10. Olofsson P., Foody G.M., Herold M., Stehman S.V., Woodcock C.E., Wulder M.A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 148. – P. 42–57.

11. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi «“Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-6079-son Farmoni.

12. Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // Nature. – 2016. – Vol. 540. – P. 418–422.

13. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. – Cham: Springer, 2015. – P. 234–241.

14. Vogt P., Riitters K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis // European Journal of Remote Sensing. – 2017. – Vol. 50, № 1. – P. 352–361.

15. Wulder M.A., Loveland T.R., Roy D.P. et al. Current status of Landsat program, science, and applications // Remote Sensing of Environment. – 2019. – Vol. 225. – P. 127–147.

16. Zanaga D., Van De Kerchove R., Daems D. et al. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. – Zenodo, 2022.

17. Zhu X.X., Tuia D., Mou L. et al. Deep learning in remote sensing: a comprehensive review and list of resources // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2017. – Vol. 5, № 4. – P. 8–36.

## GEOAXBOROT TEXNOLOGIYALARI VA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA LANDSHAFTLAR MONITORINGI

**Karimjonov Jahongir Alisher o‘g‘li**
**Geografiya yo‘nalishi 2-bosqich magistranti**
**e-mail: jaxongirkarimjonov0106@gmail.com**

***Annotatsiya.*** *Maqolada raqamli geografiya, geoaxborot texnologiyalari va sun’iy intellekt (GeoAI) integratsiyasining landshaftlar holatini monitoring qilishdagi zamonaviy yondashuvlari tahlil qilingan. Ochiq masofadan zondlash ma’lumotlari va global yer qoplami mahsulotlari, mashinali o‘qitish va chuqur o‘qitish usullari hamda bulutli hisoblash platformalarining imkoniyatlari va cheklovlari qiyosiy baholangan. Natijalar asosida Farg‘ona viloyati kabi yuqori darajada o‘zlashtirilgan hududlarda landshaftlar va ekologik karkas monitoringi uchun olti bosqichli amaliy algoritm taklif etilgan. Algoritm ochiq ma’lumotlar va bepul dasturiy vositalarga tayanib, natijalar aniqligini standart usullar bilan baholashni nazarda tutadi.*

***Kalit so‘zlar:*** *raqamli geografiya, GeoAI, sun’iy intellekt, masofadan zondlash, Sentinel-2, Google Earth Engine, yer qoplamini tasniflash, landshaft monitoringi.*

**Kirish.** So‘nggi o‘n yillikda geografik tadqiqotlarning ma’lumot bazasi tubdan o‘zgardi. Yuqori aniqlikdagi sun’iy yo‘ldosh tasvirlarining ochiq va bepul tarqatilishi, bulutli hisoblash platformalari hamda sun’iy intellekt algoritmlarining rivojlanishi katta hududlarni muntazam va takrorlanuvchan usulda kuzatish imkonini berdi [6; 15]. Natijada geografiya fanida yangi yo‘nalish – geografik bilimlarni olish uchun fazoviy omillarni hisobga oluvchi sun’iy intellekt usullarini qo‘llovchi GeoAI shakllandi [8].

Tadqiqot obyekti – landshaftlar va yer qoplami holatini monitoring qilish tizimlari; predmeti – geoaxborot texnologiyalari va sun’iy intellekt usullarini landshaft monitoringida qo‘llashning ilmiy-metodik asoslari va amaliy imkoniyatlari.

O‘zbekistonda «Raqamli O‘zbekiston – 2030» strategiyasi doirasida iqtisodiyot tarmoqlari va davlat boshqaruviga raqamli texnologiyalarni joriy etish ustuvor vazifa sifatida belgilangan [11]. Tabiatdan foydalanish va atrof-muhit muhofazasi sohasida bu vazifa yer qoplami, suv obyektlari va o‘simlik qoplami o‘zgarishlarini tezkor va obyektiv aniqlovchi raqamli monitoring tizimlarini talab qiladi. Ayniqsa aholi zichligi yuqori, sug‘orma dehqonchilik va urbanizatsiya jadal rivojlangan Farg‘ona vodiysida landshaftlarning antropogen o‘zgarishi tez kechadi va an’anaviy dala usullari bilan uni muntazam kuzatish

qiyin. Shu bilan birga, global mahsulotlar va sun’iy intellekt modellarini mahalliy sharoitda tekshirmasdan qo‘llash xatoliklarga olib kelishi mumkin.

Maqolaning maqsadi – GeoAI yondashuvlarini landshaft monitoringi nuqtai nazaridan tizimlashtirish va ularni mintaqaviy darajada qo‘llashning amaliy algoritmini taklif etishdan iborat.

**Muhokama va natijalar.** Landshaft monitoringining asosi – ochiq masofadan zondlash ma’lumotlari va ular asosida yaratilgan global mahsulotlar (1-jadval). Sentinel-2 missiyasi 13 spektral kanalda 10–60 m aniqlikdagi tasvirlarni ikki yo‘ldosh bilan qariyb 5 kunlik takroriylikda taqdim etadi [4]. Landsat seriyasi 30 m aniqlikdagi uzoq muddatli arxiv bilan o‘zgarishlarni o‘n yilliklar kesimida tahlil qilish imkonini beradi [15]. Sun’iy intellekt yordamida yaratilgan global mahsulotlar – Dynamic World [3], ESA WorldCover [16], yer usti suvlari [12] va o‘rmon qoplami o‘zgarishlari [7] xaritalari – mahalliy tasniflash uchun tayyor qatlam yoki o‘quv namunalarining manbai bo‘lib xizmat qiladi.

**1-jadval**

**Landshaft monitoringida qo‘llaniladigan asosiy ochiq ma’lumotlar**

| Ma’lumot manbai | Fazoviy aniqligi | Landshaft monitoringidagi vazifasi |
|---|---|---|
| Sentinel-2 [4] | 10–60 m | Yer qoplami va o‘simlik holatini mavsumiy kuzatish |
| Landsat arxivi [15] | 30 m | Uzoq muddatli (o‘n yilliklar) o‘zgarishlarni aniqlash |
| Dynamic World [3] | 10 m | Deyarli real vaqtdagi yer qoplami ehtimolliklari |
| ESA WorldCover [16] | 10 m | Yillik global yer qoplami xaritasi; solishtirish qatlami |
| Global Surface Water [12] | 30 m | Suv obyektlarining ko‘p yillik dinamikasi |
| Global Forest Change [7] | 30 m | Daraxt qoplamining yo‘qolishi va tiklanishi |

Yer qoplamini tasniflashda ikki guruh usullar qo‘llaniladi. Birinchisi – klassik mashinali o‘qitish, ayniqsa Random Forest algoritmi [2]: u nisbatan kam o‘quv namunasi bilan barqaror natija beradi, o‘zgaruvchilar ahamiyatini baholaydi va masofadan zondlashda eng keng tarqalgan usullardan biridir [1]. Ikkinchisi – chuqur o‘qitish, xususan konvolyutsion neyron tarmoqlar va U-Net arxitekturasi [13]: ular tasvirdagi fazoviy tuzilmani (shakl, tekstura) avtomatik o‘rganib, murakkab obyektlarni ajratishda yuqori natija beradi, biroq katta hajmdagi belgilangan ma’lumotlar va hisoblash resurslarini talab qiladi [17]. Usullarning qiyosiy tavsifi 2-jadvalda keltirilgan.

**2-jadval**

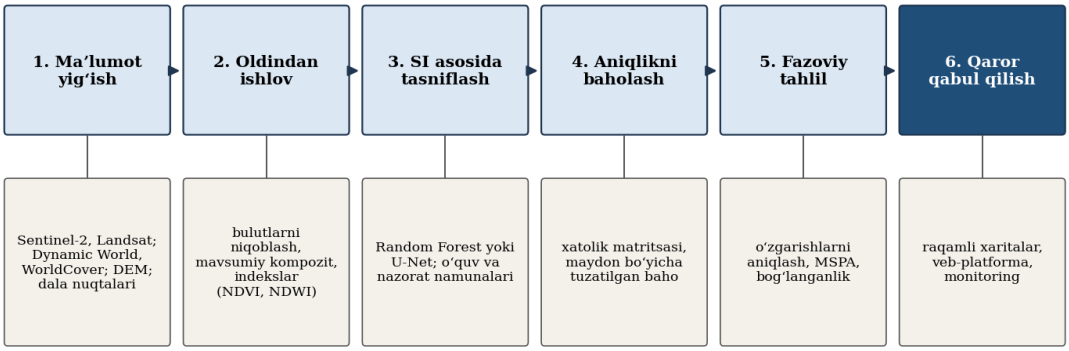
**Landshaft monitoringida sun’iy intellekt usullarining qiyosiy tavsifi**

| Mezon | Mashinali o‘qitish (Random Forest) | Chuqur o‘qitish (CNN, U-Net) |
|---|---|---|
| Kirish ma’lumoti | Piksel yoki obyekt bo‘yicha spektral va indeks qiymatlari | Tasvir fragmentlari (fazoviy kontekst bilan) |
| O‘quv namunalari | Yuzlab nuqtalar yetarli | Minglab belgilangan tasvirlar kerak |
| Hisoblash resursi | Past; bulutli platformada bajariladi | Yuqori; grafik protsessor talab qilinadi |
| Natijani talqin qilish | O‘zgaruvchilar ahamiyati baholanadi | «Qora quti»; talqin qilish qiyin |
| Mintaqaviy | Tez joriy etish uchun qulay | O‘quv bazasi yaratilgandan so‘ng |

| Mezon | Mashinali o‘qitish (Random Forest) | Chuqur o‘qitish (CNN, U-Net) |
|---|---|---|
| qo‘llanishi | | samarali |

Google Earth Engine kabi bulutli platformalar petabaytli arxivlarni foydalanuvchi kompyuteriga yuklamasdan tahlil qilish imkonini berib, mintaqaviy monitoringni texnik jihatdan qulay qildi [6]. Biroq har qanday SI asosidagi xaritaning ilmiy qiymati uning aniqligi bilan belgilanadi. Xalqaro tavsiyalarga ko‘ra, aniqlik mustaqil nazorat namunalari asosida xatolik matritsasi orqali baholanishi, sinflar maydoni esa xatoliklarni hisobga olgan holda tuzatilishi lozim [10]. Global mahsulotlar ham mahalliy sharoitda alohida tekshirilishi zarur: qurg‘oqchil hududlarda suvg‘oriladigan yerlar, sun’iy daraxtzorlar, sho‘rxoklar va qumliklar spektral jihatdan o‘xshash bo‘lishi sinflararo chalkashlikka olib kelishi mumkin.

Tahlil natijalari asosida Farg‘ona viloyati kabi yuqori darajada o‘zlashtirilgan hududlar uchun olti bosqichli algoritm taklif etildi (1-rasm). Birinchi bosqichda Sentinel-2 va Landsat tasvirlari, global yer qoplami mahsulotlari, relyef modeli va dala nuqtalari yig‘iladi. Ikkinchi bosqichda bulutlar niqoblanib, mavsumiy kompozitlar va spektral indekslar (NDVI, NDWI) hisoblanadi. Uchinchi bosqichda Random Forest yoki yetarli o‘quv bazasi mavjud bo‘lganda U-Net yordamida yer qoplami tasniflanadi. To‘rtinchi bosqichda aniqlik mustaqil namunalar asosida baholanadi [10]. Beshinchi bosqichda o‘zgarishlar aniqlanadi va tabiiy patchlar MSPA usulida tahlil qilinib [14], ekologik bog‘langanlik baholanadi. Oltinchi bosqichda natijalar raqamli xaritalar va veb-platforma orqali qaror qabul qiluvchilarga yetkaziladi.




1-rasm. GeoAI asosida landshaft monitoringining amaliy algoritmi

Algoritmning afzalligi shundaki, u to‘liq ochiq ma’lumotlar va bepul vositalar (Google Earth Engine, QGIS, GuidosToolbox) asosida bajariladi va har yili takrorlanishi mumkin. Shu bilan birga, dala tekshiruvi va aholining ixtiyoriy geografik ma’lumotlari [5] o‘quv va nazorat namunalarini boyitish manbai sifatida muhim. Cheklovlar sifatida mahalliy o‘quv ma’lumotlari bazasining yo‘qligi, bulutli davrlarda tasvirlar tanqisligi va chuqur o‘qitish modellari natijalarini talqin qilish qiyinligini qayd etish lozim. So‘nggi yillarda paydo bo‘lgan universal segmentatsiya modellari [9] belgilangan ma’lumotlarga ehtiyojni kamaytirish imkoniyatini ochmoqda, ammo ularning landshaft tadqiqotlaridagi samaradorligi hali tekshirilishi kerak.

**Xulosa.** Ochiq masofadan zondlash ma’lumotlari, bulutli hisoblash platformalari va sun’iy intellekt usullarining integratsiyasi (GeoAI) landshaftlarni katta hududlarda muntazam, obyektiv va takrorlanuvchan monitoring qilish imkonini beradi va raqamli geografiyaning asosiy amaliy yo‘nalishiga aylangan.

Mintaqaviy monitoringda tez joriy etish uchun Random Forest kabi klassik mashinali o‘qitish usullari, mahalliy o‘quv bazasi yaratilgandan so‘ng esa chuqur o‘qitish modellari maqsadga muvofiq; global mahsulotlar mahalliy sharoitda mustaqil tekshirilmasdan qo‘llanilmasligi kerak.

Taklif etilgan olti bosqichli algoritm yer qoplamini tasniflash, aniqlikni baholash, o‘zgarishlarni aniqlash va ekologik bog‘langanlik tahlilini yagona jarayonga birlashtiradi va Farg‘ona viloyatida landshaftlar hamda ekologik karkas monitoringini tashkil etish uchun metodik asos bo‘lib xizmat qiladi.

**Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Belgiu M., Drăguţ L. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2016. – Vol. 114. – P. 24–31.

2. Breiman L. Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, № 1. – P. 5–32.

3. Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B. et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping // Scientific Data. – 2022. – Vol. 9. – 251.

4. Drusch M., Del Bello U., Carlier S. et al. Sentinel-2: ESA’s optical high-resolution mission for GMES operational services // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 120. – P. 25–36.

5. Goodchild M.F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography // GeoJournal. – 2007. – Vol. 69, № 4. – P. 211–221.

6. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 202. – P. 18–27.

7. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. – 2013. – Vol. 342. – P. 850–853.

8. Janowicz K., Gao S., McKenzie G., Hu Y., Bhaduri B. GeoAI: spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond // International Journal of Geographical Information Science. – 2020. – Vol. 34, № 4. – P. 625–636.

9. Kirillov A., Mintun E., Ravi N. et al. Segment Anything // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2023. – P. 4015–4026.

10. Olofsson P., Foody G.M., Herold M., Stehman S.V., Woodcock C.E., Wulder M.A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 148. – P. 42–57.

11. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi «“Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-6079-son Farmoni.

12. Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // Nature. – 2016. – Vol. 540. – P. 418–422.

13. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. – Cham: Springer, 2015. – P. 234–241.

14. Vogt P., Riitters K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis // European Journal of Remote Sensing. – 2017. – Vol. 50, № 1. – P. 352–361.

15. Wulder M.A., Loveland T.R., Roy D.P. et al. Current status of Landsat program, science, and applications // Remote Sensing of Environment. – 2019. – Vol. 225. – P. 127–147.

16. Zanaga D., Van De Kerchove R., Daems D. et al. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. – Zenodo, 2022.

17. Zhu X.X., Tuia D., Mou L. et al. Deep learning in remote sensing: a comprehensive review and list of resources // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2017. – Vol. 5, № 4. – P. 8–36.