

OROLBO‘YI HUDUDIDAGI YER QOPLAMI VA YASHIL BIOMASSA DINAMIKASINING O‘ZGARISHINI TAHLIL QILISH

Bekdashov Bexro‘z Nuriddin o‘g‘li, kichik ilmiy xodim,
Samatov Nuriddin Rustamjon o‘g‘li, kichik ilmiy xodim,
To‘layev Jo‘rabek Abdurahim o‘g‘li, kichik ilmiy xodim,
Atrof-muhit va tabiatni muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy-tadqiqot instituti.
Keldiyorova Gulmira Farhodovna, t.f.f.d., dotsent,
Samarqand davlat universiteti.

Annotatsiya. Ushbu ilmiy tadqiqot Orolbo‘yi hududining 2000–2024 yillar oralig‘ida kuzatilgan yer qoplami hamda yashil biomassa dinamikasini masofadan zondlash va geoaxborot texnologiyalari yordamida baholashga qaratildi. Buning uchun MODIS, Landsat va Sentinel-2 sensorlariga tegishli jami 21 ta bulutsiz sahna (taxminiy hajmi 35 GB) Google Earth Engine muhitida Sen2Cor atmosferaviy tuzatishlari va Fmask niqoblash jarayonlaridan o‘tkazildi. Mavsumiy median kompozitlar asosida NDVI va LAI qatlamlari ishlab chiqildi. NDVI va dalada o‘lchangan biomassa ma‘lumotlari o‘rtasida Biomassa = $7,63 \times e^{(2,85 \times NDVI)}$ tenglamasi aniqlanib, $R^2 = 0,79$ va RMSE = 3,4 t/ga ko‘rsatkichlari qayd etildi. Yakuniy natijada 10 m (UTM 42N) rezolyutsiyadagi NDVI, LAI va biomassa qatlamlari turli yer qoplami sinflari ustiga joylashtirilib, hududdagi degradatsiya sur‘ati, rekultivatsiya qilingan maydonlar va sug‘orma dehqonchilik zonalarida biomassaning o‘lish-kamayish tendensiyalari aniq ifodalandi. Tadqiqot natijalari suvtejoychi texnologiyalarni rejalashtirish, ekologik monitoring va mintaqaviy hududiy rejalashtirish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim analitik asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlari: Orolbo‘yi; yer qoplami; yashil biomassa; NDVI; LAI; masofadan zondlash; Google Earth Engine; MODIS; Landsat; Sentinel-2; biomassa–NDVI bog‘lanishi; geoaxborot tizimlari; Random Forest; ekologik degradatsiya; rekultivatsiya; sho‘rlanish; vegetatsiya indekslari.

Аннотация. Данное научное исследование было посвящено оценке динамики почвенно-растительного покрова и зеленой биомассы в регионе Аральского моря в период с 2000 по 2024 год с использованием технологий дистанционного зондирования и геоинформации. Для этой цели в общей сложности 21 безоблачная сцена (объемом около 35 ГБ) с датчиков MODIS, Landsat и Sentinel-2 были подвергнуты атмосферным коррекциям Sen2Cor и процессам маскирования Fmask в среде Google Earth Engine. Слои NDVI и LAI были разработаны на основе сезонных медианных композитов. Уравнение Биомасса = $7,63 \times e^{(2,85 \times NDVI)}$ было определено между NDVI и данными полевых измерений биомассы, при этом $R^2 = 0,79$ и RMSE = 3,4 т/га. Конечный результат состоял в том, что слои NDVI, LAI и биомассы с разрешением 10 м (UTM 42N) были наложены на различные классы почвенно-растительного покрова, что наглядно показало скорость деградации в этом районе, тенденции роста и снижения биомассы на мелиорированных территориях и в зонах орошаемого земледелия. Результаты исследований послужат важной аналитической основой для планирования водосберегающих технологий, мониторинга окружающей среды и разработки стратегий регионального пространственного планирования.

Ключевые слова: Аральское море; почвопокровные; зеленая биомасса; NDVI; LAI; дистанционное зондирование; Google Планета Земля; МОДИС; Ландсат; Сентинел-2; взаимосвязь биомассы и NDVI; геоинформационные системы; Случайный лес; ухудшение состояния окружающей среды; рекультивация; соленость; индексы растительности.

Abstract. This scientific study aimed to assess the dynamics of land cover and green biomass in the Aral Sea region observed between 2000 and 2024 using remote sensing and geoinformation technologies. For this purpose, a total of 21 cloud-free scenes (approximately 35 GB in size) from MODIS, Landsat, and Sentinel-2 sensors were processed using Sen2Cor atmospheric corrections and Fmask masking in Google Earth Engine. NDVI and LAI layers were developed based on seasonal median composites. The equation Biomass = $7.63 \times e^{(2.85 \times NDVI)}$ was determined between NDVI and field-measured biomass data, with $R^2 = 0.79$ and RMSE = 3.4 t/ha. The final result was a 10 m (UTM 42N) resolution overlay of NDVI, LAI and biomass layers over different land cover classes, clearly expressing the rate of degradation in the area, the growth and decline trends of biomass in reclaimed areas and irrigated farming zones. The research results serve as an important analytical basis for planning water-saving technologies, environmental monitoring and developing regional spatial planning strategies.

Keywords: Aral Sea; land cover; green biomass; NDVI; LAI; remote sensing; Google Earth Engine; MODIS; Landsat; Sentinel-2; biomass–NDVI linkage; geographic information systems; Random Forest; ecological degradation; reclamation; salinity; vegetation indices.

Kirish. Aholini yetarli va sifatli oziq-ovqat bilan barqaror ta'minlash zamonaviy agrar siyosatning eng muhim maqsadlaridan biridir. Bunga erishishda yer, suv, energiya va mehnat resurslaridan oqilona foydalanish, ayniqsa, ekologik nozik hududlarda dolzarb ahamiyat kasb etadi [1-3]. Orolbo'yi mintaqasi suv manbalari keskin kamayib borayotgan, tuproq sho'rlanishi kuchaygan va tabiiy ekotizimlar izchil degradatsiyaga uchrayotgan maydon bunday hududlarning yaqqol misolidir. Suv resurslarini optimal boshqarish, ekologik oqimni saqlagan holda qishloq xo'jaligi mahsulotlarini ko'paytirish, shu bilan birga yer qoplami va yashil biomassa barqarorligini tiklash mintaqa iqtisodiyoti hamda aholining hayot sifati uchun hal qiluvchi omilga aylandi [1,2].

Rivojlangan davlatlar tajribasi shuni ko'rsatadiki, suvdan tejab-tergab foydalanish va uzoq muddatli ekologik monitoring orqali yer qoplamidagi va o'simlik qoplami biomassasidagi o'zgarishlarni aniqlash strategik rejalashtirishga imkon beradi [4-7]. Orolbo'yi sharoitida masofadan zondlash hamda geoaxborot tizimlaridan foydalanishga tayanadigan ilmiy tadqiqotlar yer sathidagi landshaft o'zgarishlarini sistematik qayd etish, yashil zonalarining degradatsiya sur'atini aniqlash hamda istiqbolli rekultivatsiya choralari bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish yo'lidagi muhim metodologik asos bo'lib xizmat qiladi [6-9, 12-14].

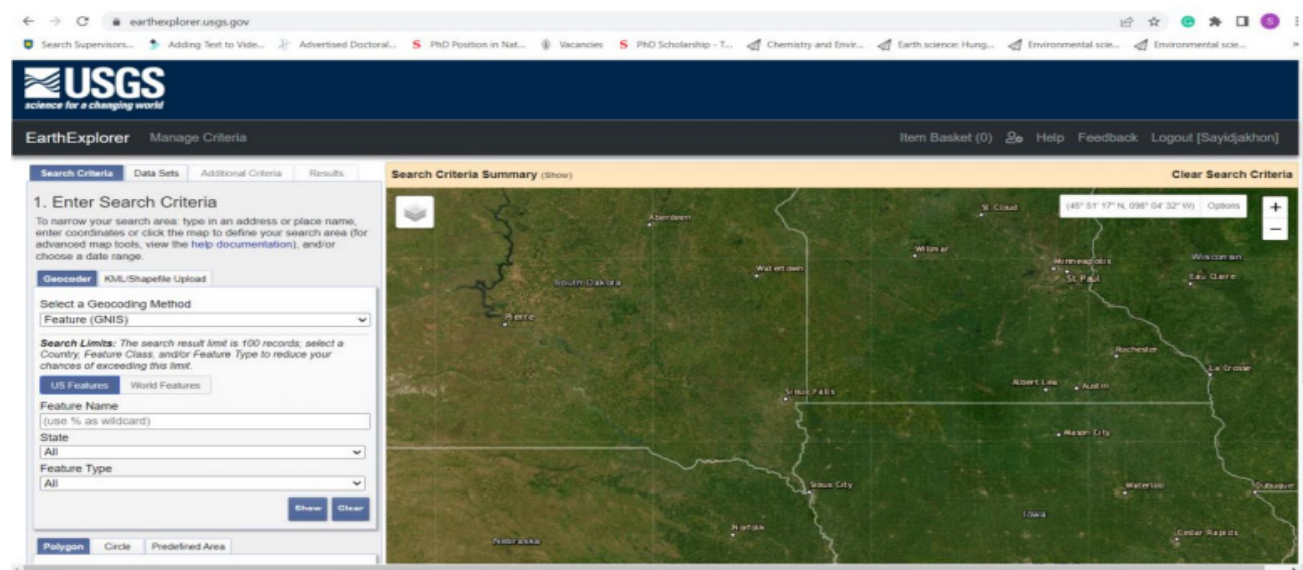
Mazkur vazifani amalga oshirish, jumladan suv tejamkor texnologiyalarni qo'llash, suv kam sharoitidagi qishloq xo'jaligi ekinlarni sug'orish tartibini ishlab chiqish, mavjud suv, yer, ozuqa va energiya resurslaridan tejamkorlik bilan foydalanish hamda ekologik oqim tamoyiliga asoslangan boshqaruvni yanada rivojlantirish imkonini beruvchi texnologiyalarni takomillashtirishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlarini olib borish muhim ahamiyat kasb etmoqda [7-11].

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "O'zbekiston Respublikasini Taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi, "O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020-2030 yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi farmonlari, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 12.02.2020 yildagi PQ-4597-son "O'zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Orolbo'yi xalqaro innovatsiya markazining faoliyati samaradorligini oshirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarori, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 23.11.2023 yildagi PF-199-son "Respublikada yashillik darajasini yanada oshirish, "Yashil makon" umummilliy

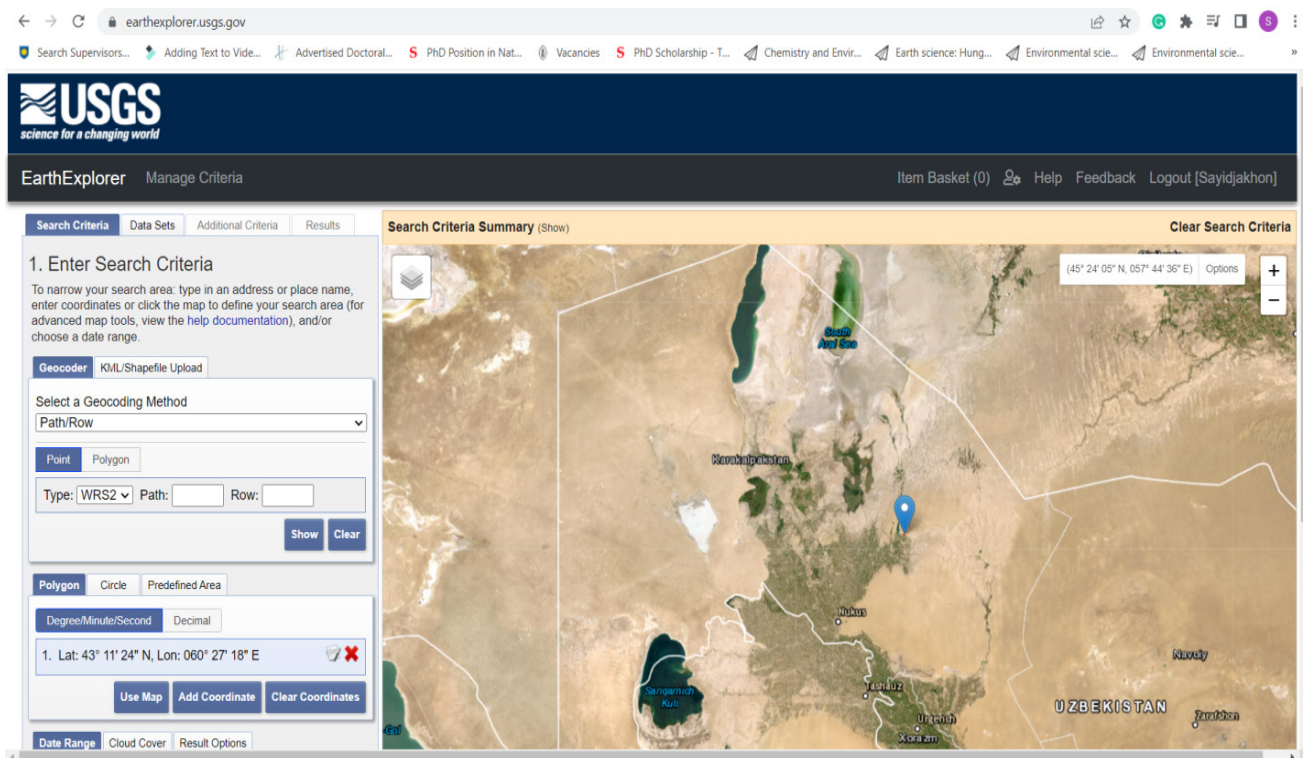
loyihagini izchil amalga oshirish orqali ekologik barqarorlikni ta'minlash chora-tadbirlari to'g'risida"gi farmoni hamda mazkur faoliyatiga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu ilmiy tadqiqot ma'lum darajada xizmat qiladi [1,2]. Shu sababli ushbu tadqiqotda Orol bo'yining qurigan tubida yer qoplami va hamda yashil biomassa xaritalarini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy ishlar olib borilgan.

Materiallar va uslublar. Samolyotdan olingan baland rezolyutsiyadagi fotosuratlar yoki Sentinel-2 kabi sun'iy yo'ldoshning ayni vaqtdagi tasvirlari orqali yer yuzasining qizil va yaqin infraqizil kanallari ajratildi, bulut hamda soya piksellari Fmask yordamida niqoblanib, Sen2Cor algoritmi bilan reflektans birliklariga keltirildi; bitta vegetatsiya mavsumi uchun kamida uchta bulutsiz sahna median kompozitga birlashtirildi. Shu asosda spektral ko'rsatkich NDVI = $(NIR - RED)/(NIR + RED)$ piksel darajasida hisoblab chiqildi. NDVI nafaqat yashillikning umumiy holatini baholaydi, balki Barg maydoni indeksini (Leaf Area Index – LAI) aniqlash uchun ham tayanch hisoblanadi, chunki ular orasida $LAI = 0.57 \times e(2.33 \times NDVI)$ munosabat mavjud [11-14]. Shuning uchun ushbu tadqiqot bosqichida avvalo NDVI xaritasi tuzilib, keyin ayni piksel qiymatlariga mazkur tenglama qo'llanib LAI qatlamlari ishlab chiqildi [7-10]. NDVI va LAI xaritalari dalada GPS nuqtalari bilan moslashtirilgan o'quv namunalari asosida Random Forest algoritmi bilan tasniflangan besh yer qoplami sinfi (sug'orma dehqonchilik, tabiiy yaylov, o'rmon-butazor, suv havzalari, antropogen hududlar) bilan integratsiyalandi; model 0.91 umumiy aniqlik va 0.88 Kappa ko'rsatkichlarini berdi. Dalada o'lchangan biomassa (t/ha) bilan NDVI orasidagi Biomassa = $7.63 \times e(2.85 \times NDVI)$ eksponensial bog'lanish ($R^2 = 0.79$, $p < 0.001$) biomassa rasterini yaratish uchun qo'llanildi; hold-out validatsiya 12 %, o'rtaacha nisbiy xato va 3.4 t/ha RMSE qiymatlarini ko'rsatdi. Yakuniy bosqichda NDVI, LAI va biomassa qatlamlari UTM 42N tizimida 10 m piksel bilan eksport qilinib, gradient ranglar yordamida yarim shaffof holda yer qoplami sinflari ustiga joylashtirildi, natijada hududiy rejalashtirish va ekologik monitoring uchun sinf chegaralari, yashillik zichligi va barg maydoni bir vaqtning o'zida ko'rinadigan mukammal xarita hosil bo'ldi [8-13].

Natijalar va munozara. Sun'iy yo'ldosh tasvirlari AQSHning geodezik tadqiqotlar markaziga tegishli Earth Explorer portalidan (earthexplorer.usgs.gov) olindi (1-rasm).

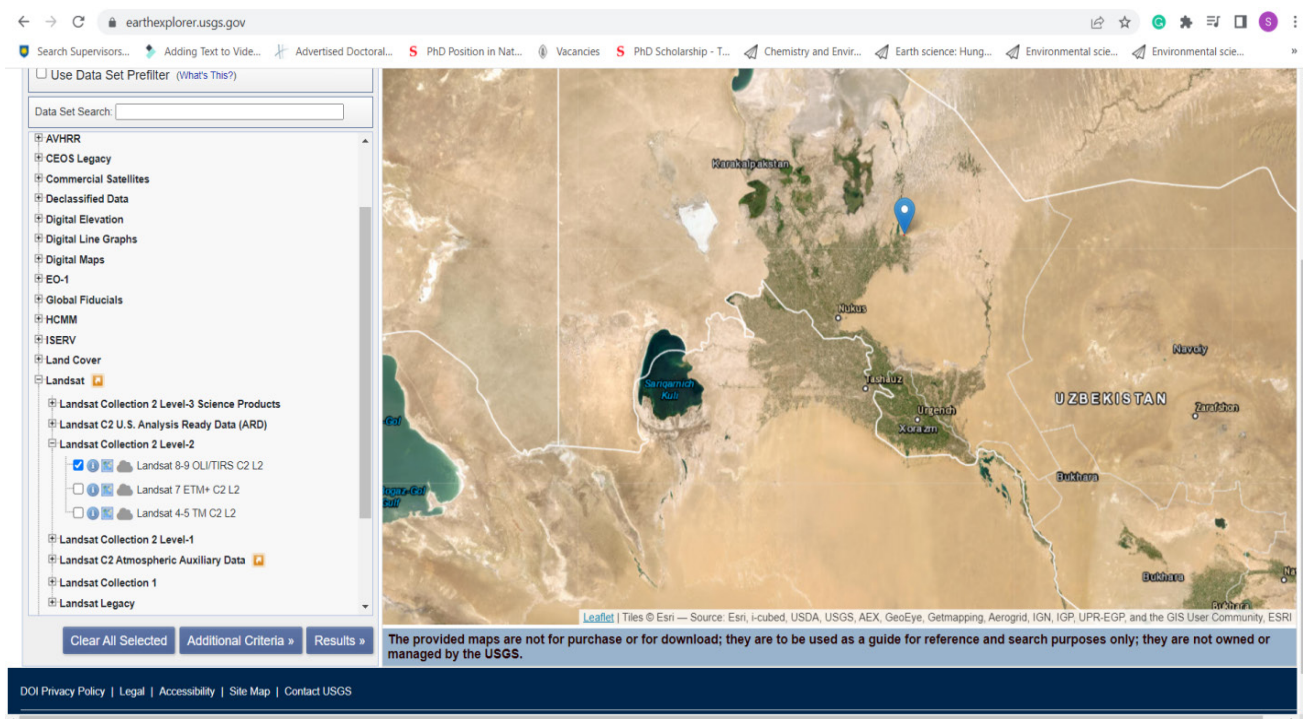


1-rasm. Earth Explorer portalining interfeysi.



2-rasm. Path va Row ma'lumotlarini hamda maqbul kuzatuv kunlarini kiritish jarayoni.

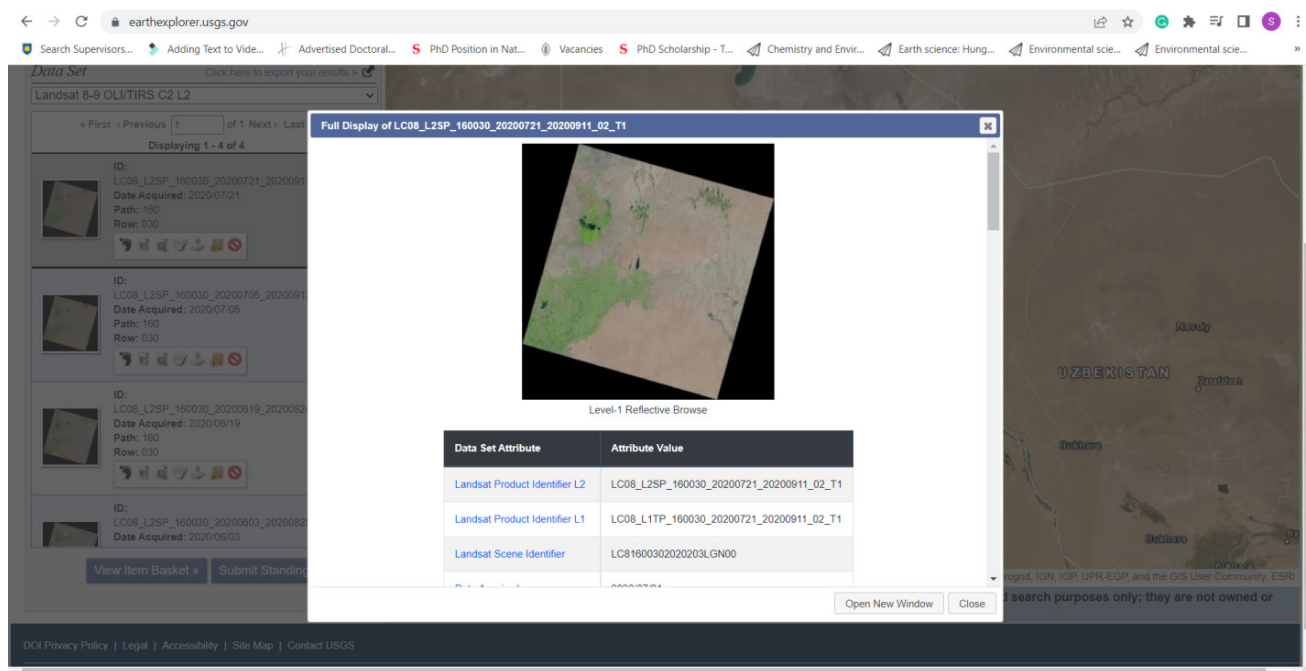
Earth Explorer portalidan tadqiqot obyekti haritalari, ya'ni Qoraqalpog'istonni qamrab olgan sun'iy yo'ldosh tasvirlari Ustun (Path) va Qator (Row) larni kiritib aniqlandi (2-rasm). Koordinatalarni va maqbul kuzatuv kunlarini portalga kiritilib, sun'iy yo'ldosh turi tanlab olindi (3-rasm).



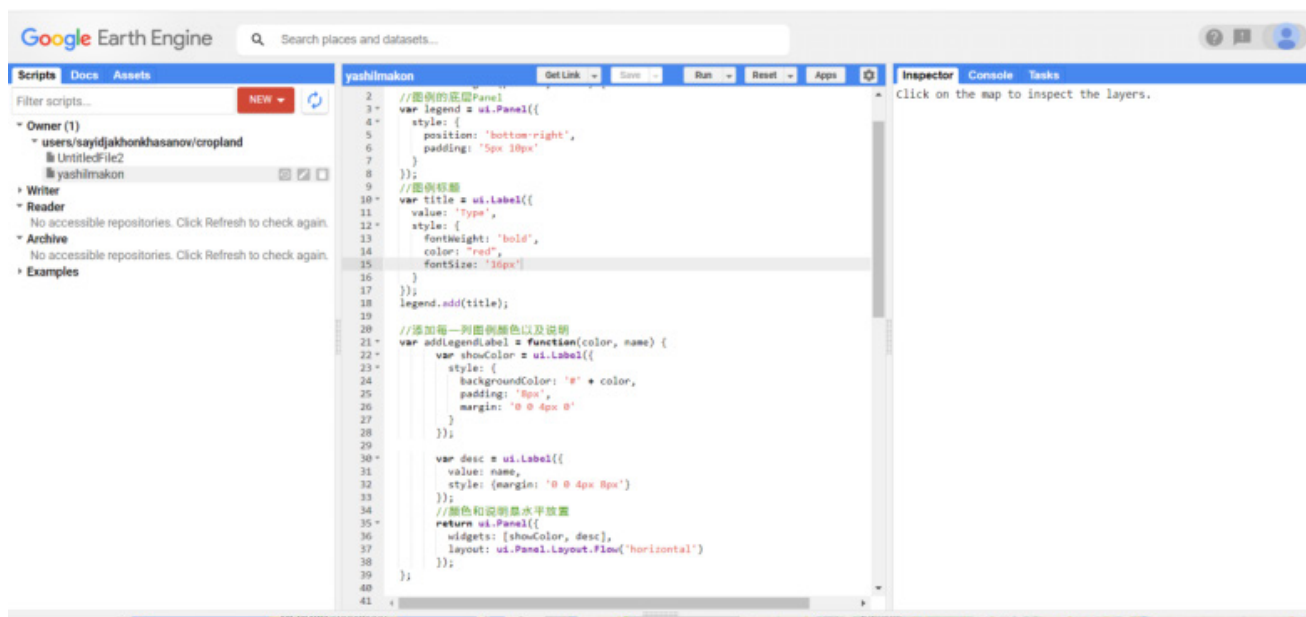
3-rasm. Sun'iy yo'ldosh (Landsat) turini tanlash jarayoni.

Sun'iy yo'ldosh turi tanlab olingandan so'ng, tasvirlar yuklab olindi (4-rasm).

Qoraqalpog'iston hududini butunlay qamrab olish maqsadida jami hajmi 35 GB ni tashkil etadigan MODIS va Landsat sensorlariga tegishli 21 ta sun'iy yo'ldosh tasvirlari yuklab olindi. Barcha sun'iy yo'ldosh tasvirlari navbatdagi bosqichda Google Earth Engine platformasiga yuklandi va birlamchi korrekcirovka ishlari JAVA dasturlash tilida amalga oshirildi (5-rasm).



4-rasm. Yashillikni baholashdagi ideal sun'iy yo'ldosh tasvirining ko'rinishi.



5-rasm. Google Earth Engine dasturlash oynasining ko'rinishi

Qayta ishlangan sun'iy tasvirlar yordamida Qoraqalpog'iston hududining yerdan foydalanish klasslari aniqlandi (6-rasm).

Yerdan foydalanish xaritasiga ko'ra tadqiqot obektiga tegishli yashil maydonlar ajratib olinib, ArcGIS dasturida algoritmi kalibratsiyalash bosqichi amalga oshirildi (7-rasm).

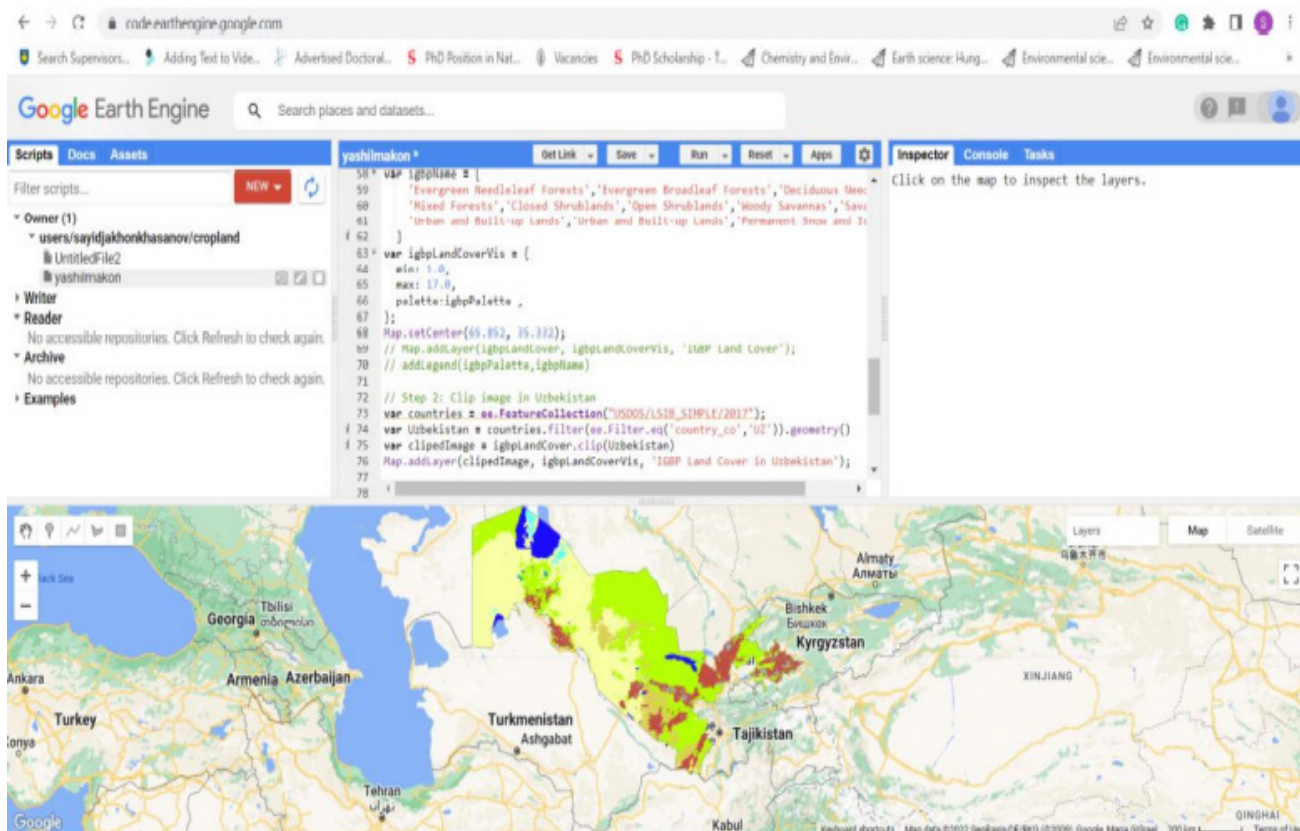
Har bir viloyatlar kesimidagi Google Earth Engine platformasida qayta ishlangan sun'iy yo'ldosh tasvirlari yuklanib, NDVI va LAI tenglamalarini ishlatgan holda yashillik darajalari aniqlandi.

Usulning amal qilishi tamoyili barcha jonli o'simliklar tarkibida xlorofill pigmenti borligiga asoslangan. U quyosh nurlarining yashil spektrini qaytaradi, natijada, biz o'simliklarni yashil rangda ko'ramiz. Fotosintez jarayonida o'simliklar nurning qizil rangini yutadi, ammo eng yaqin infragizil rangni qaytaradi. Shu tufayli

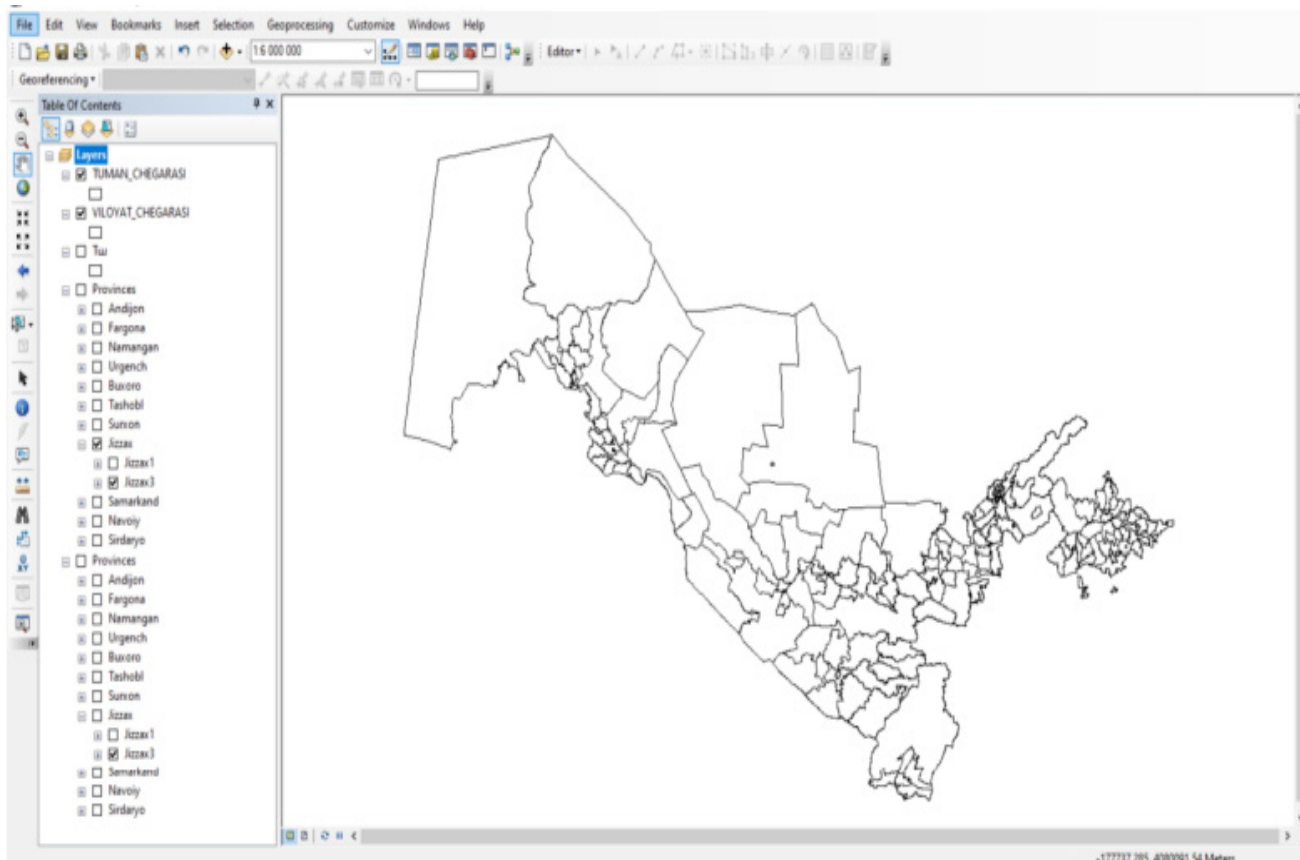
o'simliklar karbonat angidridni yutadi, kislorod ajratadi va o'sadi.

Xlorofill faqat yashil o'simliklarda bor bo'lgani tufayli, bu usul jonli ekinni quriganidan yaqqol ajratish imkonini beradi: qurigan o'tlar va daraxtlar aks etmaydi. Shu sababli yil fasllariga ko'ra cheklovlar bor: NDVI va LAI ni aniqlash uchun fotosyomkani kech bahor va yaqin yozda (May-iyun) o'tkazgan ma'qul – bu paytda daraxtlar va o'tlar eng yuqori darajada yashillikka ega bo'ladi [16-25].

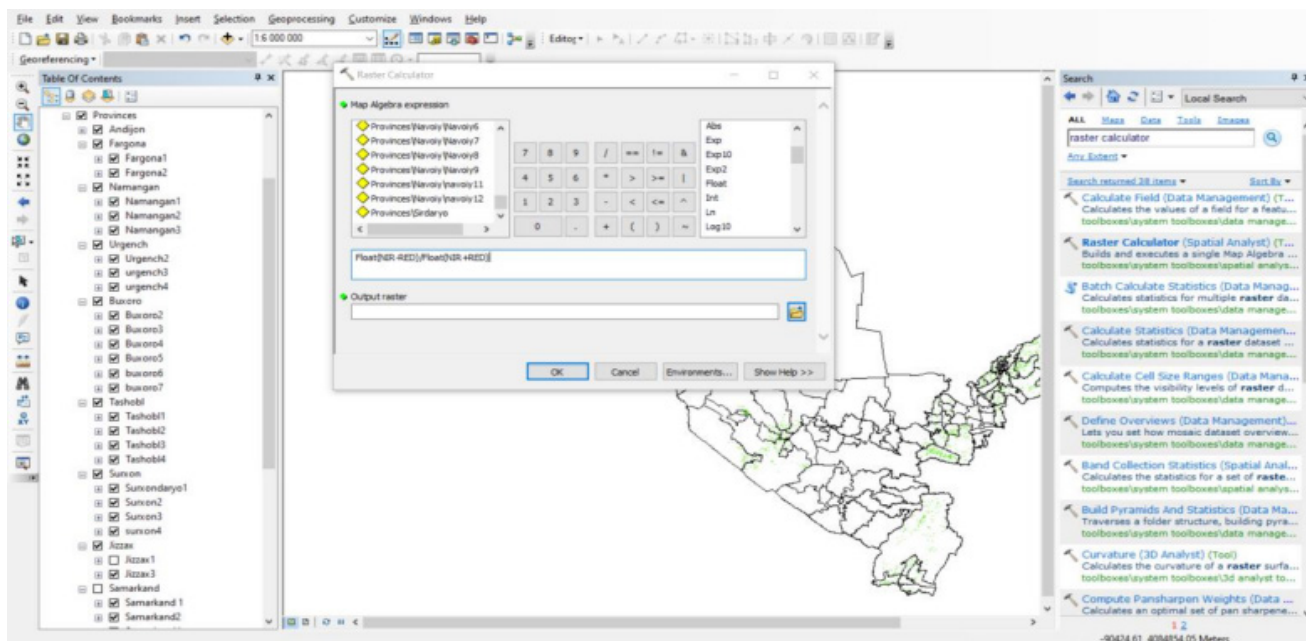
O'simlik qanchalik sog'lom bo'lsa, u shunchalik nurning ko'p qizil spektrini yutadi va infragizil to'liqlarni qaytaradi. Aynan ushbu tafovut asosida NDVI va LAI indeksi hisoblab chiqiladi. Yuqoridagilarni inobatga olgan holda Qoraqalpog'iston yashillik darajasini ko'rsatuvchi xaritalar NDVI va LAI formulasi asosida hisoblab chiqildi (8-rasm).



6-rasm. Yerdan foydalanish xaritasini yaratish jarayoni



7-rasm. ArcGIS dasturiga ma'lumotlarni kiritish jarayoni.



8-rasm. NDVI hisoblash jarayoni.

Xulosalar. Earth Explorer va Google Earth Engine kabi platformalardagi sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan ArcGIS kabi ilg'or vositalar bilan birgalikda foydalanish orqali biz NDVI va Leaf Area Index (LAI) qiymatlarini olish uchun ma'lumotlarni muntazam tahlil qildik va qayta ishladik. Ushbu indekslar o'simliklarning salomatligi va tarqalishini baholash uchun muhim ko'rsatkichlar bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, NDVI va LAI yashil o'simliklarni miqdorini aniqlash, uni boshqa ob'ektlardan farqlash va mavsumiy o'zgarishlarni kuzatish uchun kuchli vositadir. Ushbu yondashuv orqali Qoraqalpog'istonning yashil hududlari xaritasi muvaffaqiyatli ishlab chiqilib, o'simliklar dinamikasi va ularning atrof-muhit va iqlim sharoitlari bilan bog'liqligi haqida ma'lumotlar berildi.

Ushbu metodologiya atrof-muhit monitoringi, qishloq xo'jaligini rejalashtirish va ekotizimni baholash uchun keng qo'llanilishi mumkin. Natijalar qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil hududlarda barqaror yerni boshqarish va resurslarni saqlash bo'yicha sa'y-harakatlarni qo'llab-quvvatlash uchun ilg'or tahliliy vositalar bilan masofadan zondlash texnologiyalarini integratsiyalash salohiyatini ta'kidlaydi.

Ushbu maqola Innovatsion rivojlanish agentligi tomonidan ALM-202403110248-sonli shartnoma asosida moliyalashtirilgan "Sun'iy intellekt texnologiyalari asosida Orol dengizining qirg'ini tubi florasi inventarizatsiyasini o'tkazish va muntazam yangilanib boruvchi raqamli ma'lumotlar bazasini yaratish" mavzusidagi amaliy loyiha natijalarini yoritishga hissa qo'shadi.

ADABIYOTLAR:

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi «O'zbekiston Respublikasini Taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi PF-60-son Farmoni.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 12-fevraldagi «Orolbo'yi XIM faoliyati samaradorligini oshirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi PQ-4597-son qarori.
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 23-noyabrdagi «"Yashil makon" loyihasini izchil amalga oshirish orqali ekologik barqarorlikni ta'minlash chora-tadbirlari to'g'risida»gi PF-199-son Farmoni.
4. Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
5. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M. va boshq. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
6. Huete, A. R., Didan, K., Miura, T. va boshq. (2002). MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213.
7. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA SP-351*, 309-317.
8. Chander, G., Markham, B. & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903.
9. Zhu, Z., Woodcock, C. E., & Olofsson, P. (2012). Improved cloud detection for Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83-94.
10. Foody, G. M. & Mathur, A. (2004). Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification. *Remote Sensing of Environment*, 93(1-2), 107-117.
11. Myneni, R. B., Ross, J. & Asrar, G. (2015). Leaf Area Index (LAI) and NDVI relationship. *Advances in Photosynthesis and Respiration*, 30, 75-100.
12. Sen2Cor Team. (2023). Sen2Cor v2.11 User Guide. European Space Agency.
13. Zhu, Z. & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152-171.
14. Foga, S., Scaramuzza, P., Guo, S. va boshq. (2017). Cloud, cloud shadow, and snow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 202, 218-226.