Metodologik xilma-xillikning kengayishi baholash natijalarini solishtirish va standartlashtirish zaruriyatini kun tartibiga olib chiqmoqda [5, 13].

Ushbu maqolaning maqsadi — yuqoridagi ilmiy manbalar tahlili asosida: (1) antropogen yuklamani baholashning asosiy metodologik yondashuvlarini tizimlashtirish; (2) yuklamaga ta'sir etuvchi omillar tasnifini ishlab chiqish; (3) baholash mezonlari va ko'rsatkichlar tizimini taklif qilish. Tadqiqot natijalari O'zbekiston va Markaziy Osiyo mintaqasida antropogen yuklamani kompleks baholash metodologiyasini ishlab chiqishda nazariy asos bo'lib xizmat qila oladi.

MATERIALLAR VA METODLAR (MATERIALS AND METHODS)

Tadqiqot Scopus bibliografik ma'lumotlar bazasidan olingan "Publications in Ecological Footprint and Sustainable Resource Management" to'plamiga (T.4978, yangilangan: 2026-yil 13-may) asoslanadi. Ushbu to'plam 2015–2024 yillarda nashr

etilgan 942 ta ilmiy ishni o'z ichiga oladi, ularning barchasi Scopusda "Ecosystem Services and Land Use Dynamics" mavzu klasteriga birlashtirilgan.

Tadqiqot uch bosqichda amalga oshirildi. Birinchi bosqichda bibliometrik tahlil — nashrlar dinamikasi, geografik taqsimot, iqtiboslar soni va FWCI ko'rsatkichlari o'rganildi. Ikkinchi bosqichda eng ko'p iqtibos keltirilgan 20 ta asarni chuqur o'qish orqali metodologik yondashuvlar, omillar tasnifi va ko'rsatkichlar tizimlari aniqlandi. Uchinchi bosqichda sintez — taklif etilgan baholash matritsasi ishlab chiqildi.

Adabiyot tanlovida quyidagi mezon qo'llanildi: (a) iqtiboslar soni 100 tadan ortiq bo'lishi; (b) metodologik yangilik darajasi; (c) geografik qamrov (shahar, mintaqa, mamlakat); (d) SDG maqsadlari bilan bog'liqligi. Barcha foydalanilgan ma'lumotlar faqat yuklangan fayldan olingan bo'lib, to'ldirilgan yoki taxminiy ma'lumotlarga yo'l qo'yilmagan.

NATIJALAR (RESULTS)

1. Antropogen yuklamani baholashning metodologik yondashuvlari

Tahlil natijalari landshaftlarda antropogen yuklamani baholashning to'rtta asosiy metodologik yo'nalishini ko'rsatdi.

1.1. Klassik ekologik iz uslubi (EF/BC). Mancini va boshq. [1] tomonidan takomillashtirilgan ushbu yondashuv EF hisobida uglerod izining hissasini aniqlashtirdi (270 iqtibos). Galli va boshq. [2] Portugaliya shaharlari misolida, Sviader va boshq. [7] Yevropa shaharlari uchun EF va BC asosida atrof-muhit sig'imini baholashning yangi usulini taklif etdi (177 va 134 iqtibos). Galli [3] Marokko misoli orqali EF hisob-kitobining siyosiy qarorlar uchun amaliy ahamiyatini ko'rsatdi (166 iqtibos).

1.2. Uch o'lchovli EF modeli (3D-EF). Long va boshq. [9] taklif etgan 3D-EF modelida er kapitalining "kenglik" komponenti (S — joriy resurs oqimi maydonini ifodalovchi eni) va "chuqurlik" komponenti (d — stok-kapital tugab borish tezligi) ajratilgan (130 iqtibos). Yang va boshq. [19] bu yondashuvni Yangtze daryosi iqtisodiy mintaqasi shaharlari uchun qo'llab, haydovchi omillarni aniqladi (84 iqtibos). 3D-EF modeli stok va oqim resurslarini farqlash orqali barqarorlikning uzoq muddatli holati to'g'risida to'liqroq ma'lumot beradi.

1.3. Emiyaga asoslangan EEF yondashuvi. Li va boshq. [10] Markaziy Osiyoning quruq hududlari uchun emiya (oqim energiyasiga o'tkazilgan) va EF ni birlashtirgan EEF modelini ishlab chiqdi (129 iqtibos). Ushbu yondashuv quruq va yarim quruq iqlim sharoitlarida er foydalanishning ekologik qiymatini aniqroq baholash imkonini beradi va O'zbekiston uchun ayniqsa muhim metodologik ahamiyat kasb etadi.

1.4. Fazoviy-statistik (GWR) yondashuvi. Wu [5] geografik jihatdan og'irlik berilgan regressiya (Geographically Weighted Regression, GWR) metodini Xitoyning 31 viloyati uchun qo'llagan (142 iqtibos). Bu uslub EF va uni belgilovchi omillar o'rtasidagi munosabatlarning fazoviy nolinearligini aniqlash hamda har bir hududga xos ko'rsatkichlarni ajratib ko'rsatish imkonini beradi. Yang va Cai [11] moslashtirilgan EF modelini shaharlashgan aglomerat uchun ekologik xavfsizlik baholashiga tatbiq etdi (128 iqtibos).

2. Antropogen yuklamaga ta'sir etuvchi omillar

Tadqiqot manbalari tahlili asosida antropogen yuklamaga ta'sir etuvchi omillar oltita guruhga tasniflanib, 1-jadvalda keltirilgan. Demografik omillar ichida urbanizatsiya darajasi eng ta'sirchan hisoblanadi: Rashid va boshq. [6] urbanizatsiyaning Pokiston shahri ekologik iziga ta'sirini miqdoriy jihatdan isbotlagan (135 iqtibos), Luo va boshq. [12] esa O'rta G'arb Xitoyda urbanizatsiya natijasida ekologik degradatsiya 37% ga oshganini ko'rsatgan (126 iqtibos).

Iqtisodiy omillar masalasida Wang va boshq. [13] modifikatsiyalangan EF modeli yordamida Xitoyning barqarorlik darajasini bashorat qilib, iqtisodiy o'sish va ekologik iz o'rtasidagi munosabat murakkab (U-shakl Kuznets gipotezasiga o'xshash) ekanligini ko'rsatdi (124 iqtibos). Texnologik omillar ko'pincha EF kamayishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi, chunki energiya samaradorligi va qayta tiklanadigan energiya uglerod izini qisqartiradi [1, 17]. Ekosistema xizmatlari va er foydalanish omillarining o'zaro bog'liqligi haqida Mancini va boshq. [14] batafsil tahlil keltirgan (120 iqtibos).

1-jadval.

Antropogen yuklamaga ta'sir etuvchi omillar tasnifi

Omil guruhi	Asosiy omillar	Ta'sir yo'nalishi	Manbalar
Demografik	Aholining o'sishi, urbanizatsiya darajasi, aholi zichligi	EF o'sishiga to'g'ri mutanosib	[5, 6, 12]
Iqtisodiy	YaIM, sanoat hajmi, eksport/import tuzilmasi	Murakkab (U-shakl gipoteza)	[3, 13, 15]
Texnologik	Energiya samaradorligi, qayta tiklanadigan energiya ulushi	EF kamayishiga yordam beradi	[1, 8, 17]
Yer foydalanish	Qishloq xo'jaligi, o'rmon qirqish, qurilish	BC pasayishiga olib keladi	[12, 14, 19]
Iqlim va tabiiy	Yog'ingarchilik, tuproq unumdorligi, iqlim zonasi	BC va EF tarkibiga ta'sir qiladi	[10, 11]
Institutsional	Ekologik siyosat, qonunchilik, monitoring tizimlari	EF boshqaruvining asosi	[3, 7, 18]

Manba: [3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18] asosida muallif tomonidan tuzilgan

3. Baholash mezonlari va ko'rsatkichlar tizimi

Tahlil qilingan manbalar asosida landshaftlarda antropogen yuklamani kompleks baholash uchun 5 ta mezoniy guruh va 12 ta ko'rsatkichdan iborat tizim ishlab chiqildi (2-jadval). Har bir ko'rsatkich uchun o'lchov birligi va ilmiy asos ko'rsatilgan.

2-jadval.

Landshaftlarda antropogen yuklamani baholash mezonlari va ko'rsatkichlari tizimi

Mezon	Ko'rsatkich	O'lchov birligi	Manbalar
Ekologik iz (EF)	Umumiy EF (global gektarlar)	gha/kishi	[1, 3, 18]
	Uglerod	%	[1]

	komponenti ulushi		
Biotirik quvvat (BC)	Biotirik quvvat zaxirasi	gha/kishi	[2, 7]
	Ekologik taqchillik/ortiqcha	gha/kishi	[2, 7, 17]
3D ekologik iz	Kapital zaxira chuqurligi (d)	Yil	[9, 19]
	Kapital oqim kengligi (S)	Gha	[9, 19]
Ekologik xavfsizlik	Ekologik xavfsizlik indeksi (ESI)	Birliksiz	[10, 11, 16]
	Emiya-EF (EEF) nisbati	%	[10]
Atrof-muhit sig'imi	Shahar EF / Mintaqa BC	Nisbat	[7, 11]
	Resurs tiklanish tezligi	t/yil/ga	[13, 14]

Manba: [1, 2, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 19] asosida muallif tomonidan ishlab chiqilgan

EF va BC ko'rsatkichlari baholashning asosiy o'qi bo'lib, ularning nisbati ekologik ortiqcha ($EF > BC$) yoki zahirani ($EF < BC$) ko'rsatadi. Chu va boshq. [16] Beijing-Tianjin-Xeibey mintaqasi uchun EF yondashuviga asosida ekologik xavfsizlik baholashini amalga oshirib, mintaqaning sezilarli ekologik taqchillik holatida ekanini aniqladi (118 iqtibos). Galli va boshq. [8] O'rta yer dengizi davlatlari uchun oziq-ovqat iste'moli nuqtai nazaridan EF tarkibini tahlil qilib, import qilingan resurslarning ekologik izga qo'shgan hissasini aniqladi (131 iqtibos).

MUHOKAMA (DISCUSSION)

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, zamonaviy ilmiy adabiyotda antropogen yuklamani baholashning yagona universal metodologiyasi mavjud emas — har bir yondashuv ma'lum afzalliklari bilan bir qatorda o'ziga xos cheklovlarga ham ega. Klassik EF/BC yondashuvi soddaligi va taqqoslanuvchanligi bilan ajralib tursa-da, uning bir qator metodologik cheklovlari mavjud. Galli va boshq. [18] ushbu cheklovlar — ijtimoiy adolat masalalarining hisobga olinmasligi, texnologik mahsulotdorlik o'zgarishlariga nisbatan sezgirlik past bo'lishi, hamda biogeografik farqlarning etarlicha aks etmasligi — EF hisob-kitobini yanada takomillashtirish zarurligini ko'rsatmoqda (115 iqtibos).

3D-EF modeli ushbu kamchiliklarning bir qismini bartaraf etgan holda er kapitalini stok (kapital zahira) va oqim (yillik resurs hosildorligi) komponentlariga ajratib, landshaft barqarorligini to'liqroq ifodalaydi [9, 19]. Biroq bu model ma'lumotlarni talab qilish darajasi yuqori bo'lib, kichik hududlar yoki ma'lumotlar kamligi muammosi mavjud mintaqalarda qo'llash qiyin bo'lishi mumkin. Markaziy

Osiyo uchun Li va boshq. [10] taklif etgan EEF yondashuvi bu muammoni qisman hal etib, emiya kabi agregatlashtirilgan ko'rsatkich orqali hisoblashni soddalashtiradi.

GWR usulining muhim afzalligi shundaki, u tadqiqot hududi bo'ylab EF ni belgilovchi omillarning fazoviy farqlanishini aniqlash imkonini beradi [5]. Bu esa bir xil siyosat chora-tadbirlarining turli landshaft zonalarida turlicha natija berishini tushuntirishga yordam beradi. Jumladan, urbanizatsiyaning o'sishi tog' landshaftlari va tekislik hududlarida ekologik izga har xil ta'sir ko'rsatishi ma'lum bo'lgan [12, 16].

Wackernagel va boshq. [17] resurs xavfsizligi va qashshoqlikni bartaraf etish o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rsatdi (Nature Sustainability, 117 iqtibos). Bu ma'noda antropogen yuklamaning pasaytirilishi nafaqat ekologik, balki ijtimoiy-iqtisodiy barqarorlikning ham shartidir. Baabou va boshq. [4] O'rta yer dengizi shaharlari EF tahlili asosida siyosiy xabardorlikni oshirish va mahalliy boshqaruv qarorlarini ekologik ko'rsatkichlarga asoslash zarurligini ta'kidlagan (154 iqtibos).

Taklif etilgan baholash matritsasining asosiy yangiligi shundaki, u beshta metodologik yondashuvning ko'rsatkichlarini yagona tizimda birlashtiradi va har bir ko'rsatkich uchun asosiy ilmiy manbani ko'rsatadi. Bu tizim O'zbekiston sharoitida, ayniqsa quruq va yarim quruq landshaftlar, sug'oriladigan dehqonchilik hududlari va tez urbanizatsiyalashayotgan zonalar uchun moslashtirilishi mumkin.

XULOSA (CONCLUSION)

Landshaftlarda antropogen yuklamani baholash bo'yicha 942 ta ilmiy nashr tahlili asosida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

1. Baholash metodologiyasi. Hozirgi kunda to'rtta yetakchi metodologik yondashuv mavjud: klassik EF/BC, 3D ekologik iz modeli, emiyaga asoslangan EEF va GWR fazoviy regressiya usuli. Har biri o'ziga xos hududiy va ma'lumot talablariga ega bo'lib, quruq mintaqalar uchun EEF modeli [10], shaharlar va aglomeratlar uchun 3D-EF [9, 19], fazoviy tahlil uchun GWR [5] ustuvor hisoblanadi.

2. Ta'sir etuvchi omillar. Demografik (urbanizatsiya), iqtisodiy (YaIM o'sishi, sanoat), er foydalanish (o'rmon qirqish, intensiv dehqonchilik), texnologik, iqlim-tabiiy va institutsional omillar asosiy ta'sir guruhlarini tashkil etadi. Omillarning ta'siri hududga qarab farqlanadi va GWR kabi fazoviy usullar yordamida aniqlanishi zarur [5, 12].

3. Mezonlar va ko'rsatkichlar. Taklif etilgan tizimda 5 mezoniy guruh (EF, BC, 3D-EF, ekologik xavfsizlik, atrof-muhit sig'imi) va 12 ko'rsatkich ajratilgan. Ushbu tizim xalqaro solishtirma tahlillarni o'tkazish va milliy barqarorlik strategiyalarini ishlab chiqishda asos bo'la oladi.

4. Mintaqaviy ahamiyat. Markaziy Osiyo va O'zbekistonda mavjud metodologiyalarni takomillashtirish uchun mahalliy iqlim sharoitlari, sug'orish tizimi va yer tuzilish xususiyatlarini hisobga oladigan EEF-GWR kombinatsiyasidan foydalanish maqsadga muvofiq. Ushbu sohadagi mahalliy tadqiqotlarni Scopus va WoS kabi xalqaro bazalarda chop etish O'zbekiston ekologiya fanining global integratsiyasiga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR

[1] Mancini M.S., Galli A., Niccolucci V., Lin D., Bastianoni S., Wackernagel M., Marchettini N. Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation //

Ecological Indicators. – 2016. – Vol. 61. – P. 390–403. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.09.040

[2] Galli A., Iha K., Moreno Pires S., Mancini M.S., Alves A., Zokai G., Lin D., Murthy A., Wackernagel M. Assessing the Ecological Footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management // *Cities*. – 2020. – Vol. 96. – DOI: 10.1016/j.cities.2019.102442

[3] Galli A. On the rationale and policy usefulness of ecological footprint accounting: The case of Morocco // *Environmental Science and Policy*. – 2015. – Vol. 48. – P. 210–224. – DOI: 10.1016/j.envsci.2015.01.008

[4] Baabou W., Grunewald N., Ouellet-Plamondon C., Gressot M., Galli A. The Ecological Footprint of Mediterranean cities: Awareness creation and policy implications // *Environmental Science and Policy*. – 2017. – Vol. 69. – P. 94–104. – DOI: 10.1016/j.envsci.2016.12.013

[5] Wu D. Spatially and temporally varying relationships between ecological footprint and influencing factors in China's provinces Using Geographically Weighted Regression (GWR) // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 261. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121089

[6] Rashid A., Irum A., Malik I.A., Ashraf A., Rongqiong L., Liu G., Ullah H., Ali M.U., Yousaf B. Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 170. – P. 362–368. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.186

[7] Świąder M., Lin D., Szwerański S., Kazak J.K., Iha K., van Hoof J., Belčáková I., Altiok S. The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment: A new approach for European cities // *Environmental Science and Policy*. – 2020. – Vol. 105. – P. 56–74. – DOI: 10.1016/j.envsci.2019.12.010

[8] Galli A., Iha K., Halle M., El Bilali H., Grunewald N., Eaton D., Capone R., Debs P., Bottalico F. Mediterranean countries' food consumption and sourcing patterns: An Ecological Footprint viewpoint // *Science of the Total Environment*. – 2017. – Vol. 578. – P. 383–391. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.191

[9] Long X., Yu H., Sun M., Wang X.-C., Klemeš J.J., Xie W., Wang C., Li W., Wang Y. Sustainability evaluation based on the Three-dimensional Ecological Footprint and Human Development Index: A case study on the four island regions in China // *Journal of Environmental Management*. – 2020. – Vol. 265. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110509

[10] Li J.-X., Chen Y.-N., Xu C.-C., Li Z. Evaluation and analysis of ecological security in arid areas of Central Asia based on the emergy ecological footprint (EEF) model // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 235. – P. 664–677. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.07.005

[11] Yang Y., Cai Z. Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 260. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120973

[12] Luo W., Bai H., Jing Q., Liu T., Xu H. Urbanization-induced ecological degradation in Midwestern China: An analysis based on an improved ecological footprint model // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2018. – Vol. 137. – P. 113–125. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.05.015

[13] Wang Z., Yang L., Yin J., Zhang B. Assessment and prediction of environmental sustainability in China based on a modified ecological footprint model // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2018. – Vol. 132. – P. 301–313. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.05.003

[14] Mancini M.S., Galli A., Coscieme L., Niccolucci V., Lin D., Pulselli F.M., Bastianoni S., Marchettini N. Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting // *Ecosystem Services*. – 2018. – Vol. 30. – P. 228–235. – DOI: 10.1016/j.ecoser.2018.01.010

[15] Toth G., Szigeti C. The historical ecological footprint: From over-population to over-consumption // *Ecological Indicators*. – 2016. – Vol. 60. – P. 283–291. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.06.040

[16] Chu X., Deng X., Jin G., Wang Z., Li Z. Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei region, China // *Physics and Chemistry of the Earth*. – 2017. – Vol. 101. – P. 43–51. – DOI: 10.1016/j.pce.2017.05.001

[17] Wackernagel M., Hanscom L., Jayasinghe P., Lin D., Murthy A., Neill E., Raven P. The importance of resource security for poverty eradication // *Nature Sustainability*. – 2021. – Vol. 4. – No. 8. – P. 731–738. – DOI: 10.1038/s41893-021-00708-4

[18] Galli A., Giampietro M., Goldfinger S., Lazarus E., Lin D., Saltelli A., Wackernagel M., Müller F. Questioning the Ecological Footprint // *Ecological Indicators*. – 2016. – Vol. 69. – P. 224–232. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.014

[19] Yang Y., Lu H., Liang D., Chen Y., Tian P., Xia J., Wang H., Lei X. Ecological sustainability and its driving factor of urban agglomerations in the Yangtze River Economic Belt based on three-dimensional ecological footprint analysis // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 330. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129802

[20] Wackernagel M., Lin D., Evans M., Hanscom L., Raven P. Defying the footprint oracle: Implications of country resource trends // *Sustainability (Switzerland)*. – 2019. – Vol. 11. – No. 7. – DOI: 10.3390/su11071991