

MASOFADAN ZONDLASH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA YER RESURLARIDAN FOYDALANISH MONITORINGINI TAKOMILLASHTIRISH

Ramazonova Maftuna Qahramon qizi

Tel: 93-851-92-01

Email: maftuna2001@gmail.com

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada masofadan zondlash texnologiyalari asosida yer resurslaridan foydalanish monitoringini takomillashtirish masalalari o'rganilgan. Tadqiqotning maqsadi - Sentinel-2, Landsat-8/9 va MODIS sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan foydalangan holda qishloq xo'jaligi yerlari, sug'oriladigan maydonlar, tuproq sho'rlanishi va o'simlik qoplamini holatini masofadan aniqlash uchun kompleks metodikani ishlab chiqish va uni Respublika hududlari misolida sinovdan o'tkazishdir. Tadqiqot davomida spektral kanallar bo'yicha vegetatsiya indeksleri (NDVI, NDWI, SAVI) hisoblab chiqildi, ob'ektlarni tasniflash uchun nazorat ostidagi (supervised) klassifikatsiya usullari, jumladan Random Forest algoritmi qo'llanildi hamda natijalar yer usti tekshiruv (ground truth) ma'lumotlari bilan solishtirildi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan metodika yer qoplamini turlarini 92-95 foiz aniqlik bilan tasniflash imkonini beradi, bu esa an'anaviy dala tekshiruvlariga nisbatan vaqt va moliyaviy xarajatlarni sezilarli darajada qisqartiradi. Olingan natijalar yer resurslarini boshqarish, sug'orish tizimlarini rejalashtirish va tuproq degradatsiyasini oldindan aniqlash bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga asos bo'ladi.

Kalit so'zlar: masofadan zondlash, geoaxborot tizimlari, yer resurslari monitoringi, NDVI, Sentinel-2, Landsat, tuproq sho'rlanishi, klassifikatsiya, Random Forest, qishloq xo'jaligi yerlari.

ABSTRACT. This article examines the improvement of land resource use monitoring based on remote sensing technologies. The aim of the study is to develop a comprehensive methodology for the remote identification of agricultural land, irrigated areas, soil salinization, and vegetation cover status using Sentinel-2, Landsat-8/9, and MODIS satellite imagery, and to test it on the example of regions of the Republic of Uzbekistan. Vegetation indices (NDVI, NDWI, SAVI) were calculated across spectral bands, supervised classification methods including the Random Forest algorithm were applied for object classification, and the results were compared with ground-truth data. The analysis showed that the developed methodology allows classifying land cover types with 92-95 percent accuracy, significantly reducing time and financial costs compared to traditional field surveys. The obtained results provide a basis for developing practical recommendations on land resource management, irrigation system planning, and early detection of soil degradation.

Keywords: remote sensing, geographic information systems, land resource monitoring, NDVI, Sentinel-2, Landsat, soil salinization, classification, Random Forest, agricultural land.

KIRISH

Yer resurslari - har qanday davlat iqtisodiyoti, oziq-ovqat xavfsizligi va ekologik barqarorligining asosiy tayanch nuqtasi hisoblanadi. So'nggi o'n yilliklarda aholi sonining tez o'sishi, iqlim o'zgarishi, sanoatlashtirish va urbanizatsiya jarayonlarining kuchayishi natijasida yer resurslariga bo'lgan antropogen bosim keskin ortmoqda. Xususan, Markaziy Osiyo mintaqasida, jumladan O'zbekiston Respublikasida sug'oriladigan yerlarning sho'rlanishi, tuproq unumdorligining pasayishi, yaylovlarning degradatsiyaga uchrashi va qishloq xo'jaligi maydonlarining boshqa maqsadlarga o'tkazilishi dolzarb muammolardan biriga aylangan. An'anaviy usulda yer resurslari monitoringi dala tekshiruvlari, kadastr

hujjatlari va statistik hisobotlarga asoslanadi. Bunday yondashuv aniq ma'lumot bergani holda, katta hududlarni qamrab olishda ancha vaqt va mehnat talab qiladi, shuningdek ma'lumotlarning yangilanish chastotasi past bo'ladi. Natijada qaror qabul qiluvchi organlar ko'pincha eskirgan yoki to'liq bo'lmagan ma'lumotlar asosida ish yuritishga majbur bo'ladi. Bu esa yer resurslaridan foydalanishni boshqarishda samarasizlikka, sug'orish suvlarini noto'g'ri taqsimlashga va degradatsiya jarayonlarining o'z vaqtida aniqlanmasligiga olib keladi.

Yer resurslari monitoringi tushunchasi o'z ichiga yer qoplamini turlarini aniqlash, ularning vaqt bo'yicha o'zgarishini kuzatish, tuproq unumdorligi va namligi holatini baholash, shuningdek yer resurslaridan noqonuniy yoki maqsadga muvofiq bo'lmagan foydalanish holatlarini aniqlashni qamrab oladi. Ushbu vazifalarning barchasini samarali bajarish uchun uzluksiz, keng qamrovli va ob'ektiv ma'lumotlar zarur, buni esa faqat zamonaviy kosmik texnologiyalar ta'minlay oladi.

Masofadan zondlash texnologiyalari (Remote Sensing, RS) va geoaxborot tizimlari (GAT/GIS) so'nggi yillarda yer resurslari monitoringi sohasida inqilobiy o'zgarishlarni ta'minlamoqda [1]. Sentinel, Landsat, MODIS kabi ochiq foydalanishga ega sun'iy yo'ldosh tizimlari yuqori vaqtinchalik va fazoviy ruxsat etilganlik bilan Yer yuzasi haqida muntazam ma'lumot yig'ish imkonini beradi. Bunday texnologiyalar yordamida katta hududlarni qisqa muddatda, nisbatan arzon narxda va yuqori aniqlik bilan tahlil qilish mumkin bo'ladi. Bundan tashqari, bulutli hisoblash platformalari (Google Earth Engine, Sentinel Hub) va mashinali o'rganish algoritmlarining rivojlanishi tasvirlarni avtomatik qayta ishlash va tasniflash jarayonini sezilarli darajada tezlashtirgan [2]. Shu bilan birga, O'zbekiston sharoitida masofadan zondlash ma'lumotlaridan yer resurslari monitoringida foydalanish hali yetarlicha tizimlashtirilmagan. Ko'pgina tadqiqotlar alohida hodisalarni (masalan, faqat NDVI tahlili yoki faqat sug'orish maydonlarini aniqlash) qamrab oladi, biroq yer qoplamining turli tarkibiy qismlarini bir vaqtning o'zida kompleks tarzda baholovchi, amaliyotga tatbiq etish mumkin bo'lgan yagona metodika yetarli darajada ishlab

chiqilmagan. Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi ham aynan shu bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

Tadqiqotning maqsadi

Masofadan zondlash texnologiyalari va geoaxborot tizimlari asosida yer resurslaridan foydalanish holatini muntazam kuzatib borish, tahlil qilish va baholash uchun kompleks metodikani ishlab chiqish, uni sinov hududlari misolida amaliy tatbiq etish va samaradorligini baholashdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

- 1) yer resurslari monitoringida qo'llaniladigan zamonaviy masofadan zondlash usullari va sun'iy yo'ldosh tizimlarini tahlil qilish;
- 2) vegetatsiya va namlik indekslarini hisoblash asosida yer qoplami holatini baholash metodikasini ishlab chiqish;
- 3) mashinali o'rganish algoritmlari yordamida yer qoplami turlarini avtomatik tasniflash;
- 4) olingan natijalarni yer usti tekshiruv ma'lumotlari bilan solishtirib, metodikaning aniqligini baholash;
- 5) yer resurslarini boshqarish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

Xalqaro tajriba shuni ko'rsatadiki, masofadan zondlash ma'lumotlaridan yer resurslari monitoringida foydalanish nafaqat ilmiy-tadqiqot ishlarida, balki davlat boshqaruvi amaliyotida ham keng qo'llanilmoqda. Xususan, Yevropa Ittifoqining umumiy qishloq xo'jaligi siyosati (CAP) doirasida sub'ektlarga ajratilgan subsidiyalarning to'g'ri sarflanishini nazorat qilish uchun Sentinel tasvirlaridan muntazam foydalaniladi. Xitoy, Hindiston va Braziliya kabi qishloq xo'jaligi katta hududlarni egallagan mamlakatlarda milliy yer monitoringi tizimlari to'liq masofadan zondlash ma'lumotlariga asoslangan holda qurilgan. Bunday tajribalarni o'rganish va moslashtirilgan holda milliy sharoitga tatbiq etish O'zbekiston uchun ham katta ahamiyatga ega, chunki mamlakatimizda qishloq xo'jaligi

yalpi ichki mahsulotning muhim qismini tashkil etadi va sug'orma dehqonchilikka asoslangan.

Shuningdek, iqlim o'zgarishi sharoitida suv resurslarining tanqisligi kuchayib borayotgani sug'orish samaradorligini oshirish va yer resurslaridan oqilona foydalanishni yanada dolzarblashtirmoqda. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO) ma'lumotlariga ko'ra, Markaziy Osiyo mintaqasida so'nggi 20 yil ichida sug'oriladigan yerlarning taxminan 40 foizi turli darajadagi sho'rlanish yoki degradatsiya belgilariga ega. Bu holat masofadan zondlash asosidagi doimiy monitoring tizimlarini joriy etishning naqadar zarurligini yana bir bor ko'rsatadi.

MATERIALLAR VA METODLAR

Tadqiqot to'rt bosqichli dizayn asosida tashkil etildi:

- 1) ma'lumotlarni yig'ish va dastlabki qayta ishlash;
- 2) spektral indekslarni hisoblash va yer qoplamini tasniflash;
- 3) natijalarni dala ma'lumotlari bilan tekshirish (validatsiya);
- 4) statistik tahlil va tendensiyalarni aniqlash. Har bir bosqich navbatdagisi uchun kirish ma'lumotlarini shakllantirdi, bu esa tadqiqotning izchilligini va natijalarning takrorlanuvchanligini ta'minladi.

Tadqiqot metodologiyasi xalqaro amaliyotda keng tan olingan masofadan zondlash tadqiqotlari standartlariga (jumladan ESA va USGS tomonidan tavsiya etilgan yo'riqnomalarga) muvofiq ishlab chiqildi.

Tadqiqot uchun sinov maydonchalari sifatida O'zbekiston Respublikasining sug'orma dehqonchilik rivojlangan to'rtta tumani - Oqdaryo, Zomin, Sirdaryo va Buxoro tumanlari tanlab olindi. Ushbu hududlar tuproq-iqlim sharoitlari, sug'orish infratuzilmasi darajasi va yer resurslaridan foydalanish xususiyatlari bo'yicha bir-biridan farq qiladi, bu esa ishlab

chiqilgan metodikaning turli sharoitlarda ishlashini tekshirish imkonini berdi. Umumiy tahlil qilingan maydon 156,6 ming gektarni tashkil etdi.

Tadqiqotda asosiy ma'lumot manbai sifatida Yevropa Kosmik Agentligining (ESA) Copernicus dasturi doirasidagi Sentinel-2 (MSI sensori, 10-20 m fazoviy ruxsat) va Sentinel-1 (SAR, radar) tasvirlari, shuningdek AQSh Geologik xizmatining (USGS) Landsat-8/9 (OLI/TIRS sensori, 30 m) va MODIS (250-500 m) mahsulotlaridan foydalanildi. Barcha tasvirlar 2021-2025-yillarning vegetatsiya davri (aprel-oktabr) bo'yicha, bulutlilik darajasi 10 foizdan oshmagan sanalar tanlab olindi. Ma'lumotlar Google Earth Engine bulutli hisoblash platformasi orqali yuklab olindi va dastlabki qayta ishlandi (atmosfera korreksiyasi, bulut niqoblash, radiometrik kalibrlash).

Quyidagi 1-jadvalda tadqiqotda foydalanilgan asosiy sun'iy yo'ldosh tizimlari va ularning qo'llanish yo'nalishlari keltirilgan.

1-jadval. Tadqiqotda qo'llanilgan masofadan zondlash tizimlari

№	Yo'nalish	Qo'llaniladigan sun'iy yo'ldosh tizimlari	Fazoviy ruxsat, m
1	Ekin maydonlarini aniqlash	Sentinel-2, Landsat-8/9	10-30
2	Tuproq degradatsiyasi va sho'rlanish	Landsat-8/9, MODIS	30-250
3	Sug'orish tizimlari holati	Sentinel-1 (SAR), Sentinel-2	10-20
4	Urbanizatsiya va yer maydonlari o'zgarishi	Sentinel-2, yuqori ruxsatli tijorat suratlar	0.5-10
5	O'simlik qoplami holati (NDVI)	MODIS, Sentinel-2, Landsat	10-250

Yer qoplamining holatini miqdoriy baholash uchun quyidagi spektral indekslar qo'llanildi. Normallashtirilgan farqli vegetatsiya indeksi (NDVI) o'simlik qoplamining fotosintez faolligi va biomassasini baholash uchun quyidagi formula bo'yicha hisoblandi: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, bu yerda NIR - yaqin infraqizil kanal, RED - qizil kanal aksi [3]. Normallashtirilgan farqli suv indeksi (NDWI) sug'orma yerlar va suv havzalarini aniqlash uchun $NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$ formulasi bo'yicha, tuproqqa moslashtirilgan vegetatsiya indeksi (SAVI) esa siyrak o'simlik qoplamli hududlarda tuproq fonining ta'sirini kamaytirish maqsadida qo'llanildi. Tuproq sho'rlanish darajasini baholash uchun sho'rlanish indeksi (Salinity Index, SI) va qisqa to'lqinli infraqizil kanallar nisbati qo'llanildi, chunki sho'rlangan tuproqlar spektral sig'natura bo'yicha oddiy tuproqlardan sezilarli farq qiladi.

Yer qoplamini turlarini (sug'oriladigan ekin maydonlari, lalmi yerlar, yaylovlar, o'rmon-daraxtzorlar, suv havzalari, urbanizatsiyalashgan hududlar va yalang'och/sho'rlangan tuproqlar) avtomatik tasniflash uchun nazorat ostidagi klassifikatsiya usuli - Random Forest (tasodifiy o'rmon) algoritmi qo'llanildi [4]. Ushbu algoritim ko'p sonli qaror daraxtlarini yaratish va ularning natijalarini birlashtirish orqali yuqori aniqlikka erishish imkonini beradi hamda ortiqcha moslashish (overfitting) xavfini kamaytiradi. Modelni o'qitish uchun har bir sinf bo'yicha kamida 250 tadan namunaviy nuqta (training samples) yer usti tekshiruvlari va yuqori aniqlikli tarixiy tasvirlar asosida shakllantirildi. Umumiy namunalarning 70 foizi modelni o'qitish, 30 foizi esa uni sinovdan o'tkazish uchun ajratildi.

Modelning aniqligini baholash uchun umumiy aniqlik (Overall Accuracy), Kappa koeffitsienti va har bir sinf bo'yicha ishlab chiqaruvchi hamda foydalanuvchi aniqligi (Producer's va User's Accuracy) ko'rsatkichlaridan foydalanildi. Bu ko'rsatkichlar xatolik matritsasi (confusion matrix) asosida hisoblab chiqildi [5].

Tadqiqot besh yillik davrni (2021-2025) qamrab oldi, bu esa yer resurslaridagi qisqa muddatli mavsumiy o'zgarishlar bilan bir qatorda uzoq muddatli tendensiyalarni ham

aniqlash imkonini berdi. Har bir yil bo'yicha vegetatsiya davrida kamida 8-10 ta bulutsiz sana tanlab olindi, umumiy hisobda tahlil uchun 1 200 dan ortiq Sentinel-2 va Landsat sahnasi, shuningdek 340 dan ortiq Sentinel-1 radar tasviri qayta ishlandi. Bunday katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash uchun Google Earth Engine platformasining bulutli hisoblash imkoniyatlaridan foydalanish mahalliy kompyuter resurslariga bo'lgan ehtiyojni sezilarli darajada kamaytirdi va tahlil jarayonini tezlashtirdi.

Ma'lumotlar sifatini ta'minlash maqsadida har bir sana bo'yicha tasvirlarning bulutlilik foizi, sensorlarning texnik holati va geometrik tekislik ko'rsatkichlari alohida tekshirildi. Sifat mezonlariga javob bermagan tasvirlar tahlildan chetlashtirildi, buning o'rniga yaqin sanadagi muqobil tasvirlardan foydalanildi. Bu yondashuv yakuniy natijalarning ishonchliligini oshirishga xizmat qildi.

Sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida olingan natijalarni tekshirish maqsadida tanlab olingan hududlarda dala ekspeditsiyalari o'tkazildi. Har bir tumanda tasodifiy tanlash usuli bilan 80-100 nazorat nuqtasi belgilandi, ularda GPS-navigator yordamida koordinatalar aniqlandi, ekin turi, tuproq holati va sug'orish infratuzilmasi vizual ravishda qayd etildi. Yig'ilgan ma'lumotlar geoaxborot tizimida (QGIS, ArcGIS) sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan olingan tasniflash natijalari bilan qiyoslandi.

Sun'iy yo'ldosh tasvirlarini qayta ishlash bir necha izchil bosqichlardan iborat bo'ldi. Birinchi bosqichda tasvirlarning radiometrik va atmosfera korreksiyasi amalga oshirildi, bu esa atmosfera qatlamining spektral ko'rsatkichlarga ta'sirini bartaraf etish imkonini berdi. Ikkinchi bosqichda bulut va bulut soyalarini niqoblash (cloud masking) uchun Sentinel-2 tasvirlarining sifat nazorati (QA60) kanallaridan foydalanildi. Uchinchi bosqichda tanlangan hududlar bo'yicha mavsumiy kompozit tasvirlar (seasonal composite) shakllantirildi, bu esa bulutlilik tufayli yo'qolgan ma'lumotlarni qisman qoplash imkonini berdi. To'rtinchi bosqichda barcha spektral indekslar hisoblab chiqildi va ular asosida ko'p qatlamli (multi-band) tahlil ma'lumotlar to'plami shakllantirildi. Yakuniy bosqichda tayyorlangan ma'lumotlar to'plami Random Forest algoritmiga uzatildi. Algoritm

parametrlari sifatida daraxtlar soni ($n_estimators$) 500 ga, har bir tugunni bo'lish uchun minimal namunalar soni 5 ga, daraxtlarning maksimal chuqurligi esa cheklanmagan holatga o'rnatildi. Model giperparametrlarini optimallashtirish uchun 5 karrali o'zaro tekshiruv (5-fold cross-validation) usuli qo'llanildi, bu esa modelning turli ma'lumot bo'laklarida barqaror ishlashini ta'minladi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligini ta'minlash uchun bir necha choralar ko'rildi. Birinchidan, tasniflash jarayoni har bir tuman uchun alohida va barcha tumanlar uchun birgalikda ikki marta - mustaqil ravishda takrorlandi, natijalar o'rtasidagi farq 2 foizdan oshmagani aniqlandi, bu esa metodikaning barqarorligini tasdiqlaydi. Ikkinchidan, dala tekshiruv nuqtalarini tanlashda tasodifiy stratifikatsiyalangan tanlash (stratified random sampling) usuli qo'llanildi, bu esa har bir yer qoplamasi toifasining namunada teng darajada ifodalanishini ta'minladi. Uchinchidan, natijalar mustaqil ekspertlar tomonidan vizual tekshiruvdan o'tkazildi, bunda yuqori aniqlikli tarixiy tasvirlar (Google Earth, yuqori ruxsatli tijorat suratlar) yordamida tasniflash xatolari qo'shimcha tarzda aniqlandi va tuzatildi.

Yer qoplamidagi vaqt bo'yicha o'zgarishlarni aniqlash uchun o'zgarishlarni aniqlash (change detection) usuli, xususan tasvirlar farqi (image differencing) va tasniflashdan keyingi solishtirish (post-classification comparison) usullari qo'llanildi. NDVI va sho'rlanish indekslarining vaqt bo'yicha tendensiyasini baholash uchun chiziqli regressiya tahlili (linear trend analysis) o'tkazildi, natijalarning statistik ahamiyatliligi Mann-Kendall testi yordamida tekshirildi ($p < 0,05$ darajasida). Barcha statistik hisob-kitoblar Python dasturlash tili va uning NumPy, Pandas, Scikit-learn kutubxonalari yordamida amalga oshirildi, xaritalashtirish esa QGIS dasturiy ta'minotida bajarildi.

NATIJALAR

Tadqiqot natijasida ishlab chiqilgan kompleks metodika tanlangan to'rtta tuman hududida sinovdan o'tkazildi. 2-jadvalda har bir tuman bo'yicha tahlil qilingan umumiy maydon, tasniflash aniqligi va aniqlangan asosiy tendensiyalar keltirilgan.

2-jadval. Sinov hududlari bo'yicha tasniflash natijalari (2021-2025)

Tuman	Umumiy tahlil qilingan maydon, ming ga	Aniqlangan aniqlik, %	Asosiy o'zgarish tendensiyasi
Oqdaryo	42,3	93,4	Sug'oriladigan yerlar qisqarishi
Zomin	38,7	91,8	Yaylov degradatsiyasi kuchayishi
Sirdaryo	29,1	94,1	Sho'rlangan maydonlar ortishi
Buxoro	46,5	92,6	Urbanizatsiya hisobiga qishloq xo'jaligi yerlari kamayishi

Umumiy tasniflash aniqligi barcha sinov hududlari bo'yicha o'rtacha 92,9 foizni, Kappa koeffitsienti esa 0,89-0,93 oralig'ini tashkil etdi, bu esa natijalarning yuqori ishonchliligini tasdiqlaydi. Eng yuqori aniqlik suv havzalari va sug'oriladigan ekin maydonlarini aniqlashda (95-97%) kuzatildi, chunki bu ob'ektlar spektral jihatdan aniq farqlanadigan xususiyatlarga ega. Nisbatan past aniqlik (86-89%) yaylov va lalmi yerlar o'rtasidagi chegara zonalarida qayd etildi, bu esa ushbu ikki toifaning vegetatsiya davrining ba'zi bosqichlarida spektral xususiyatlari o'xshash bo'lishi bilan izohlanadi. NDVI dinamikasini ko'p yillik tahlil qilish natijasida barcha tumanlar bo'yicha vegetatsiya davri

o'rtasida (iyun-iyul oylarida) o'simlik qoplami faolligining eng yuqori ko'rsatkichlariga erishilgani aniqlandi. Biroq 2021-2025-yillar davomida Zomin va Oqdaryo tumanlarida vegetatsiya cho'qqisidagi o'rtacha NDVI qiymati yiliga taxminan 0,01-0,015 birlikka pasayish tendensiyasini ko'rsatdi, bu esa ushbu hududlarda o'simlik qoplami holatining sekin-astalik bilan yomonlashayotganidan dalolat beradi. Sho'rlanish indeksi asosida o'tkazilgan tahlil Sirdaryo tumanida sug'oriladigan maydonlarning 14,2 foizida o'rtacha va yuqori darajadagi sho'rlanish belgilari mavjudligini ko'rsatdi, bu ko'rsatkich 2021-yilga nisbatan 3,1 foiz punktga oshgan [6]. Buxoro tumanida esa qishloq xo'jaligi yerlarining chekka qismlarida urbanizatsiya jarayoni tufayli 2021-2025-yillar davomida taxminan 1 870 gektar qishloq xo'jaligi yeri boshqa maqsadlarga (turar-joy va infratuzilma qurilishi) o'tkazilgani aniqlandi. Sug'orish tizimlari holatini Sentinel-1 radar tasvirlari asosida tahlil qilish natijasida barcha tumanlar bo'yicha sug'orish tarmoqlarining 8-12 foizida suv yetkazib berish tartibida uzilishlar yoki notekislik mavjudligi aniqlandi, bu esa ushbu hududlarda sug'orish infratuzilmasini modernizatsiya qilish zaruratini ko'rsatadi. Ishlab chiqilgan metodikani qo'llash orqali bitta tumanni to'liq tahlil qilish uchun sarflangan o'rtacha vaqt an'anaviy dala tekshiruvlariga nisbatan taxminan 4,5 baravar qisqardi, moliyaviy xarajatlar esa 60 foizga kamaydi, bu esa texnologiyaning iqtisodiy samaradorligini yaqqol namoyon etadi.

Tahlil qilingan hududlarning fazoviy xaritalarini yaratish natijasida NDVI qiymatlarining hudud ichida notekis taqsimlanganligi aniqlandi. Daryo va kanallarga yaqin joylashgan maydonlarda NDVI qiymatlari 0,6-0,8 oralig'ida bo'lib, bu yuqori o'simlik faolligini bildiradi, chegara hududlar va sug'orish tarmog'idan uzoqroq joylashgan maydonlarda esa bu ko'rsatkich 0,3-0,45 oralig'igacha pasaygani kuzatildi. Bunday fazoviy taqsimot sug'orish suvi yetkazib berish tizimidagi notekislikning bevosita oqibati sifatida baholanadi va kelgusida sug'orish tarmog'ini modernizatsiya qilish bo'yicha ustuvor yo'nalishlarni belgilashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tasniflash natijalarini 2021 va 2025-yillar bo'yicha solishtirish orqali yer qoplami toifalarining nisbiy ulushidagi o'zgarishlar aniqlandi. Tahlil qilingan to'rtta tuman bo'yicha o'rtacha hisobda sug'oriladigan ekin maydonlari ulushi 2,3 foiz punktga kamaygani, urbanizatsiyalashgan hududlar ulushi esa 3,1 foiz punktga oshgani qayd etildi. Yaylov maydonlarining sifat tarkibida ham o'zgarishlar kuzatildi: past unumdorlikka ega degradatsiyalashgan yaylovlar ulushi 5,4 foiz punktga oshdi, bu esa chorvachilik sohasi uchun uzoq muddatli xavf tug'diradi.

Sug'oriladigan yerlarning tuman kesimidagi taqsimoti tahlili shuni ko'rsatdiki, Buxoro tumanida qishloq xo'jaligi yerlarining eng katta qismi (46,5 ming gektar) tekshirilgan bo'lsada, aynan shu tumanda urbanizatsiya jarayoni eng jadal sur'atlarda kechmoqda. Sirdaryo tumanida esa nisbatan kichikroq maydon (29,1 ming gektar) tahlil qilingan bo'lsa-da, sho'rlanish darajasi eng yuqori ko'rsatkichni tashkil etdi, bu esa mintaqaviy sug'orish-drenaj infratuzilmasining holatiga bog'liqligini ko'rsatadi. NDVI va sho'rlanish indeksleri o'rtasidagi korrelyatsion tahlil natijasida ikki ko'rsatkich o'rtasida statistik jihatdan ahamiyatli teskari bog'liqlik ($r = -0,62$, $p < 0,01$) aniqlandi, ya'ni sho'rlanish darajasi yuqori bo'lgan maydonlarda o'simlik qoplamining faolligi sezilarli darajada pastligi tasdiqlandi. Bu natija ikkala indeksni birgalikda qo'llash yer resurslari holatini yaxlit baholashda samarali ekanligini ko'rsatadi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar masofadan zondlash texnologiyalarining yer resurslari monitoringida yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Tasniflash aniqligining 92-95 foiz oralig'ida bo'lishi ilgari o'tkazilgan xalqaro tadqiqotlar natijalari bilan mos keladi, bu esa Random Forest algoritmining o'rta fazoviy ruxsatli tasvirlar bilan ishlashda barqaror natijalar berishini yana bir bor tasdiqlaydi. Shu bilan birga, yaylov va lalmi yerlar o'rtasidagi tasniflash aniqligining nisbatan pastligi shuni ko'rsatadiki, kelajakdagi tadqiqotlarda vaqt seriyali (multi-temporal) tahlildan, ya'ni bir necha fasldagi tasvirlarni birgalikda qo'llashdan foydalanish natijalarni yanada yaxshilashi mumkin. Tuproq

sho'rlanishining Sirdaryo tumanida oshib borayotgani, avvalgi tadqiqotlarda qayd etilgan Markaziy Osiyoning sug'orma dehqonchilik hududlarida sho'rlanish jarayonlarining kuchayishi tendensiyasi bilan uyg'unlashadi. Bu holat drenaj tizimlarining yetarli darajada ishlamasligi, sug'orish suvidan me'yordan ortiq foydalanish va yer osti suvlari sathining ko'tarilishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, masofadan zondlash ma'lumotlarini gidrogeologik monitoring tizimlari bilan integratsiya qilish sho'rlanish jarayonlarining sabablarini chuqurroq tushunish imkonini beradi. Buxoro tumanida qayd etilgan qishloq xo'jaligi yerlarining urbanizatsiya hisobiga qisqarishi mamlakat miqyosida kuzatilayotgan umumiy tendensiyaning bir ko'rinishi hisoblanadi. Bu jarayonni oldindan bashorat qilish va nazorat qilish uchun masofadan zondlash ma'lumotlaridan hududiy rejalashtirish tizimlarida muntazam foydalanish tavsiya etiladi, bu esa qishloq xo'jaligi yerlarining asossiz ravishda boshqa maqsadlarga o'tkazilishining oldini olishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalari amaliy nuqtai nazardan bir necha jihatdan ahamiyatlidir. Birinchidan, ishlab chiqilgan metodika markaziy va hududiy boshqaruv organlariga yer resurslaridan foydalanish holatini muntazam, tezkor va nisbatan arzon narxda kuzatib borish imkonini beradi. Ikkinchidan, sho'rlanish va degradatsiya jarayonlarini erta bosqichda aniqlash orqali profilaktik chora-tadbirlarni o'z vaqtida rejalashtirish mumkin bo'ladi. Uchinchidan, sug'orish tizimlaridagi nosozliklarni radar tasvirlari yordamida aniqlash suv resurslaridan samarali foydalanishga hissa qo'shadi. Amaliyotga tatbiq etish nuqtai nazaridan, ishlab chiqilgan tizimni davlat organlari faoliyatiga integratsiya qilish uchun uni mavjud elektron hukumat platformalari va yagona kadastr ma'lumotlar bazasi bilan bog'lash maqsadga muvofiqdir. Bunday integratsiya yer resurslari bo'yicha qarorlar qabul qilish jarayonini ancha tezlashtiradi hamda turli davlat organlari o'rtasida ma'lumot almashinuvini soddalashtiradi. Shuningdek, fermer xo'jaliklari va boshqaruv organlari uchun mobil ilova yoki veb-portal shaklidagi interfeys yaratish orqali monitoring

natijalarini keng jamoatchilikka ochiq va tushunarli tarzda taqdim etish mumkin, bu esa shaffoflikni oshirishga xizmat qiladi.

Shu bilan birga, tadqiqotning ba'zi cheklovlarini ham qayd etish lozim. Optik sensorlarning bulutli kunlarda ma'lumot yig'a olmasligi, ayniqsa qishki va bahor fasllarida uzluksiz kuzatuvni murakkablashtiradi. Bundan tashqari, o'rta fazoviy ruxsatli tasvirlar mayda dehqon xo'jaliklari darajasidagi o'zgarishlarni to'liq aniqlay olmasligi mumkin. Bu cheklovlarni bartaraf etish uchun radar tasvirlar (Sentinel-1) bilan optik tasvirlarni birgalikda qo'llash, shuningdek yuqori fazoviy ruxsatli tijorat sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan qo'shimcha foydalanish tavsiya etiladi.

Mazkur tadqiqotda erishilgan 92-95 foizlik tasniflash aniqligi mintaqaviy va xalqaro miqyosda o'tkazilgan o'xshash tadqiqotlar natijalari bilan taqqoslanganda raqobatbardosh ko'rsatkich hisoblanadi. Xususan, Markaziy Osiyo mintaqasida sug'oriladigan yerlarni Landsat tasvirlari asosida tasniflashga bag'ishlangan ilgari o'tkazilgan tadqiqotlarda aniqlik ko'rsatkichi odatda 85-90 foiz oralig'ida bo'lgan, bu esa asosan past fazoviy ruxsat va cheklangan spektral kanallar soni bilan izohlangan. Sentinel-2 tasvirlarining yuqori fazoviy va spektral ruxsat etilganligi, shuningdek Random Forest algoritmining ansambl xususiyati mazkur tadqiqotda yuqoriroq aniqlikka erishishga imkon berdi. Shu bilan birga, ba'zi rivojlangan mamlakatlarda, masalan Yevropa Ittifoqi davlatlarida, chuqur o'rganish (deep learning) usullarini, xususan konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) va U-Net arxitekturasini qo'llagan tadqiqotlarda 96-98 foizgacha aniqlikka erishilgani qayd etilgan. Bu holat kelajakda mazkur metodikani chuqur o'rganish algoritmlari bilan boyitish orqali natijalarni yanada yaxshilash mumkinligini ko'rsatadi. Biroq shuni ta'kidlash lozimki, bunday algoritmlar katta hajmdagi o'qitiladigan ma'lumotlar to'plami va yuqori hisoblash quvvatini talab qiladi, bu esa amaliy joriy etishda qo'shimcha resurslarni talab qilishi mumkin.

Ishlab chiqilgan metodikaning respublika miqyosida keng joriy etilishi bir qator tashkiliy va texnik masalalarni hal qilishni talab qiladi. Birinchi navbatda, turli

mintaqalarning tuproq-iqlim xususiyatlari hisobga olingan holda tasniflash modellarini har bir agroiklim zonasi uchun alohida kalibrlash zarur, chunki bitta hudud uchun o'qitilgan model boshqa tuproq-iqlim sharoitiga ega hududda past aniqlik ko'rsatishi mumkin. Ikkinchidan, milliy darajadagi ma'lumotlar bazasini yaratish va uni davlat kadastri tizimi bilan integratsiya qilish infratuzilmaviy investitsiyalarni talab qiladi. Uchinchidan, mutaxassislarni geoaxborot tizimlari va masofadan zondlash sohasida qayta tayyorlash dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi, chunki bunday tizimlarni samarali ekspluatatsiya qilish tegishli malakaga ega kadrlarni talab etadi. Iqtisodiy nuqtai nazardan, boshlang'ich bosqichda dasturiy ta'minot, hisoblash quvvati va kadrlar tayyorlashga sarflanadigan xarajatlar yuqori bo'lishi mumkin, biroq uzoq muddatli istiqbolda tizimning o'zini oqlashi va samaradorligi an'anaviy monitoring usullariga nisbatan sezilarli darajada yuqori bo'lishi kutilmoqda. Xususan, tadqiqotimiz natijalarida qayd etilgan xarajatlarning 60 foizga qisqarishi, agar bu ko'rsatkich butun respublika miqyosida qo'llanilsa, davlat byudjeti uchun sezilarli tejamkorlikni ta'minlashi mumkin. Shuningdek, mazkur metodikani boshqa monitoring yo'nalishlari, jumladan o'rmon resurslari holatini kuzatish, suv havzalarining sathini nazorat qilish va tabiiy ofatlar (toshqin, qurg'oqchilik) oqibatlarini baholash uchun ham moslashtirish mumkinligi alohida ta'kidlanishi lozim. Bu esa ishlab chiqilgan yondashuvning universalligini va keng qo'llanilish salohiyatini ko'rsatadi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot natijasida masofadan zondlash texnologiyalari va geoaxborot tizimlari asosida yer resurslaridan foydalanish monitoringini takomillashtirish bo'yicha kompleks metodika ishlab chiqildi va sinov hududlarida amaliy tatbiq etildi. Sentinel-2, Landsat-8/9, Sentinel-1 va MODIS tasvirlaridan foydalangan holda ishlab chiqilgan metodika yer qoplamini turlarini 92-95 foiz aniqlik bilan tasniflash imkonini berdi, bu ko'rsatkich an'anaviy usullarga nisbatan yuqori samaradorlikni ta'minladi. Tadqiqot davomida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi: birinchidan, Random Forest algoritmi asosida qurilgan tasniflash modeli o'rta fazoviy ruxsatli sun'iy yo'ldosh tasvirlari bilan

ishlashda yuqori barqarorlik va aniqlikni namoyon etdi; ikkinchidan, NDVI va sho'rlanish indekslarining ko'p yillik dinamik tahlili tuproq va o'simlik qoplami holatidagi salbiy tendensiyalarni erta bosqichda aniqlash imkonini berdi; uchinchidan, radar tasvirlarni qo'llash sug'orish tizimlaridagi nosozliklarni bulutlilikdan qat'i nazar aniqlashga xizmat qildi; to'rtinchidan, taklif etilgan metodikaning qo'llanilishi monitoring xarajatlarini 60 foizga, vaqt sarfini esa qariyb 4,5 baravar qisqartirdi. Ishlab chiqilgan metodikadan hududiy va milliy darajada yer resurslarini boshqarish tizimlarida, sug'orish suvlarini taqsimlashni rejalashtirishda, tuproq degradatsiyasi va sho'rlanishiga qarshi profilaktik chora-tadbirlarni ishlab chiqishda hamda qishloq xo'jaligi yerlarining asossiz o'zlashtirilishini nazorat qilishda foydalanish tavsiya etiladi. Kelajakdagi tadqiqotlarni chuqurlashtirish uchun sun'iy intellektning chuqur o'rganish (deep learning) usullarini, xususan konvolyutsion neyron tarmoqlarini qo'llash, shuningdek monitoring tizimini butun respublika miqyosida joriy etish maqsadga muvofiqdir.

Umuman olganda, mazkur tadqiqot doirasida amalga oshirilgan ish yer resurslari monitoringi sohasida masofadan zondlash texnologiyalarining nazariy va amaliy salohiyatini yaqqol namoyish etdi. Ishlab chiqilgan yondashuvning modulli tuzilishi uni turli darajadagi foydalanuvchilar - tuman hokimliklaridan tortib respublika miqyosidagi vazirliklargacha - ehtiyojlariga moslashtirish imkonini beradi. Bu esa mamlakatda raqamli qishloq xo'jaligi (digital agriculture) va aqlli boshqaruv (smart governance) tamoyillarini joriy etish yo'lida muhim qadam bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Congalton R. G., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. 328 p.

2. 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.
3. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // Proceedings of the Third ERTS Symposium. NASA SP-351. 1974. Vol. 1. P. 309-317.
4. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45, No. 1. P. 5-32.
5. Xolmatov A. A., Yusupov Sh. T. Sug'oriladigan yerlar sho'rlanishini masofadan zondlash usullari bilan baholash // O'zbekiston qishloq xo'jaligi jurnali. 2023. No. 4. B. 45-52.
6. Karimov T. X. Geoaxborot tizimlari va masofadan zondlash asoslari. Toshkent: Fan va texnologiya, 2022. 214 b.
7. FAO. Land and Water Digital Innovations: Remote Sensing Applications for Sustainable Agriculture. Rome: FAO, 2022. 96 p.
8. Singh A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data // International Journal of Remote Sensing. 1989. Vol. 10, No. 6. P. 989-1003.
9. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27, No. 14. P. 3025-3033.
10. O'zbekiston Respublikasi Yer resurslari, geodeziya, kartografiya va davlat kadastri qo'mitasi. Yer fondi holati to'g'risida statistik hisobot. Toshkent, 2025.
- 131 Nurmatov D. B., Ergasheva N. Q. Geoaxborot texnologiyalari asosida qishloq xo'jaligi yerlarini boshqarish // Irrigatsiya va melioratsiya. 2024. № 2. B. 33-40.