



UDK: 556.3:528.8(575.1)

**Botirjon ABDULLAYEV,**

*Geologiya-mineralogiya fanlari doktori (DSc), professor "TIQXMMI" Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O'zbekiston*  
E-mail: [botir@mail.ru](mailto:botir@mail.ru) ORCID: 0000-0001-8014-4247

**Iqboljon SOLIYEV,**

*Geologiya-mineralogiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Namangan davlat universiteti, Namangan, O'zbekiston*  
E-mail: [soliyeviqboljon7777@gmail.com](mailto:soliyeviqboljon7777@gmail.com) ORCID: 0009-0003-1594-416X

*O'zMU dotsenti, PhD M.Xolmirzayev taqrizi asosida*

## REMOTE SENSING CAPABILITIES FOR ASSESSING GROUNDWATER LEVELS (A CASE STUDY OF THE FERGANA VALLEY)

Annotation

This article analyzes the possibilities of remote sensing for assessing groundwater level variations. In addition to the NDMI (Normalized Difference Moisture Index), a number of supplementary spectral indices were applied to determine groundwater levels more accurately. Based on the results of the analysis, a spatial distribution map of groundwater levels in the Fergana Valley was produced.

**Keywords:** Fergana Valley, groundwater, groundwater level, remote sensing, NDMI (Normalized Difference Moisture Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index).

## ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ)

Аннотация

В статье проанализированы возможности дистанционного зондирования для оценки изменений уровня подземных вод. Помимо индекса NDMI (Normalized Difference Moisture Index), для более точного определения уровня подземных вод был использован ряд дополнительных спектральных индексов. По результатам анализа была создана карта пространственного распределения уровней подземных вод в Ферганской долине.

**Ключевые слова:** Ферганская долина, подземные воды, уровень подземных вод, дистанционное зондирование, NDMI (Normalized Difference Moisture Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index).

## YER OSTI SUVLARI SATHINI MASOFADAN ZONDLASH IMKONIYATLARI (FARG'ONA VODIYSI MISOLIDA)

Annotatsiya

Ushbu maqolada yer osti suvlari sathini masofadan zondlash imkoniyatlari tahlil qilingan. Maqolada yer osti suvlar sathini aniqlash uchun NDMI (Normalized Difference Moisture Index) indeksiga asoslanib qo'shimcha bir qator spektral indekslardan ham foydalanildi. Tahlillar natijasida Farg'ona vodiysi grunt suvlari sathining hududiy taqsimlanish xaritasi yaratildi.

**Kalit so'zlar.** Farg'ona vodiysi, yer osti suvlari, grunt suvlari sathi, masofadan zondlash, NDMI (Normalized Difference Moisture Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index).

**Kirish.** Suv resurslari barqaror iqtisodiy rivojlanish va inson faoliyati uchun asosiy tabiiy resurs hisoblanadi. Xorijiy va mahalliy ekspertlar hisob-kitoblariga ko'ra, global miqyosda suv taqchilligi tez sur'atlarda o'smoqda. 2022-yilda BMT ma'lumotlariga ko'ra, 2,3 milliarddan ortiq odamlar suv taqchilligi yuzaga kelgan hududlarda yashamoqda. Bu muammoning ko'pchiligi yer osti suvlari zaxiralarning kamayishi bilan bog'liq. Bu esa yer osti suvlari zaxiralarini barqaror boshqarishda jiddiy muammolarni keltirib chiqaradi.

Markaziy Osiyo mintaqasida, jumladan O'zbekistonda, iqlimning qurg'oqchilikka moyilligi va suv oqimlarining kamayishi yer osti suvlarining barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda.

O'zbekistonda tartibsiz quduq burg'ilash, suvdan intensiv foydalanish va iqlimning qurg'oqchilikka moyilligi oqibatida ayrim hududlarda yer osti suvlari sathi bir yilda 5 metrdan ortiq pastlagan holatlar kuzatilmoqda. Bunday jarayonlar Navoiy, Samarqand, Jizzax, Namangan, Farg'ona va Andijon viloyatlarining ayrim tumanlarida qayd etilgan. Yuqoridagilardan kelib chiqib yer osti suvlari sathi va zaxirasini zamonaviy monitoring tizimini joriy qilish hamda takomillashtirish uchun ular rejimini masofadan zondlash orqali tahlil qilish muhim ahamiyatga ega.

**Mavzuga oid adabiyotlar tahlili.** So'nggi o'n yilliklarda yer osti suvlari monitoringi va masofadan zondlash texnologiyalari gidrogeologik izlanishlarda muhim ahamiyat kasb etib kelmoqda. Xorijiy olimlar ushbu sohada global va mahalliy hududlarda sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari, radar interferometriyasi va gravimetriya usullaridan foydalanib, suv zaxiralari dinamikasini aniqlash va baholashda yangi standartlar o'rnatdilar. Masalan, James

S. Famiglietti (AQSH, 2014), Matthew Rodell (AQSH, 2009) va Byron D. Tapley (AQSH, 2004), Jorn Hoffmann (Germaniya, 2001) va boshqa bir guruh tadqiqotchilar yer osti suvlarini tahlil qilishda sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari, radar interferometriyasi va gravimetriya usullaridan keng foydalanib kelmoqda.

O'zbekistonda ham shu yo'nalishda qator ilmiy ishlar olib borildi. Jumladan,

A.M.Dosimbetov (2023), O'.B.Mardiyev (2023), S.B.Kalabayev (2023), N.Davitov va M.M.Radjabova, A.A.Ravshanov (2024) va boshqalar bir qator tadqiqotchilar aerokosmik tasvirlar, GIS va avtomatik sensorlarni integratsiyalash sohasida muayyan natijalarga erishgan.

Yuqoridagi tahlillar xorijiy va mahalliy tadqiqotlarni uyg'unlashtirilgan holda, masofadan zondlash usullari orqali yer osti suvlarini tahlil qilish tizimini ilmiy va amaliy jihatdan takomillashtirish zaruratini ko'rsatadi.

**Tadqiqot metodologiyasi.** Ushbu maqolada yer osti suvlarini masofadan zondlash orqali o'rganishda gravimetriya, radar interferometriyasi va ko'p manbali ma'lumotlarni birlashtirish usullarini samarali qo'llanildi. Shuningdek, tadqiqotlar asosan ayerokosmik tasvirlar, geoaxborot tizimlari (GIS) va gidrogeologik modellarga asoslangan, tizimli tahlil va taqqoslash usullaridan foydalanilgan.

**Tahlil va natijalar.** Ushbu tadqiqotda yer osti suvlar sathini aniqlash uchun NDMI (Normalized Difference Moisture Index) indeksiga asoslanib qo'shimcha bir qator spektral indekslardan ham foydalanildi. Ushbu indekslar yer osti suvlari sathi bilan bevosita yoki bilvosita bog'liq bo'lgan namlik, suv obektlari va o'simlik holatini baholash imkonini beradi.

Tadqiqotda NDMI asosiy indikator sifatida qabul qilingan bo'lsa-da, NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) va BSI kabi qo'shimcha spektral indekslar yordamida natijalarning ishonchligi va mantiqiy asoslanganligi kuchaytirildi.

Mazkur indekslar natijalari ArcMap muhitida ustma-ust tahlil (overlay analysis) qilinib, NDMI natijalari bilan fazoviy solishtirildi. Indekslar o'rtasidagi umumiy tendensiyalar va mos keluvchi zonalar aniqlanib, yer osti suvlari sathining ehtimoliy chuqurlik darajalari yanada asoslab berildi.

Mazkur tadqiqotda yer osti suvlari sathining hududiy taqsimlanishini baholash uchun masofadan zondlash, relyef va gidrogeologik ma'lumotlarni o'z ichiga olgan bir nechta xalqaro ochiq ma'lumotlar bazalaridan foydalanildi. Ushbu manbalar GIS-tahlil uchun zarur bo'lgan ishonchli va keng qo'llaniladigan ma'lumotlar bilan ta'minladi.

Kosmik tasvirlar va spektral indekslarni hisoblash uchun sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari USGS EarthExplorer platformasidan olindi. Ushbu portal orqali Landsat sun'iy yo'ldoshlarining ko'p spektrli tasvirlari yuklab olinib, NDMI, NDWI, NDVI va boshqa indekslarni hisoblashda asosiy manba sifatida foydalanildi. USGS EarthExplorer ilmiy tadqiqotlarda keng qo'llaniladigan, ishonchli va ochiq kosmik ma'lumotlar bazasi hisoblanadi.

Yer yuzasi relyefi va balandlik xususiyatlarini tahlil qilishda raqamli relyef modeli (DEM) ma'lumotlari qo'llanildi. DEM ma'lumotlari yer osti suvlari sathining relyefga bog'liq hududiy farqlarini aniqlashda muhim omil bo'lib xizmat qildi.

Yer osti suvlari va suv resurslariga oid umumiy gidrogeologik axborotlar Yevropa miqyosida shakllantirilgan suv resurslari portallaridan olindi. Jumladan, European Environment Agency (EEA), WISE – Water Information System for Europe, Copernicus Land Monitoring Service, EIONET, BRGM, European Groundwater Resources manbalar ma'lumotlaridan foydalanildi.

Mazkur manbalardan olingan ma'lumotlar bevosita o'lchov sifatida emas, balki masofadan zondlash asosida olingan natijalarni hududiy talqin qilish, solishtirish va ilmiy asoslash uchun yordamchi ma'lumotlar sifatida ishlatildi. Barcha ma'lumotlar ArcMap GIS muhitida yagona koordinata tizimiga keltirilib, kompleks fazoviy tahlil asosida yakuniy tematik xarita yaratildi (1- rasm).



1 - rasm. GIS muhitida dastlabki fazoviy ishlov berish

Tadqiqot ishlari ArcGIS (ArcMap) dasturiy muhitida olib borildi. Dastlab tadqiqot hududi chegaralari vektor shaklida yuklanib, barcha fazoviy ma'lumotlar ushbu hudud doirasida qayta ishlash uchun tayyorlandi. Kosmik tasvirlar va raster ma'lumotlar ArcMap muhitiga import qilinib, ularning fazoviy joylashuvi tekshirildi.

Boshlang'ich bosqichda alohida sahnalar ko'rinishida mavjud bo'lgan kosmik tasvirlar birlashtirilib (mosaic), yagona raster qatlam shakllantirildi. Shundan so'ng, tadqiqot hududi chegarasi asosida raster ma'lumotlar kesib olindi (extract by mask). Ushbu jarayonlar keyingi spektral indekslarni hisoblash va tahlil qilish uchun zarur bo'lgan yagona va uzluksiz fazoviy ma'lumotlar bazasini yaratishga xizmat qildi.

Tadqiqot ishlari davomida sun'iy yo'ldosh tasvirlari GeoTIFF (.tif) formatida yuklab olinib, ArcGIS (ArcMap) dasturiy muhitiga import qilindi. Yuklab olingan raster ma'lumotlar ko'p spektrli tasvirlar bo'lib, ular alohida spektral kanallari ko'rinishida dasturga joylandi (2- rasm).



**2 - rasm. Kosmik tasvirlarni yuklab olish va dastlabki ishlov berish**

ArcMap muhitida har bir .tif faylning fazoviy joylashuvi va koordinata tizimi tekshirildi. Tasvirlar tadqiqot hududi chegaralari bilan moslashtirilib, keraksiz tashqi maydonlar kesib olindi. Mazkur Bosqichda tasvirlar visual tekshiruvdan o'tkazilib, ularning sifati va tahlil uchun yaroqliligi baholandi.

Ko'p spektrli raster qatlamlar ustida dastlabki ishlov berish ishlari amalga oshirilib, spektral qiymatlar diapazoni (minimum va maksimum) aniqlandi. Ushbu jarayon keyingi spektral indekslarni hisoblash va tasvirlarni klassifikatsiya qilish uchun zarur bo'lgan tayyor raster bazani shakllantirishga xizmat qildi. Shu tariqa, .tif formatdagi kosmik tasvirlar ArcGIS muhitida qayta ishlashga tayyor holatga keltirildi va keyingi NDMI hamda boshqa gidrologik indekslar asosidagi tahlil bosqichlariga o'tildi.

Kosmik tasvirlar va hisoblangan raster qatlamlar ustida tahlilni yanada aniq va tushunarli ko'rinishda aks ettirish maqsadida vizual moslashtirish ishlari amalga oshirildi. ArcGIS (ArcMap) muhitida

Raster qatlamlarning tasvirlash usullari o'zgartirilib, rangli gradientlar va mos rang sxemalari tanlandi.

Raster qiymatlarining taqsimlanish diapazoni inobatga olinib, ranglar minimum va maksimum qiymatlar asosida moslashtirildi. Bu orqali namlik darajasi past va yuqori bo'lgan hududlar vizual jihatdan aniq ajratib ko'rsatildi. Ranglash jarayonida tabiiy-geografik talablarga mos bo'lgan ranglar tanlanib, xaritaning o'qiluvchanligi va tahlilvi ahamiyati oshirildi (3-rasm).



**3 - rasm. Raster qatlamlarni ranglash va vizual moslashtirish**

Shuningdek, rang berish jarayonida raster qatlamlar hududiy chegaralar bilan uyg'unlashtirilib, vizual moslik va kartografik aniqlik ta'minlandi. Mazkur bosqich yakunida tahlil natijalari tematik xarita ko'rinishida ifodalash uchun tayyor holatga keltirildi.

Tahlil natijalarini hududiy jihatdan aniq va tushunarli aks ettirish maqsadida yakuniy xarita komponovkasi shakllantirildi. ArcGIS (ArcMap) muhitida hisoblangan raster qatlamlar ustiga qo'shimcha tematik qatlamlar joylashtirildi. Xususan, hududning gidrografik tarmog'i (daryolar, kanallar va kollektor-drenaj tizimlari) alohida vektor qatlam sifatida xaritaga kiritildi. Ushbu qatlam yer usti va yer osti suvlari o'rtasidagi fazoviy bog'liqlikni vizual baholash imkonini berdi hamda namlik darajasi yuqori hududlarni talqin qilishda muhim yordamchi omil bo'lib xizmat qildi (4- rasm).



**4 - rasm. Xarita komponovkasi va qo'shimcha tematik qatlamlar**

Komponovka jarayonida barcha qatlamlarning ranglari, chiziq qalinliklari va belgilar o'zaro moslashtirilib, xaritaning o'qiluvchanligi va kartografik muvozanati ta'minlandi. Natijada yer osti suvlari sathining hududiy taqsimlanishini aks ettiruvchi, gidrografik va ijtimoiy-geografik obyektlar bilan boyitilgan yakuniy tematik xarita yaratildi.

Yakuniy tematik xaritada axborotni aniq va tushunarli ifodalash maqsadida puxta ishlab chiqilgan legenda va shartli belgilar tizimidan foydalanildi. Legendalar xaritaning mazmuni, tahlil natijalari va qo'shimcha tematik qatlamlarni bir-biridan farqlash imkonini beradi.

Xaritada yer osti suvlari sathining chuqurligi asosiy tematik ko'rsatkich sifatida rangli legenda orqali ifodalandi. Ushbu legenda NDMI va qo'shimcha spektral indekslar asosida ajratilgan sinflarga mos ravishda tuzildi. Ranglar och yashil rangdan to'q ranglarga qarab o'zgarib borib, yer osti suvlari sathining yuza joylashgan hududlardan chuqur joylashgan zonalarga o'tishini ifodalaydi. Natijada xaritada suv sathi yuqori bo'lgan hududlar vizual jihatdan aniq ajratib ko'rsatildi.

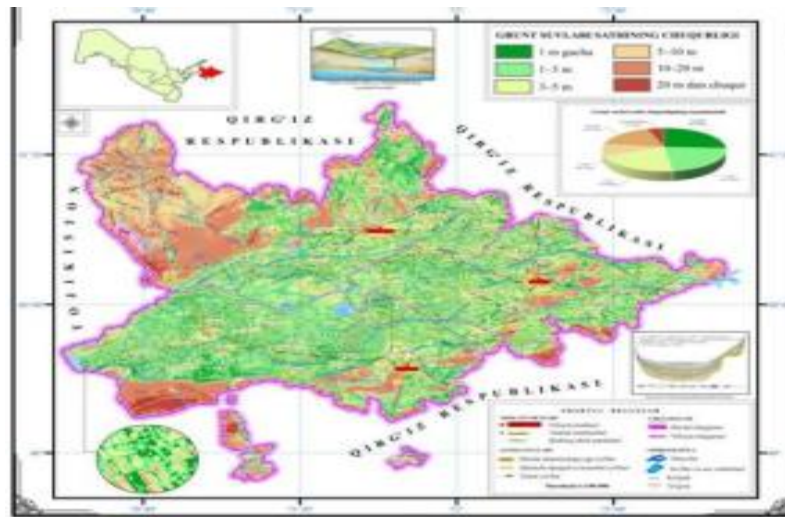
Mazkur tadqiqot natijasida Farg'ona vodiysi hududida grunt sathining ehtimoliy chuqurlik bo'yicha hududiy taqsimlanishini aks ettiruvchi tematik xarita yaratildi. Xarita masofadan zondlash ma'lumotlari va geoinformatsion texnologiyalar asosida ArcGIS dasturiy muhitida ishlab chiqildi.

Tadqiqot jarayonida sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida NDMI indeksi hamda unga o'xshash namlik va gidrologik holatni ifodalovchi spektral ko'rsatkichlar hisoblandi. Ushbu indikatorlar raqamli relyef modeli, gidrografik tarmoq va mavjud gidrogeologik ma'lumotlar bilan kompleks holda tahlil qilindi. Natijada grunt suvlari sathining hududiy farqlanishi mantiqan asoslangan holda baholandi.

Yaratilgan xaritada yer osti suvlari sathi bir nechta chuqurlik sinflariga ajratilib, rangli legendalar yordamida aniq va tushunarli tarzda ifodalandi. Gidrografik tarmoq va aholi punktlarining xaritaga kiritilishi natijalarning amaliy ahamiyatini oshirib, suv resurslari va aholi joylashuvi o'rtasidagi fazoviy bog'liqlikni baholash imkonini berdi.

Mazkur xarita bevosita o'lchovlarga emas, balki bilvosita masofadan zondlash indikatorlariga asoslangan holda yaratilgan bo'lib, u grunt suvlari sathining hududiy taqsimlanishini umumiy baholash va tahlil qilish uchun mo'ljallangan. Olingan natijalar keyingi gidrogeologik tadqiqotlar, dala kuzatuvlari va monitoring ma'lumotlari bilan aniqlashtirilishi mumkin.

Masofadan zondlash ma'lumotlari asosida Farg'ona vodiysi grunt suvlari sathining hududiy taqsimlanish xaritasi ishlab chiqildi. Xaritada grunt suvlari sathi 1 metrgacha, 1-3 metr, 3-5 metr, 5-10 metr va 10 metrdan chuqurda tarqalgan hududlar har biri alohida ko'rsatilgan. Farg'ona vodiysining tog'li va tog'oldi balandliklari, adirlar hududlarida grunt suvlari sathi 20 metrdan chuqurda tarqalgan. Xarita ma'lumotlari grunt suvlari sathi adir va adir oldi hududlarida 10- 20 metr chuqurlikda tarqalganligini ko'rsatadi (5- rasm).



5 - rasm. Farg'ona vodiysi grunt suvlari sathining hududiy taqsimlanish xaritasi

Grunt suvlari sathi Farg'ona vodiysining markaziy qismida, daryo vodiylarida, adir orti botiq hududlarda yer betiga yaqin joylashgan. Shuningdek, So'x daryosi yoyilmasida, Chimyon-Avval adir orti botiqlari hududlarida, Shoximardonsoy, Isfayramsoy, Oqbura, Qoradaryo, Podshotasoy, Kosonsoy, G'avosoy daryolari havzalarida, Shimoliy Farg'onadagi adir orti botiqlarida grunt suvlari sathi yer betidan 1 metr, 1-3 metr chuqurlikda joylashgan. Markaziy Farg'onaning katta qismida ham grunt suvlari sathi 1 metr, 1-3 metr atrofida tarqalgan. Faqatgina qum barxanlari joylashgan hududlarda grunt suvlari sathi 5 metrdan chuqurda ko'rsatilgan. Bu shu hududlardagi qum barxanlarining yer yuzasidan balandligi bilan bog'liq.

**Xulosa va takliflar.** Yuqoridagi tahlillar asosida quyidagicha xulosalarga kelish mumkin;

- yer osti suvlari masofadan zondlash uchun NDMI asosiy indikatorga qo'shimcha sifatida NDWI, MNDWI, NDVI hamda BSI kabi spektral indekslardan foydalanish tahliliy natijalarning ishonchligini ortishiga xizmat qiladi;
- yer osti suvlari masofadan zondlash orqali ular sathini aniqlash imkoni mavjud bo'lib, bunda o'rganilayotgan hudud yer osti suvlari sathi to'g'risidagi ma'lumotlarni tez va aniq olish imkonini beradi;
- yaratilgan xarita tahlili Farg'ona vodiysining markaziy qismida, adir orti botiqlarida va daryo vodiylarining quyi oqimida grunt suvlari sathi yer betiga yaqin joylashganligini tasdiqlaydi;
- ishlab chiqilgan xarita Farg'ona vodiysining gidrologik holatini baholash, suv resurslarini rejalashtirish va ilmiy-amaliy tadqiqotlarda foydalanish uchun muhim axborot manbai bo'lib xizmat qiladi.

#### ADABIYOTLAR

1. Абдуллаев Б.Д., Солиев И.Р., Солиев Ш.Р., Умарова З.М. Иқлим илиши шароитида Сўх дарёси ҳавзасида ер ости сувларидан фойдаланиш масалалари// Геология ва минерал ресурслар журна. Тошкент, 2020. № 4. – Б. 60-63
2. Famiglietti, J. S. (2014). The global groundwater crisis. Nature Climate Change, 4(11), 945–948.
3. Rodell, M., Velicogna, I. & Famiglietti, J. S. (2009). Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. Nature, 460, 999–1002.
4. Tapley, B.D., Bettadpur, S., Watkins, M., & Reigber, C. (2004). The Gravity Recovery and Climate Experiment: Mission overview and early results. Geophysical Research Letters.

5. Мардиев, Ў. Б. Геоахборот технологиялари асосида ер ости сувлари мониторинги тизимини такомиллаштириш. Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати. Т.: -2023
6. Soliyev I.R. Problems of taking into river flow in monitoring groundwater levels// International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences ISSN: 2277-2081. 2020 Vol. 10(3) September-December, pp. 43-52.
7. Zuhridin Juraev, Mirzohid Koriyev, Ikboljon Soliev // Six decades of climate and water variability in the Sokh Basin of Central Asia// Acta hydrologica slovac// DOI: 10.31577/ahs-2025-0026.02.0023// Volume 26, No. 2, 2025, 226 –235.
8. www.LexUz. Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий баъзаси.