

TUPROQ NAMLIGINI MASOFADAN ZONDLASH ORQALI ANIQLASH IMKONIYATLARI (FARG‘ONA VODIYSI MISOLIDA)

Xo‘jayev Tillaxo‘ja

Namangan davlat universiteti

Geografiya yo‘nalishi tayanch doktoranti

Annotatsiya. Bugungi kunda butun dunyoda kuzatilayotgan iqlim o‘zgarishlari global geografik jarayon sifatida turli hududlarning tabiiy sharoitiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Ushbu jarayonlarni o‘rganish va baholashda zamonaviy texnologiyalardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, masofadan zondlash texnologiyalari tuproq namligini aniqlash va monitoring qilishning samarali usuli hisoblanadi. Mazkur maqolada sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari va masofadan zondlash usullaridan foydalangan holda Farg‘ona vodiysi hududida tuproq namligini aniqlash imkoniyatlari tahlil qilindi. Tadqiqot natijasida olingan ma’lumotlar asosida hudud tuproqlarining namlik darajasini baholash hamda tuproq namligi xaritasini yaratish imkoniyati ko‘rsatib berildi.

Kalit so‘zlar: tuproq namligi, masofadan zondlash, sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari, Farg‘ona vodiysi, geoinformatsion tizimlar (GIS), tuproq monitoringi, tuproq namligi xaritasi.

ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ)

Аннотация. В настоящее время изменения климата, наблюдаемые во всём мире, как глобальный географический процесс оказывают значительное влияние на природные условия различных регионов. В изучении и оценке этих процессов важную роль играет использование современных технологий. В частности, технологии дистанционного зондирования являются эффективным методом определения и мониторинга влажности почвы. В данной статье проанализированы возможности определения влажности почвы на территории Ферганской долины с использованием спутниковых данных и методов дистанционного зондирования. На основе полученных результатов показана возможность оценки уровня влажности почв региона и создания карты влажности почвы.

Ключевые слова: влажность почвы, дистанционное зондирование, спутниковые данные, геоинформационные системы (ГИС), Ферганская долина, мониторинг почвы.

POSSIBILITIES OF DETERMINING SOIL MOISTURE USING REMOTE SENSING (A CASE STUDY OF THE FERGANA VALLEY)

Abstract. Currently, climate change observed around the world as a global geographical process significantly affects the natural conditions of different regions. The use of modern technologies plays an important role in studying and evaluating these processes. In particular, remote sensing technologies are considered an effective method for determining and monitoring soil moisture. This article analyzes the possibilities of determining soil moisture in the Fergana Valley using satellite data and remote sensing methods. Based on the obtained results, the study demonstrates the possibility of assessing soil moisture levels and creating a soil moisture map for the region.

Keywords: soil moisture, remote sensing, satellite data, geographic information systems (GIS), Fergana Valley, soil monitoring.

Kirish. Iqlim o'zgarishlari tuproq namligi va yer yuzasining agroiqlimiy sharoiti bilan bog'liq geografik jarayonlarga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Dunyo bo'ylab yillik o'rtacha haroratning ortishi, kontinental iqlimli hududlarga tushadigan yog'inlar miqdorining notekis taqsimlanishi va boshqa iqlim hosil qiluvchi omillar tuproq namligi holatiga hamda uning mahsuldorligiga bevosita ta'sir qiladi. Ushbu omillar orasida geografik qobiqdagi suvning katta va kichik aylanma harakati hamda atmosfera sirkulatsiyasi jarayonlari alohida o'rin tutadi: aynan shular ta'sirida tuproq namligi parametrlari, hududning agroiqlimiy sharoiti va geoekologik ko'rsatkichlari o'zgaradi. Tuproqning namlikni ushlab tura olish qobiliyati, suvning infiltratsiyalanishi va bug'lanishi, shuningdek, yer osti suvlari sathining ko'tarilishi yoki pasayishi tuproq namligi indikatorlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

Tuproq namligi to'g'risida aniq ma'lumotga ega bo'lish hududning agroiqlimiy ko'rsatkichlarini prognozlashtirish va atrof-muhit monitoringini olib borishda muhim hisoblanadi. An'anaviy usullarda tuproq namligi ko'pincha dala kuzatuvlari asosida aniqlanadi; biroq bunday usullar ko'p vaqt va mablag' talab qiladi hamda nisbatan kichik hududlarni qamrab oladi. Shu sababli so'nggi yillarda katta hududlardagi tuproqlar holatini tez va samarali aniqlash imkonini beruvchi zamonaviy texnologiyalar – masofadan zondlash usullari keng qo'llanilmoqda.

Masofadan zondlash texnologiyalari MODIS, Sentinel-1 (SAR), NASAning SMAP hamda Landsat kabi sun'iy yo'ldosh sensorlari yordamida tuproq namligi to'g'risidagi ma'lumotlarni deyarli real vaqt rejimida olish imkonini beradi. Bu esa tuproq namligining hududiy taqsimlanishini o'rganish hamda agrogeoekologik jarayonlar ta'sirini samarali tahlil qilishga xizmat qiladi.

Farg'ona vodiysi Markaziy Osiyoning gavhari sanaladi; uning "O'zbekiston durdonasi" deb e'tirof etilishi mazkur hududning naqadar muhim geografik ahamiyatga egaligidan dalolat beradi. Ushbu hududda tuproq namligini doimiy monitoring qilishni samarali tashkil etish agrogeoekologik holatni baholashda muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur maqolada Farg'ona vodiysining O'zbekiston

hududidagi qismida tuproqlar namligini masofadan zondlash asosida aniqlash imkoniyatlarini tahlil qilish maqsad qilib qo'yilgan.

Adabiyotlar tahlili. Iqlim o'zgarishi va agroiklimiy sharoitlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik masalasi so'nggi yillarda xorijiy olimlar tomonidan keng qamrovli tadqiqot obyekti sifatida o'rganilmoqda. Tuproq namligining barqarorligi yer yuzasidagi tuproq qatlami va geografik qobiqda kechadigan jarayonlar bilan chambarchas bog'liq.

Tuproq namligini masofadan zondlashga oid dastlabki yirik loyihalardan biri sifatida NASAning SMAP dasturini alohida ta'kidlash lozim. NASA amalga oshirgan Soil Moisture Active Passive (SMAP) missiyasi Yer yuzasidagi tuproq namligi hamda muzlash-erish holatini o'rganishga qaratilgan yirik kosmik tadqiqot dasturidir [4; 704-b.]. Missiya 2015-yil 31-yanvarda orbitaga chiqarilgan bo'lib, uning asosiy maqsadi global miqyosda tuproqning yuqori qatlamidagi namlikni muntazam kuzatib borishdan iborat. Loyihada masofadan zondlashning ikki – “faol” (active) va “sust” (passive) – usuli qo'llanilgan. Faol usulda yer yuzasiga radar signali yuboriladi va qaytgan signal orqali tuproq holati aniqlanadi; sust usulda esa, aksincha, yer yuzasining o'zidan tarqalayotgan tabiiy elektromagnit nurlanish orqali tuproq namligi hisoblanadi. Missiyaning ilmiy rahbari etib Dara Entekhabi (Massachusetts texnologiya instituti, AQSh) tayinlangan. Loyihaning muhim jihatlaridan biri – tuproqning 5 sm chuqurlikkacha bo'lgan yuza qatlamidagi namlikni yuqori aniqlikda o'lchay olishidir. Ikki usulning birgalikda qo'llanilishi natijalarning ishonchliligini oshiradi; bundan tashqari, texnologiya bulutli ob-havo va tungi vaqtda ham ishlay oladi. Usulning afzalligi ma'lumotlarning global qamrovga egaligi va yuqori aniqligida bo'lsa, kamchiligi – SMAP radari ishdan chiqqani sababli fazoviy aniqlik darajasining pasaygani hisoblanadi.

Yann Kerr tuproq namligini aniqlashda interferometriya (ko'p burchakli kuzatuv) usulini rivojlantirgan [9; 666-b.]. Ushbu usul SMOS sun'iy yo'ldoshi orqali yer yuzasini turli burchaklar ostida kuzatib, tuproq namligini aniqlashda keng qo'llaniladi; shu bilan birga u okean sho'rligini o'lchash imkonini ham

beradi. Usulning afzalligi ko'p yillik ma'lumotlar bazasining mavjudligida, kamchiligi esa yer usti radio to'lqinlariga o'ta ta'sirchanligi tufayli ma'lumotlar aniqligining pasayishida namoyon bo'ladi.

Volfgang Vagner Sentinel-1 radar (SAR) texnologiyasiga asoslangan tuproq namligini aniqlash algoritmini ishlab chiqqan [15; 191-b.]. U taklif etgan "Change Detection Method" (o'zgarishlarni aniqlash) usuli sintetik apertura radari (SAR – Synthetic Aperture Radar) signallarining vaqt bo'yicha o'zgarishini tahlil qilishga asoslanadi. Usulning afzalligi 10–20 metrgacha fazoviy aniqlik va doimiy monitoring imkoniyatining mavjudligida; kamchiligi esa o'simlik qoplaminig zichligi, yer yuzasi relyefi hamda topografik va antropogen omillar ta'sirida aniqlikning pasayishi va SAR ma'lumotlarini chuqur matematik tahlil qilish zaruratining yuzaga kelishidadir. Qolaversa, R.Muradov va U.Abdullayevlar olib borgan "Tuproq xossalarini xaritalash va meliorativ holatni masofadan zondlash orqali baholash" tadqiqotida tuproq namligini aniqlash masalasi muhim ilmiy yo'nalishlardan biri sifatida yoritilgan [12]. Mazkur ishda tuproq namligini aniqlashda mikroto'lqinli va optik diapazondagi sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan foydalanish imkoniyatlari o'rganilgan. Nam va quruq tuproq elektromagnit nurlarni turlicha qaytargani bois kosmik tasvirlarda ularning spektral farqlari yaqqol kuzatiladi; tadqiqotchilar aynan shu spektral xususiyatlar asosida tuproqning namlik darajasini aniqlash mumkinligini ilmiy asoslab berishgan.

Sh. Kenjabayev olib borgan tadqiqotda esa Farg'ona vodiysiga tushayotgan yog'inlar miqdori CHIRPS va TRMM sun'iy yo'ldoshlaridan olingan ma'lumotlarni meteorologik stansiya ma'lumotlari bilan o'zaro solishtirish (validatsiya) yo'li bilan baholangan [19]. Natijalar shuni ko'rsatdiki, relyefning murakkabligi sababli tog'li zonalarga oid ma'lumotlarda xatoliklar sezilarli bo'lsa, tekislik qismidagi ma'lumotlarning aniqlik darajasi ancha yuqori bo'lgan. Biroq mazkur tadqiqotda yog'inlar bilan tuproq namligi o'rtasidagi bog'liqlik monitoringi ochib berilmagan, shuningdek, Sentinel-1 va SAR kabi sun'iy yo'ldoshlarning radar ma'lumotlariga asoslangan usullar qo'llanilmagan.

Masofadan zondlashda tuproq namligi asosan uch xil spektral diapazon yordamida aniqlanadi. Optik va yaqin infraqizil diapazonda usul tuproqning qaytarish qobiliyatiga (albedo) tayanadi: nam tuproq quruq tuproqqa nisbatan nurni kamroq qaytaradi va shu bois tasvirda to'qroq ko'rinadi. Issiqlik (termal) diapazonda esa tuproq yuzasi harorati (LST) bilan vegetatsiya indeksi (NDVI) o'rtasidagi bog'liqlik asos qilib olinadi; masalan, TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) indeksi orqali namlik tanqisligi baholanadi. Mikroto'liqlik diapazonda ikki yondashuv farqlanadi: sust (passiv) usulda radiometrlar tuproqning tabiiy radio to'liqlarini o'lchaydi (SMAP, SMOS sun'iy yo'ldoshlari), faol (aktiv) usulda esa radar (SAR) yer yuzasiga signal yuborib, qaytgan aksadoni tahlil qiladi (Sentinel-1). Mikroto'liqlarning bulutlardan o'tib keta olishi mazkur diapazonning istalgan ob-havo sharoitida ma'lumot berishini ta'minlaydi.

Meodologiya. Ushbu maqolada tizimli tahlil, bibliometrik o'rganish va agrometeorologik modellashtirish prinsiplaridan foydalanildi. Masofadan zondlash (Remote Sensing) va GIS texnologiyalari yordamida tuproq namligi hamda vegetatsiya indekslarini (NDVI) tahlil qilishning nazariy asoslari ko'rib chiqildi. Shuningdek, IPCC tomonidan taqdim etilgan RCP ssenariylari asosida qiyosiy prognozlash usuli qo'llanildi. RCP (Representative Concentration Pathways) – iqlim o'zgarishini o'rganishda qo'llaniladigan ilmiy ssenariylar tizimi bo'lib, u atmosferadagi issiqxona gazlari konsentratsiyasining kelajakdagi ehtimoliy o'zgarish yo'nalishlarini ifodalaydi. Ushbu ssenariylar global iqlimning rivojlanishini, xususan, haroratning ortishi, yog'in rejimining o'zgarishi va ekstremal iqlim hodisalarining kuchayishini prognoz qilish uchun ishlab chiqilgan. Agroiqlimiy tadqiqotlarda RCP ssenariylari muhim ahamiyatga ega, chunki ular yordamida kelajakdagi agroiqlimiy sharoitning shakllanishi baholanadi. Shu ma'noda RCP iqlim o'zgarishining turli rivojlanish yo'llarini ilmiy asosda modellashtiruvchi vosita sifatida ekologik, ijtimoiy-iqtisodiy va, ayniqsa, agroiqlimiy rejalashtirishda muhim metodologik asos vazifasini bajaradi.

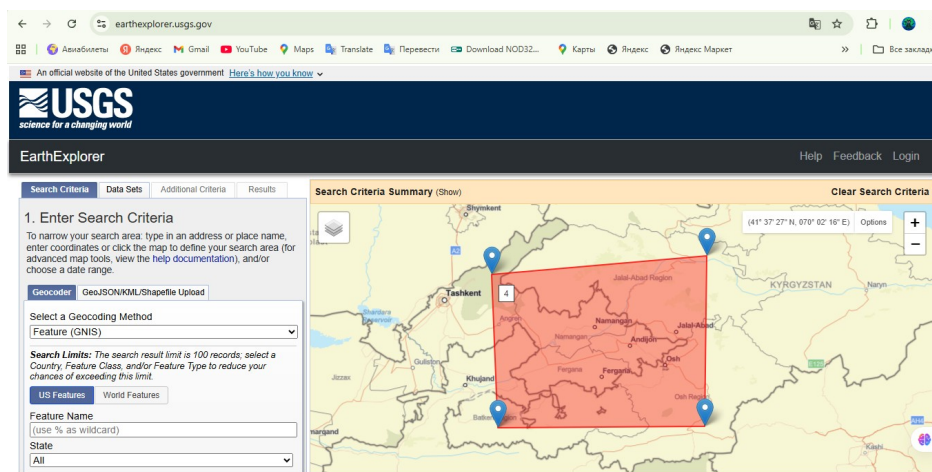
Landsat sun'iy yo'ldosh dasturi Yer yuzasini uzoq muddat davomida kuzatib borish imkonini beruvchi eng muhim masofadan zondlash tizimlaridan biridir.

Tadqiqotda Fargʻona vodiysi tuproq namligini turli davrlar kesimida aniqlash uchun har bir yilga mos sunʼiy yoʻldosh maʼlumotlaridan foydalanildi: 1980-yil uchun Landsat 3 MSS yoki Landsat 4–5 TM, 1995-yil uchun Landsat 5 TM, 2010-yil uchun Landsat 5 TM yoki Landsat 7 ETM+, 2025-yil uchun esa Landsat 8 OLI/TIRS yoki Landsat 9 OLI-2 tasvirlari tanlab olindi.

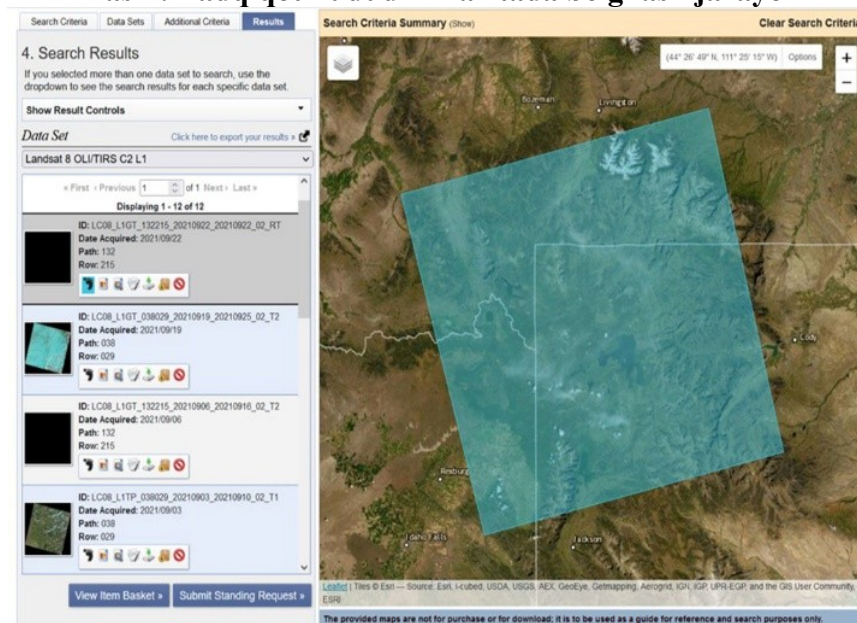
Kosmik tasvirlarni yuklab olish USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>) platformasi orqali amalga oshirildi. Ushbu platforma dunyo boʻyicha turli masofadan zondlash maʼlumotlarini bepul yuklab olish imkonini beradi; unda hudud koordinatalarini kiritish yoki xarita orqali kerakli hududni tanlash mumkin. Tadqiqot hududi xaritada belgilangach, vaqt oraligʻi har yilning 30-mayiga yaqin sanalar asosida tanlandi. Tahlil uchun Landsat Collection 2 (Level-1 va Level-2) maʼlumotlari tanlab olindi; bu NDMI indeksini hisoblashda aniqlikni oshirishga xizmat qildi.



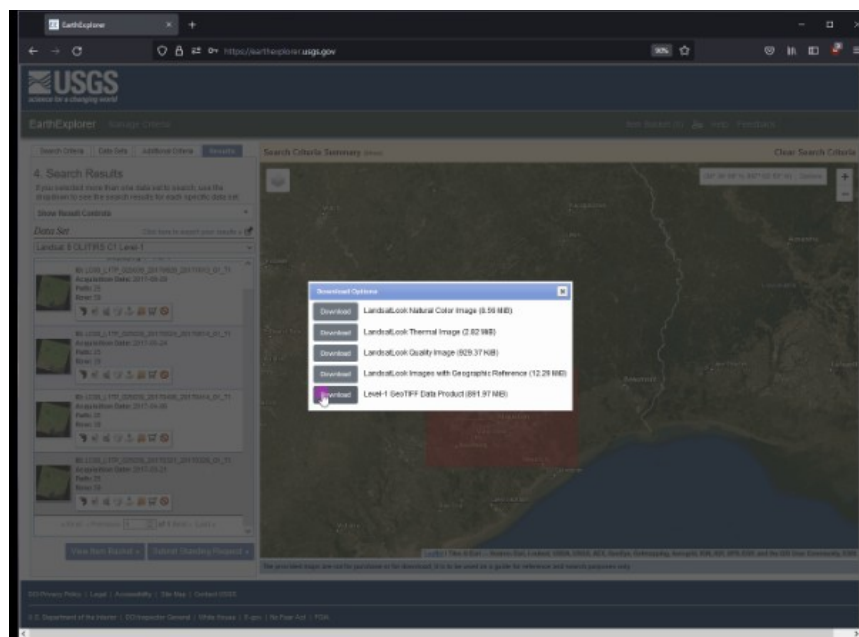
1-rasm. “Earth Explorer” platformasining asosiy oynasi



2-rasm. Tadqiqot hududini xaritada belgilash jarayoni



3-rasm. Data Sets bo'limida Landsat ma'lumotlarini tanlash



4-rasm. Results oynasida tasvirlarni yuklab olish jarayoni

Tahlil va natijalar. Mazkur maqolada hudud tuproq namligini fazoviy baholash uchun masofadan zondlash ma'lumotlari asosida NDMI (Normalized Difference Moisture Index – normallashtirilgan namlik farqi indeksi) spektral indeksi hisoblab chiqildi. NDMI yer yuzasidagi namlik darajasini, ayniqsa o'simlik qoplamini va tuproq namligini aniqlashda keng qo'llaniladigan indekslardan biridir. Indeks yordamida hududda tuproq namligining vaqt bo'yicha o'zgarish dinamikasi tahlil qilindi.

Tadqiqot uchun 1980, 1995, 2010 va 2025-yillarga oid kosmik tasvirlar tanlab olindi. Ushbu yillar hududning uzoq muddatli geoeologik o'zgarishlarini hamda namlik darajasidagi tebranishlarni aniqlash imkonini beruvchi muhim davrlarni ifodalaydi. Har bir yil uchun vegetatsiya davrining bir xil fenologik bosqichini ta'minlash maqsadida 30-may sanasidagi tasvirlar olindi; bir xil sanaga yaqin tasvirlarni tanlash yillar orasidagi farqlarni tabiiy-mavsumiy omillar emas, balki real ekologik o'zgarishlar bilan izohlash imkonini beradi. NDMI indeksi ArcGIS dasturiy muhitida quyidagi formula asosida hisoblandi:

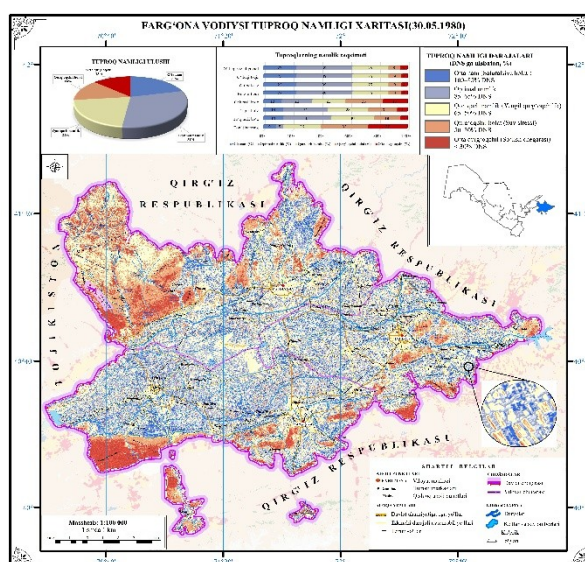
$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Bu yerda, NIR (Near Infrared) – yaqin infraqizil diapazon, SWIR (Short-Wave Infrared) – qisqa to'lqinli infraqizil diapazon.

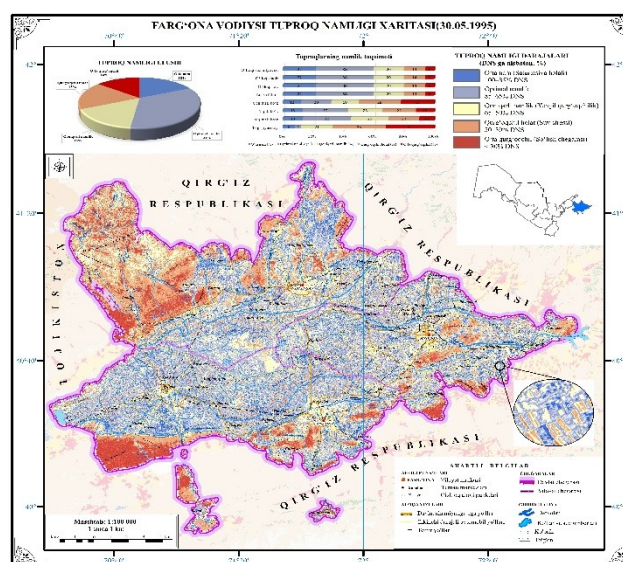
Ushbu indeks o'simlik to'qimalari va tuproqdagi namlik miqdoriga sezgir bo'lib, namlik ortgan sari indeks qiymati oshib boradi. Raster Calculator vositasida yuqoridagi formula qo'llanilib, har bir yil uchun tuproq namligini aks ettiruvchi NDMI raster qatlamlari hosil qilindi. Hosil bo'lgan rasterlarda har bir piksel qiymati -1 dan $+1$ gacha bo'lgan oraliqda ifodalanadi: manfiy qiymatlar odatda quruq hududlar yoki suv obyektlarini, musbat qiymatlar esa nam tuproq yoxud vegetatsiya mavjud hududlarni bildiradi. Namlik darajasini aniqlash maqsadida qatlamlar klassifikatsiya qilindi va bu jarayonda tuproq namligi dala nam sig'imiga (DNS) nisbatan foizda baholandi. Ushbu ko'rsatkich tuproqning maksimal nam sig'irish qobiliyatini ifodalaydi va tuproq namligini geoeologik jihatdan baholashda muhim mezon hisoblanadi.

NDMI indeksining qiymatlari dala nam sig'imiga (DNS) nisbatan besh namlik darajasiga ajratildi. DNSning 100–85 % oralig'idagi qiymatlar o'ta nam (saturatsiya) holatini ifodalaydi; bunday hududlarda tuproq namligi yuqori bo'lib, ko'pincha suv bilan to'yingan yoki botqoqsimon sharoit kuzatiladi. 85–65 % oralig'i optimal namlik darajasi sanaladi va u tuproq namligining o'simliklar rivojlanishi uchun eng qulay ko'rsatkichi hisoblanadi. 65–50 % oralig'ida namlik ma'lum darajada pasayib, qoniqarli namlik (yengil qurg'oqchilik) holati yuzaga keladi, bunda o'simliklar yengil suv tanqisligini sezishi mumkin. 50–30 % oralig'i

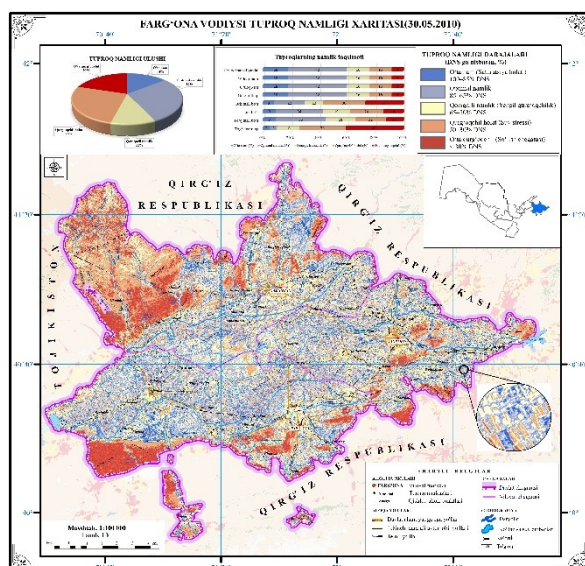
qurg'oqchil holatga (suv stressiga) mos keladi: tuproq namligi sezilarli darajada kamayadi va o'simliklarda suv stressi kuzatiladi. DNSning 30 %idan past qiymatlar esa o'ta qurg'oqchil holatni (so'lish chegarasini) bildiradi, bu sharoitda tuproqdagi namlik juda kam bo'lib, o'simliklarning normal rivojlanishi qiyinlashadi.



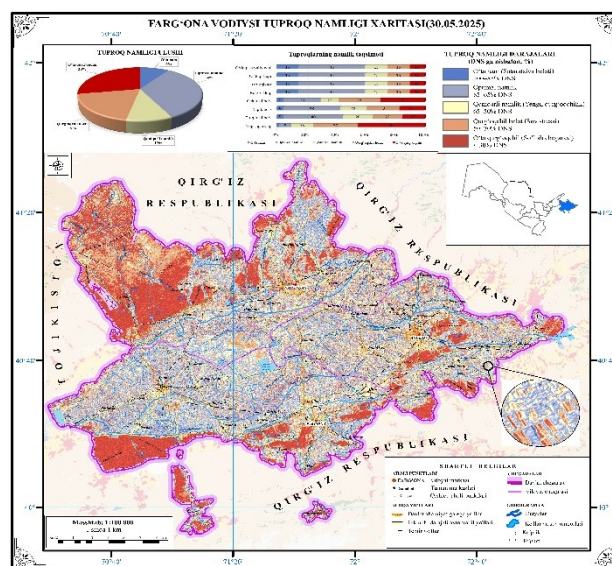
5^A-rasm. 1980-yil



5^B-rasm. 1995-yil



5^C-rasm. 2010-yil



5^D-rasm. 2025-yil

5-rasm. Farg'ona vodiysi tuproq namligi xaritalari

Klassifikatsiya jarayonida har bir namlik darajasi uchun mos rang diapazoni tanlandi va natijada tuproq namligining fazoviy taqsimotini aks ettiruvchi tematik

xarita yaratildi. Xaritalashda yuqori namlikdagi hududlar ko'k va yashil, o'rtacha namlikdagi hududlar och yashil va sariq, qurg'oqchil hududlar esa to'q sariq va qizil ranglarda tasvirlandi. Bu tuproq namligining hudud bo'yicha taqsimlanishini vizual jihatdan aniq ko'rsatish imkonini berdi. Mazkur klassifikatsiya asosida 1980, 1995, 2010- va 2025-yillarning 30-may sanasiga oid tuproq namligi xaritalari ishlab chiqildi.

Farg'ona vodiysi O'zbekistonning eng muhim ijtimoiy-iqtisodiy areallaridan biri bo'lib, uning tuproq qoplami tabiiy-geografik sharoit, iqlim, relyef va gidrologik omillar ta'sirida shakllangan. Vodiya eng keng tarqalgan tuproq turi – bo'z tuproqlardir; ular hududning asosiy qismini egallab, och tusli, tipik va to'q tusli turlarga ajraladi. Vodiy tuproqlarini namlik darajasiga ko'ra tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, hudud tuproq qoplami gidrologik va iqlimiy sharoitlarga kuchli bog'liq holda shakllangan. Quyida keltirilgan yillar kesimida tuproqlardagi namlik darajasi ba'zi hududlarda ortgani, ba'zilarida esa kamaygani kuzatiladi.

Keltirilgan xaritalardan ko'rinadiki, 1980–1995-yillar oralig'ida DNS tasnifi bo'yicha tuproq namligi ko'rsatkichlari biroz kamaygan. Keyingi 2010–2025-yillar oralig'ida esa optimal namlik darajasidagi (85–65 %) hamda o'ta qurg'oqchil holatdagi (30 %dan kam) tuproqlar ulushining bir vaqtning o'zida ortgani kuzatiladi. Farg'ona vodiysi tuproq namligi xaritalarida hududlardagi namlik darajasining yillar davomida qanchalik o'zgarganini rang tasvir areallari orqali kuzatish mumkin.

Xulosa va takliflar. Landsat 3 MSS/Landsat 4–5 TM (1980-yil), Landsat 5 TM (1995-yil), Landsat 5 TM/Landsat 7 ETM+ (2010-yil) hamda Landsat 8 OLI/TIRS/Landsat 9 OLI-2 (2025-yil) sun'iy yo'ldoshlarining kosmik tasvirlari va NDMI spektral indeksidan foydalangan holda Farg'ona vodiysining 1980–2025-yillar oralig'idagi tuproq namligi dinamikasi masofadan zondlash asosida aniqlandi. Tahlil natijalari hududda tuproq namligining fazoviy va vaqtiy taqsimoti sezilarli o'zgarishlarga uchraganini ko'rsatdi.

Olingan natijalar bir qator amaliy xulosalarni ilgari surish imkonini beradi. Avvalo, tuproq namligini muntazam monitoring qilishda optik (Landsat)

ma'lumotlarni radar (Sentinel-1, SAR) ma'lumotlari bilan birgalikda qo'llash tahlil aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Shuningdek, NDMI monitoringi natijalarini yer usti (dala) o'lchovlari bilan validatsiya qilish hududning agroiklimiy rejalashtirishini yanada ishonchli asosga qo'yadi. Nihoyat, qurg'oqchilikka moyil areallarda suv resurslaridan oqilona foydalanish va meliorativ tadbirlarni kuchaytirish hudud tuproqlarining namlik muvozanatini saqlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Arifin S. et al. Impacts of climate change and agricultural diversification on Thai farm households. – 2020.
2. Asseng S., Ewert F., Martre P. et al. Rising temperatures reduce global wheat production // Nature Climate Change. – 2015.
3. Bibi F., Rahman A. An overview of climate change impacts on agriculture and their mitigation strategies // Agriculture. – 2020.
4. Entekhabi D., Njoku E.G., O'Neill P.E. et al. The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission // Proceedings of the IEEE. – 2010. – Vol. 98, No. 5. – P. 704–716.
5. FAO. Climate Change and Agriculture Report. – Rome: FAO, 2019.
6. Giannarakis G. et al. Understanding the impacts of crop diversification in the context of climate change. – 2021.
7. Hobbs J., Lal R. et al. Global trends in conservation agriculture and climate change research. – 2022.
8. IPCC. Climate Change 2021: Assessment Report. – Cambridge University Press, 2021.
9. Kerr Y.H., Waldteufel P., Wigneron J.-P. et al. The SMOS Mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle // Proceedings of the IEEE. – 2010. – Vol. 98, No. 5. – P. 666–687.
10. Lal R. Soil carbon sequestration and climate change. – 2018.
11. Lobell D., Gourdji S. The influence of climate change on global crop productivity // Plant Physiology. – 2012.
12. Muradov R., Abdullayev U. Tuproq xossalarini xaritalash va meliorativ holatni masofadan zondlash orqali baholash. – Toshkent, [nashr yili].
13. Nelson G. et al. Climate change effects on agriculture and food security. – 2014.
14. Shevchenko V. et al. Climate change impact on agricultural land suitability. – 2022.
15. Wagner W., Lemoine G., Rott H. A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data // Remote Sensing of Environment. – 1999. – Vol. 70, No. 2. – P. 191–207.

16. Akramov Z.M., Rafikov A.A. Past tekisliklar meliorativ holati va tuproq unumdorligini oshirish. – Toshkent: “Fan” nashriyoti, 1990.
17. Boboxo‘jayev I., Uzoqov P. Tuproqshunoslik. – Toshkent: “Mehnat” nashriyoti, 1995.
18. Gafurova L.A. va boshqalar. Tuproqshunoslik. – Toshkent: “Vorish-nashriyot”, 2012.
19. Kenjabayev Sh. va boshqalar. Farg‘ona vodiysida atmosfera yog‘inlari miqdorini CHIRPS va TRMM sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari asosida baholash. – [nashr ma’lumotlari].
20. Kuziyev R.K., Sultonov M.Z. O‘zbekiston tuproqlari. – Toshkent: “Yangi asr avlodi” nashriyoti, 2012.
21. Tursunov L.T. Tuproq fizikasi. – Toshkent: “Mehnat” nashriyoti, 1999.