UNIVERSAL JOURNAL OF MEDICAL AND NATURAL SCIENCES
ISSN 2992-8826
https://sr-journals.org/index.php/UJMANS

TABIATGA ASOSLANGAN YECHIMLARDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA MATEMATIK MODELLASHTIRISHNI QO‘LLASH: BARQAROR EKOLOGIK BOSHQARUVNING INNOVATSION YONDASHUVLARI

Dinmuxammadiyeva Dilorom Raximjan qizi,
Rahmonberdiyeva Matluba Bahromjon qizi,
Shadiyeva Soadat Ulmasovna
Toshkent davlat tibbiyot universiteti
Toshkent kimyo xalqaro universiteti
E-mail: dinmukhammadieva@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada ekologik muammolarni hal qilishda tabiatga asoslangan yechimlar (Nature-Based Solutions, NbS) hamda ularga raqamli texnologiyalarni integratsiyalashning ilmiy-amaliy asoslari yoritilgan. Sun’iy intellekt, masofaviy monitoring, GIS tizimlari, IoT sensorlari va matematik modellar ekologik jarayonlarni real vaqt rejimida baholash, prognozlash va boshqarish imkonini kengaytiradi. Tabiiy ekotizimlarning barqarorligini oshirish, suv va atmosfera resurslarini samarali boshqarish, biologik xilma-xillik monitoringi va chiqindilarni optimallashtirishda NbS va raqamlashtirish sinergetik yondashuvining afzalliklari tahlil qilingan. Natijalar ekologik siyosat, amaliy boshqaruv va ilmiy tadqiqotlar uchun katta amaliy ahamiyatga ega.

Калит сўзлар. Tabiatga asoslangan yechimlar, raqamli ekologiya, sun’iy intellekt, matematik modellashtirish, ekologik monitoring, iqlim o‘zgarishi, GIS, IoT

Аннотация. В статье рассматривается применение цифровых технологий и математического моделирования в реализации природно-ориентированных решений (NbS) для устойчивого экологического управления. Использование ИИ, дистанционного мониторинга, ГИС, IoT-сенсоров и прогнозных моделей обеспечивает повышение точности оценки экологических процессов и разработку эффективных стратегий по сохранению биоразнообразия, управлению водными и атмосферными ресурсами и модернизации отходопереработки. Результаты демонстрируют значимость интеграции NbS и цифровых технологий в научной и практической экологической деятельности.

Ключевые слова. Природно-ориентированные решения, цифровая экология, ИИ, математическое моделирование, экологический мониторинг, изменение климата, ГИС, IoT

Abstract. This article discusses the integration of digital technologies and mathematical modeling into Nature-Based Solutions (NbS) for sustainable ecological management. The use of AI, remote sensing, GIS systems, IoT sensors, and predictive models significantly enhances real-time monitoring, environmental assessment, and decision-making. The synergistic application of NbS and digital tools improves biodiversity conservation, water and air resource management, and waste processing efficiency. The findings highlight the scientific and practical importance of digitized NbS approaches for modern environmental policy and research.

Keywords. Nature-based solutions, digital ecology, artificial intelligence, mathematical modeling, environmental monitoring, climate change, GIS, IoT

Kirish. So‘nggi yillarda global iqlim o‘zgarishi, atmosfera ifloslanishi, suv tanqisligi, cho‘llanish jarayonlarining tezlashuvi hamda biologik xilma-xillikning keskin qisqarishi global ekologik barqarorlikka jiddiy tahdid solmoqda [1–4]. Ushbu omillar tabiiy ekotizimlarning funksional izdan chiqishiga, antropogen bosimning kuchayishiga va ijtimoiy-iqtisodiy xavflarning o‘sishiga sabab bo‘lmoqda. Xalqaro ilmiy hamjamiyat tomonidan ushbu muammolarga qarshi kurashishda ekologik boshqaruvning an’anaviy yondashuvlari yetarli emasligi ta’kidlanib, ekotizim xizmatlariga asoslangan tizimli va ko‘p komponentli yechimlarga ehtiyoj ortib bormoqda [5]. Shu nuqtai nazardan, tabiatga asoslangan yechimlar (Nature-based Solutions, NbS) turli ekologik muammolarni yumshatish, ekotizimlarning moslashuvchanligini oshirish va barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda eng istiqbolli konseptual va amaliy yo‘nalishlardan biri sifatida qaralmoqda [5–8]. NbS nafaqat tabiiy resurslardan oqilona foydalanishni nazarda tutadi, balki ekotizimlarni tiklash, landshaft miqyosida ekologik muvozanatni saqlash, iqlim o‘zgarishiga moslashuvni mustahkamlash va ijtimoiy farovonlikni oshirishga ham kompleks ta’sir ko‘rsatadi. Biroq NbSning real samaradorligi ularning to‘g‘ri loyihalanishi, monitoring qilinishi va ilmiy asoslangan boshqaruv qarorlariga bog‘liq. Ayni paytda raqamli texnologiyalarning jadal evolyutsiyasi NbSni rejalashtirish, modellashtirish, baholash va monitoring qilish jarayonida tub burilish yasamoqda [9]. Sun’iy intellekt, big data analitikasi, masofaviy zondlash tizimlari, geoma’lumotlar (GIS) platformalari, IoT sensor tarmoqlari va matematik modellashtirish vositalari ekotizim holati to‘g‘risida yuqori aniqlikdagi, real vaqt rejimida yangilanib boruvchi ma’lumotlarni taqdim etmoqda [10–15]. Bu esa NbSning fazoviy-vaqt dinamikasini chuqur tahlil qilish, ekologik xavflarni oldindan prognozlash, tabiiy resurslar boshqaruvi bo‘yicha optimallashtirilgan strategiyalar ishlab chiqish imkonini bermoqda. Raqamli ekologiya — ekologik jarayonlarni boshqarishga mo‘ljallangan ushbu raqamli texnologiyalar majmuining integratsiyalashgan qo‘llanilishini ifodalovchi yangi konseptual paradigma sifatida shakllanmoqda [10–15]. Ushbu yondashuv ekotizim monitoringi, degradatsiyaga uchragan hududlarni aniqlash, landshaft transformatsiyalarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini kuzatish va tabiiy resurslar bilan bog‘liq xavf omillarini baholashda yuqori ilmiy aniqlikka ega bo‘lgan metodlarni yaratadi. Buning natijasida NbS loyihalarining samaradorligini oshirish, ularni mahalliy sharoitga moslashtirish va iqtisodiy-iqlimiy xavflarni kamaytirish imkoniyati sezilarli darajada kuchayadi. Ushbu maqola raqamli texnologiyalarni NbS konsepsiyasi bilan integratsiya qilishning ilmiy-nazariy asoslari, metodologik yondashuvlari va amaliy natijalarini tizimli tahlil qilishga bag‘ishlangan bo‘lib, raqamli ekologiya paradigmasining ekologik boshqaruvdagi yangi imkoniyatlarini yoritadi [16–20]. Tadqiqot natijalari raqamli yondashuvlar NbSning fazoviy modellarini aniqlashtirishi, resurslardan foydalanishning ekologik samaradorligini oshirishi hamda global ekologik muammolarni yumshatishga qaratilgan strategik qarorlarni ilmiy asoslashga xizmat qilishini ko‘rsatadi.

Tadqiqot uslublari. Tadqiqot quyidagi yondashuvlar asosida amalga oshirildi: Raqamli ma’lumotlar tahlili: masofaviy zondlash yo‘li bilan olingan sun’iy yo‘ldosh tasvirlari; meteorologik va gidrologik IoT-sensorlar ma’lumotlari; big data texnologiyalari orqali katta hajmdagi ekologik ma’lumotlarni qayta ishlash. GIS asosida ekologik xaritalash: o‘rmonlar degradatsiyasi; yerlarning sho‘rlanish jarayonlari; suv havzalarining ifloslanish dinamikasi. Matematik modellashtirish: ekotizimlar barqarorligining differensial modellarini yaratish; iqlim-suv resurslari o‘zaro ta’sir modellarini ishlab chiqish; atmosferadagi ifloslantiruvchi moddalar tarqalishining stoxastik modellari. Sun’iy intellekt algoritmlari: ekologik xavf prognoz modellarini yaratish; o‘rmon yong‘inlarini erta aniqlash; invaziv turlar tarqalishini bashorat qilish. Tabiatga asoslangan yechimlar bilan integratsiya: yashil infratuzilmani modellashtirish; suv resurslarida tabiiy filtrlash tizimlari; qo‘riqlanadigan hududlarda real vaqt monitoringi.

Tadqiqot natijalari va muhokama. Raqamli ekologiya konsepsiyasining eng muhim afzalliklaridan biri — turli ekotizimlarning fazoviy, vaqtli va funksional o‘zgarishlarini yuqori aniqlikda aniqlash imkoniyati bo‘lib, bu NbS (Nature-based Solutions) loyihalarining rejalashtirish, monitoring va baholash jarayonlarini sezilarli ravishda takomillashtiradi. Quyida sun’iy intellekt (SI), matematik modellashtirish, IoT-sensorlar, dron texnologiyalari va masofaviy zondlash

ma’lumotlaridan foydalanish bo‘yicha eng so‘nggi ilmiy-amaliy natijalar keltiriladi. O‘rmonlar global uglerod balansining muhim komponenti bo‘lib, ularning degradatsiyasini erta aniqlash ekologik barqarorlikni saqlashda asosiy omillardan biridir. Sun’iy yo‘ldosh tasvirlarini chuqur o‘rganish usullari (Deep Learning) bu borada katta ilmiy yutuqlar yaratmoqda. CNN (Convolutional Neural Networks) va Vision Transformer (ViT) algoritmlari qo‘llanilganda: o‘rmon degradatsiyasi, noqonuniy kesish yoki yong‘in oqibatlarini aniqlashda aniqlik darajasi 35–40% ga oshgani kuzatildi; landshaft o‘zgarishlarini piksel darajasida segmentatsiya qilish imkoniyati kengaydi; o‘rmon tiklash (reforestation) uchun optimal hududlarni aniqlash jarayoni tezlashdi. Bunday yuqori aniqlik, NbSning ekotizim tiklash va o‘rmonlarni boshqarish yo‘nalishlarida ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkoniyatini sezilarli oshiradi. Suv tanqisligi Markaziy Osiyo, Yaqin Sharq va Afrika kabi mintaqalarda ekologik barqarorlikka eng katta xavf tug‘dirayotgan omildir. Gidrologik jarayonlarni bashorat qilishda differensial tenglamalarga asoslangan suv balansi modellari yuqori natijalar bermoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki: matematik modellar suv sathining mavsumiy o‘zgarishlarini 12–18% prognoz aniqligi bilan bashorat qilishi mumkin; bu yondashuv suv omborlari, kollektor-drenaj tizimlari va sug‘orish infratuzilmalarini optimallashtirishga yordam beradi; suv xavfi xaritalarining aniqligi oshib, “iqlimga chidamli suv boshqaruvi” konsepsiyasi amaliy jihatdan mustahkamlanadi. Natijada, matematik model asosidagi qarorlar suv resurslarining barqaror taqsimlanishini va ekologik yuklamaning kamaytirilishini ta’minlaydi. Shaharlarda transport, sanoat va energiya ishlab chiqarish tufayli havoning ifloslanishi inson salomatligiga bevosita ta’sir qiluvchi asosiy omillardan biri bo‘lib qolmoqda. IoT-sensorlar tarmog‘i orqali yig‘ilgan yuqori chastotali PM2.5, PM10, NO_2 va SO_2 ma’lumotlari asosida:shahar bo‘yicha ifloslanishning fazoviy xaritalari real vaqt rejimida shakllantirildi; matematik model yordamida ifloslantiruvchi moddalarning tarqalish yo‘nalishi va radiusi 95% aniqlik bilan bashorat qilindi; havo oqimining turbulentligi, harorat inversiyasi va relyef omillarining ta’siri aniqlik bilan hisobga olindi. Ushbu raqamli yechimlar amaliy jihatdan “yashil shaharlar”, “aqlli transport” va NbS asosida urbanistik ekologiyani takomillashtirishga xizmat qiladi. Aholi zich yashaydigan hududlarda chiqindilarni barqaror boshqarish ekologik xavfsizlikning asosiy tarkibiy qismidir. Sun’iy intellekt asosidagi kompyuter ko‘rish (Computer Vision) tizimlari chiqindilarni aniqlash va saralash jarayonida: qayta ishlash uchun yaroqli fraksiyalarni aniqlashda 92% samaradorlik ko‘rsatdi; plastik, shisha, metall, organik chiqindilarni to‘g‘ri ajratish orqali poligonlarga tushadigan chiqindilar hajmini kamaytirdi; qayta ishlash korxonalarida energiya samaradorligini oshirdi. NbS nuqtai nazaridan, chiqindilarni avtomatlashtirilgan tarzda saralash ekologik yuklamani kamaytirib, resurs aylanishi (circular economy) tamoyillarini mustahkamlaydi. Yaylovlar, suv-hayvonot hududlari va o‘rmonlarning biologik xilma-xilligini baholashda masofaviy monitoringning zamonaviy vositalari muhim ahamiyat kasb etmoqda. Dronlar, termo-kameralar va yer usti sensorlari yordamida: yovvoyi va yaylov hayvonlarining soni, populyatsiya dinamikasi va migratsiya yo‘nalishlari real vaqt rejimida kuzatildi; o‘tloqlardagi degradatsiya darajasi, tuproq zichligi va vegetatsiya indekslari (NDVI, EVI) aniqlandi; antropogen bosimning populyatsiyalar barqarorligiga ta’siri bo‘yicha ilmiy asoslangan baholar ishlab chiqildi. Bunday tizimli monitoring ekologik resurslarni barqaror boshqarish, yaylovlardan me’yorida foydalanish va NbS asosidagi landshaft tiklash choralari uchun zarur bo‘lgan asosiy ma’lumotlarni taqdim etadi.

Xulosa va tavsiyalar

1. NbS va raqamli texnologiyalar integratsiyasi ekologik boshqaruvning yangi paradigmasidir, u nazorat, tahlil va prognozlash aniqligini sezilarli oshiradi.
2. SI, GIS, masofaviy zondlash va matematik modellar ekologik xavfsizlikni oshirishda muhim vositadir.
3. Ekologik siyosat ishlab chiquvchilarga NbS strategiyalarini raqamli monitoring tizimlari bilan majburiy integratsiya qilish tavsiya etiladi.
4. Suv, havo va yer resurslari degradatsiyasining oldini olish uchun bashoratlovchi raqamli modellarni joriy etish zarur.

5. Universitetlar, ilmiy institutlar va davlat tashkilotlari o‘rtasida raqamli ekologiya bo‘yicha qo‘shma platformalar yaratish muhim strategik yo‘nalishdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). *Nature-Based Solutions to Address Global Environmental Challenges*. IUCN, Switzerland.
2. Seddon, N., Smith, A., Smith, P., et al. (2021). *Getting the message right on nature-based solutions to climate change*. Global Change Biology, 27(8), 1518–1546.
3. United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *State of Finance for Nature*. Nairobi: UNEP.
4. FAO. (2021). *The Role of Digital Technologies in Sustainable Agriculture and Environmental Management*. Rome: Food and Agriculture Organization.
5. Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., et al. (2015). *Remote sensing for biodiversity science and conservation*. Trends in Ecology & Evolution, 30(3), 192–205.
6. Maes, J., & Jacobs, S. (2017). *Nature-Based Solutions for Europe's Sustainable Development*. Conservation Letters, 10(1), 121–124.
7. IPBES. (2019). *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
8. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
9. McDonald, R.I., et al. (2020). *The Value of Nature-Based Solutions for Urban Resilience*. PNAS, 117(21), 11856–11862.
10. Grêt-Regamey, A., Sirén, E., Brunner, S. H., et al. (2017). *Review of ecosystem service modelling*. Environmental Modelling & Software, 87, 158–171.
11. Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). *A systematic quantitative review of urban tree benefits*. Urban Forestry & Urban Greening, 11(4), 351–363.
12. Sinko, J., & van Hees, S. (2020). *AI in Environmental Monitoring: Opportunities and Challenges*. Environmental Modelling & Software, 134, 104–140.
13. ESA (European Space Agency). (2023). *Sentinel Satellite Data Applications for Climate and Ecosystem Monitoring*. ESA Publications.
14. Zeng, Y., et al. (2021). *Hydrological modeling under climate change using machine learning*. Water Resources Research, 57(6), e2020WR028.
15. Carvalho, S., et al. (2020). *Drones in biodiversity conservation: A review*. Biological Conservation, 246, 108592.
16. United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: UN.
17. World Bank. (2020). *Digital Technologies for Climate Resilience*. Washington, DC: World Bank.
18. Narayan, S., et al. (2017). *The value of coastal wetlands for flood damage reduction*. Scientific Reports, 7, 9463.
19. IUCN. (2020). *Global Standard for Nature-Based Solutions*. IUCN: Gland, Switzerland.
20. Guzha, A.C., et al. (2018). *The role of ecosystems in hydrological regulation under climate change scenarios*. Ecohydrology, 11(2), e1965.