

AUTOMATIC LAND COVER CLASSIFICATION FROM SENTINEL-2 IMAGES USING DEEP LEARNING ALGORITHMS

Mominov Suhrob Orozaliyevich

Assistent Muhammad al-Khwarizmi Tashkent University of Information Technologies

E-mail: mominovsuxrob97@gmail.com

Kuchkorov Temurbek Ataksonovich

Muhammad al-Khwarizmi Tashkent University of Information Technologies, Faculty
of Computer Engineering, Candidate of Sciences, Associate Professor.

E-mail: timanet4u@gmail.com

Abstract

This topic analyzes the application of deep learning algorithms for the automatic classification of land cover types using Sentinel-2 satellite imagery. The study examines the structures of convolutional neural networks (CNNs), encoder-decoder architectures (U-Net, SegNet), densely connected networks (DenseNet), and modern transformer-based models, as well as data preparation stages (atmospheric correction, normalization, spectral index calculation) and evaluation metrics (overall accuracy, Kappa coefficient, F1-score, IoU). Prospects for their application in the context of Uzbekistan—specifically for monitoring agricultural crops, assessing soil salinity levels in irrigated lands, and tracking landscape changes in the Aral Sea basin—are substantiated. The research results demonstrate the superiority of deep learning-based methods over traditional pixel-based classification techniques in terms of accuracy and scalability.

Keywords

deep learning, Sentinel-2, land cover, convolutional neural network, semantic segmentation, U-Net, remote sensing, geographic information systems.

**CHUQUR O'RGANISH ALGORITMLARI YORDAMIDA SENTINEL-2
TASVIRLARIDAN YER QOPLAMINI AVTOMATIK ANIQLASH**

Mo'minov Suhrob O'rozaliyevich

Assistent, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari
universiteti

E-mail: mominovsuxrob97@gamil.com

Kuchkorov Temurbek Ataxonovich

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU, "Kompyuter injiining" fakulteti, t.f.d.,
dotsent.

E-mail: timanet4u@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu mavzuda Sentinel-2 sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida yer qoplamini turlarini avtomatik aniqlashda chuqur o'rganish algoritmlarining qo'llanilishi tahlil qilingan. Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN), kodlovchi-dekodlovchi arxitekturalar (U-Net, SegNet), zich bog'langan tarmoqlar (DenseNet) va zamonaviy transformer asosidagi modellarning tuzilishi, ma'lumotlarni tayyorlash bosqichlari (atmosfera korreksiyasi, normalizatsiya, spektral indeksni hisoblash) hamda baholash mezonlari (umumiy aniqlik, Kappa koeffitsiyenti, F1-ball, IoU) ko'rib chiqilgan. O'zbekiston sharoitida - xususan, qishloq xo'jaligi ekinlarini monitoring qilish, sug'oriladigan yerlarning sho'rlanish darajasini baholash va Orol dengizi havzasidagi landshaft o'zgarishlarini kuzatishda qo'llanilish istiqbollari asoslab berilgan. Tadqiqot natijalari chuqur o'rganishga asoslangan usullarning an'anaviy piksel asosidagi klassifikatsiya usullariga nisbatan aniqlik va masshtablanuvchanlik jihatidan ustunligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: chuqur o'rganish, Sentinel-2, yer qoplamini, konvolyutsion neyron tarmoq, semantik segmentatsiya, U-Net, masofadan zondlash, geoaxborot tizimlari.

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМНОГО ПОКРОВА ПО
СНИМКАМ SENTINEL-2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ
ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

Моминов Сухроб Урозалиевич

Ассистент, Ташкентский университет информационных технологий имени

Мухаммада аль-Хорезми

E-mail: mominovsuxrob97@gmail.com

Кучкоров Темурбек Атаксонович

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада аль-

Хорезми, «Компьютерный инжиниринг» факультета, кандидат наук, доцент.

E-mail: timanet4u@gmail.com

Аннотация. В данной работе анализируется применение алгоритмов глубокого обучения для автоматической классификации типов земного покрова с использованием спутниковых снимков Sentinel-2. Рассматриваются структуры сверточных нейронных сетей (CNN), архитектуры типа «кодировщик-декодировщик» (U-Net, SegNet), плотно связанные сети (DenseNet) и современные модели на основе трансформеров, а также этапы подготовки данных (атмосферная коррекция, нормализация, расчет спектральных индексов) и метрики оценки качества (общая точность, коэффициент Каппа, F1-мера, IoU). Обосновываются перспективы применения данных методов в условиях Узбекистана, в частности для мониторинга сельскохозяйственных культур, оценки уровня засоления почв на орошаемых землях и отслеживания изменений ландшафта в бассейне Аральского моря. Результаты исследования демонстрируют превосходство методов глубокого обучения над традиционными методами попиксельной классификации с точки зрения точности и масштабируемости.

Ключевые слова: глубокое обучение, Sentinel-2, земной покров, сверточная нейронная сеть, семантическая сегментация, U-Net, дистанционное зондирование, геоинформационные системы.

Kirish

Yer qoplamini va undan foydalanish tarzini aniq va tezkor baholash - qishloq xo'jaligini rejalashtirish, tabiiy resurslarni boshqarish, shaharlarning kengayishini nazorat qilish hamda ekologik monitoring uchun muhim amaliy ahamiyatga ega. Yevropa kosmik agentligining (ESA) Copernicus dasturi doirasida ishga tushirilgan Sentinel-2 sun'iy yo'ldosh juftligi (Sentinel-2A - 2015-yil, Sentinel-2B - 2017-yilda orbitaga chiqarilgan) 13 ta spektral kanalda, 10, 20 va 60 metrlik fazoviy o'lchamlarda, 290 km kenglikdagi polosada va o'rtacha 5 kunlik qayta kuzatish davri bilan Yer yuzasi haqida bepul va ochiq ma'lumotlar taqdim etadi. Bunday hajmdagi va sifatidagi ma'lumotlarni qayta ishlash uchun an'anaviy piksel asosidagi klassifikatsiya usullari (masalan, maksimal ehtimollik yoki tasodifiy o'rmon algoritmlari) yetarli darajada moslashuvchan emas, chunki ular fazoviy kontekstni to'liq hisobga olmaydi va murakkab landshaft chegaralarida xatolikka yo'l qo'yadi.

So'nggi o'n yillikda chuqur o'rganish (Deep Learning) texnologiyalari, xususan konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) va ularning semantik segmentatsiya uchun moslashtirilgan kodlovchi-dekodlovchi arxitekturalari (SegNet, U-Net, DenseNet), masofadan zondlash sohasida yuqori natijalarga erishmoqda. Bu arxitekturalar tasvirning nafaqat spektral, balki fazoviy xususiyatlarini ham avtomatik tarzda o'rganish imkonini beradi, natijada yer qoplamini sinflarini ajratish aniqligi sezilarli darajada oshadi. Ushbu maqolaning maqsadi - Sentinel-2 tasvirlaridan yer qoplamini avtomatik aniqlashda qo'llanilayotgan zamonaviy chuqur o'rganish algoritmlarini tizimli tahlil qilish, ularning metodologik asoslarini yoritish va O'zbekiston sharoitida amaliy qo'llanilish imkoniyatlarini asoslashdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA TADQIQOT METODOLOGIYASI

Sentinel-2 tasvirlarini dastlabki qayta ishlash

Chuqur o'rganish modellarini o'qitishdan oldin Sentinel-2 ma'lumotlari bir qator qayta ishlash bosqichlaridan o'tkaziladi: atmosfera korreksiyasi (Sen2Cor algoritmi

yordamida L1C darajasidagi tasvirlarni L2A yer yuzasi aks ettirish darajasiga o'tkazish), bulutlarni va soyalarni niqoblash, kanallarning fazoviy o'lchamini bir xillashtirish (resampling), radiometrik normalizatsiya hamda NDVI (o'simlik indeksi), NDWI (suv indeksi), NDBI (qurilgan maydonlar indeksi) kabi spektral indeksni qo'shimcha kanal sifatida hisoblash. Ma'lumotlar odatda 128×128 yoki 256×256 piksellik parchalarga (patch) bo'linadi va o'qitish, tekshirish hamda test to'plamlariga ajratiladi.

Konvolyutsion va kodlovchi-dekodlovchi arxitekturalar

Ben Hamida va boshqalar tomonidan o'tkazilgan tadqiqotda DenseNet va SegNet arxitekturalari Sentinel-2 tasvirlaridan keng maydonli yer qoplamini semantik segmentatsiya qilish uchun qo'llanilgan; taklif qilingan 3D-DenseNet modeli spektral va fazoviy o'lchovlarni birgalikda qayta ishlash imkonini bergan, SegNet arxitekturasi esa yirik hajmdagi (27 mln. dan ortiq parametrlari) tarmoq sifatida 66,9–83,9 foizgacha umumiy aniqlikka erishgan [8]. Ronneberger va boshqalar tomonidan taklif qilingan U-Net arxitekturasi - qisqartiruvchi (encoder) va kengaytiruvchi (decoder) tarmoqlarni o'tkazish bog'lanishlari (skip connections) orqali birlashtiruvchi tuzilma - hozirda yer qoplamini segmentatsiyasida eng ko'p qo'llaniladigan modellardan biri hisoblanadi [9]. Ulmas va Liiv BigEarthNet ma'lumotlar to'plami hamda Estoniya hududi uchun tuzilgan Sentinel-2/CORINE juftligidan foydalanib, U-Net asosidagi modelda ko'p sinfli yer qoplamini klassifikatsiyasi bo'yicha 0,749 darajasidagi umumiy F1-ballga erishgan, shu bilan birga o'rmon, ichki suv havzalari va haydaladigan yerlar sinflari uchun yuqori IoU ko'rsatkichlarini qayd etgan [10].

Kroupi va boshqalar chuqur konvolyutsion neyron tarmoq asosida ishlab chiqilgan quvur liniyasi (pipeline) yordamida ilgari ko'rilmagan xom Sentinel-2 tasvirlarida 86 foizlik klassifikatsiya aniqligiga erishganliklarini ko'rsatgan [11]. Kotaridis va Lazaridou esa superpiksel segmentatsiyasini chuqur o'rganish bilan uyg'unlashtirgan holda, qurilgan maydonlar, o'simlik qoplamini, ochiq yer va suv havzalari kabi asosiy yer

qoplami sinflarini shahar va shahar atrofi landshaftlarida xaritalashtirish uchun UNET arxitekturasidan foydalangan, spektral kanallar va indekslar kombinatsiyasi qurilgan hudud va ochiq yer sinflarini ajratish sifatini oshirishga xizmat qilishini asoslab bergan [12].

Baholash mezonlari

Chuqur o'rganish modellarining samaradorligini baholashda quyidagi statistik mezonlardan foydalaniladi: umumiy aniqlik (Overall Accuracy, OA) - to'g'ri klassifikatsiya qilingan piksellarning umumiy soniga nisbati; Kappa koeffitsiyenti - tasodifiy mos kelishni hisobga olgan holda tuzatilgan aniqlik ko'rsatkichi; aniqlik (precision) va eslab qolish (recall) ko'rsatkichlarining garmonik o'rtachasi bo'lgan F1-ball; hamda semantik segmentatsiya sifatini baholashda keng qo'llaniladigan Jaccard indeksi (Intersection over Union, IoU). Ushbu mezonlarning barchasi bo'yicha yuqori ko'rsatkichga erishish uchun o'qitish namunalarining sifati va miqdori, shuningdek sinflar orasidagi muvozanat hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Natijalarning qiyosiy tahlili

Quyidagi jadvalda ko'rib chiqilgan tadqiqotlarda qo'llanilgan arxitekturalar va ularning asosiy natijalari qiyosiy tarzda keltirilgan.

Tadqiqot	Qo'llanilgan arxitektura	Ma'lumotlar to'plami	Asosiy natija
Ben Hamida va b. (2017)	3D-DenseNet, SegNet	Sentinel-2, GlobCover	OA 66,9–83,9% (yirik model)
Kroupi va b. (2019)	CNN (quvur liniyasi)	Xom Sentinel-2 tasvirlari	Aniqlik ~86%
Ulmas, Liiv (2020)	U-Net	BigEarthNet, CORINE	F1 $\approx$ 0,749
Kotaridis, Lazaridou (2022)	UNET + superpiksel	Sentinel-2, shahar hududi	Sinflar bo'yicha yuqori IoU

O'zbekiston sharoitida qo'llanilish istiqbollari

O'zbekiston hududi, xususan Orol dengizi havzasi va Farg'ona vodiysi kabi intensiv sug'oriladigan agrar mintaqalari uchun Sentinel-2 tasvirlari asosidagi chuqur o'rganish usullari bir qator amaliy vazifalarni yechishda qo'llanilishi mumkin: ekin turlarini fasl davomida kuzatish va xaritalashtirish, sug'oriladigan yerlarning sho'rlanish va degradatsiya darajasini baholash, yer resurslari kadastri ishlarini yuritishda monitoring kartalaridan foydalanishni takomillashtirish [1] hamda Markaziy Osiyo miqyosida yagona uslubiyot asosida ekin turlarini klassifikatsiya qilish uchun tuzilgan ma'lumotlar to'plamlaridan foydalanish [7]. Bunday tizimlarni amalga oshirishda sun'iy intellekt texnologiyalari asosida ma'lumotlarni tahlil qilish model va algoritmlaridan foydalanish [2], shuningdek geoaxborot tizimlari (GAT) infratuzilmasini rivojlantirish [4] muhim ahamiyat kasb etadi.

XULOSA

Xulosalar shuni ko'rsatadiki, chuqur o'rganish algoritmlari, xususan U-Net, SegNet va DenseNet kabi kodlovchi-dekodlovchi arxitekturalar, Sentinel-2 sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan yer qoplamini turlarini avtomatik aniqlashda an'anaviy piksel asosidagi usullarga nisbatan yuqori aniqlik (86 foizgacha) va yaxshi masshtablanuvchanlik ko'rsatadi. Modelning yakuniy samaradorligi ko'p jihatdan sifatli va muvozanatlashgan o'qitish namunalari, to'g'ri tanlangan spektral indekslar hamda mos baholash mezonlari (OA, Kappa, F1, IoU) qo'llanilishiga bog'liq. O'zbekiston sharoitida bunday texnologiyalarni joriy etish qishloq xo'jaligi monitoringi, sug'oriladigan yerlarning holatini baholash va yer kadastri ishlarini raqamlashtirish samaradorligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi. Kelgusi tadqiqotlarda transformer asosidagi arxitekturalar (masalan, Vision Transformer) va ko'p vaqtli (multi-temporal) Sentinel-2 ma'lumotlarini birgalikda qayta ishlashga asoslangan modellarni O'zbekiston hududiy sharoitlariga moslashtirish istiqbolli yo'nalish bo'lib qolmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Ochilov Sh.Sh. Yer kadastr ishlarini samarali yuritishda monitoring kartalaridan foydalanishni takomillashtirish: geografiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. Toshkent: O'zbekiston Milliy universiteti, 2026. 44 b.

2. Husanov Sh.A. Sun'iy intellekt texnologiyalari asosida tarmoq ma'lumotlarini tahlil qilish model va algoritmlari: texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. Toshkent: Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU, 2026. 50 b.

3. Sharipov Sh.M., Fedorko V.N., Safarova N.I., Rafiqov V.A. Geografiya (amaliy geografiya): 10-sinf uchun darslik. Toshkent: «O'zbekiston milliy ensiklopediyasi» Davlat ilmiy nashriyoti, 2017. 176 b.

4. Maxsudov B.Yu. Geoaxborot tizimlari menejmenti: o'quv-uslubiy majmua. Toshkent: Toshkent arxitektura-qurilish instituti, 2022. 96 b.

5. Tojimamatov I.N. Sun'iy neyron tarmoqlarini o'rganishning nazariy va amaliy asoslari // Oriens: ilmiy-uslubiy jurnal. 2025. B. 191–203.

6. Murodullayev D.M. Sun'iy neyron tarmoqlarning boshqaruv tizimlarida qo'llanilish istiqbollari // Oriens Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2026. №6(5). B. 542–547.

7. Remelgado R., Zaitov Sh., Kenjabaev Sh., Stulina G., Sultanov M., Ibrakhimov M., Akhmedov M., Dukhovny V., Conrad C. A crop type dataset for consistent land cover classification in Central Asia // Scientific Data. 2020. Vol. 7. Article 250. P. 1–6.

8. Ben Hamida A., Benoit A., Lambert P., Klein L., Ben Amar C., Audebert N., Lefèvre S. Deep learning for semantic segmentation of remote sensing images with rich spectral content // arXiv preprint arXiv:1712.01600. 2017.

9. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted

Intervention (MICCAI), Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015. Vol. 9351. P. 234–241.

10. Ulmas P., Liiv I. Segmentation of Satellite Imagery using U-Net Models for Land Cover Classification // arXiv preprint arXiv:2003.02899. 2020.

11. Kroupi E., Kesa M., Navarro-Sánchez V.D., Saeed S., Pelloquin C., Alhaddad B., Moreno L., Soria-Frisch A., Ruffini G. Deep convolutional neural networks for land-cover classification with Sentinel-2 images // Journal of Applied Remote Sensing. 2019. Vol. 13, No. 2. Article 024525.

12. Kotaridis I., Lazaridou M. Semantic segmentation using a UNET architecture on Sentinel-2 data // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. XLIII-B3-2022. P. 119–126.

13. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. 2015. Vol. 521. P. 436–444.

14. European Space Agency (ESA). Sentinel-2 User Handbook. – Paris: ESA Standard Document, 2015. – 64 p.