YER OSTI SUVLARI MONITORING TIZIMINI LOYIHALASHTIRISHNI TAKOMILLASHTIRISHDA ZAMONAVIY YONDASHUVLAR VA TEXNOLOGIK INNOVATSIYALAR

Xabibullayev Ibroxim Xabibullayevich
Toshkent gumanitar fanlari universiteti professori.
Email: ibrohim5004@gmail.com
Telyaev Ismat Qudratillaevich
Mirzo ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universitetining Jizzax filiali tayanch doktaranti.
Email: ismat.telyaev93@gmail.com
Axrorov Faxriddin O'rinboy o'g'li
Mirzo ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universitetining Jizzax filiali tayanch doktaranti.
Email: axrorovfaxriddin20@gmail.com

Anotatsiya: Mazkur maqolada yer osti suvlari monitoring tizimini takomillashtirishda zamonaviy yondashuvlar va texnologik innovatsiyalarning o'rni tahlil qilinadi. Tadqiqotda geoinformatsion tizimlar (GIS), masofadan zondlash (RS), telemetriya va raqamli ma'lumotlarni qayta ishlash texnologiyalari kabi texnologik innovatsiyalarni qo'llanilishi ko'rib chiqilgan. Ushbu texnologiyalar yordamida suv sathining o'zgarishi, sifat ko'rsatkichlari va suv zaxiralarining dinamikasi real vaqt rejimida nazorat qilish imkonini beradi. Maqolada shuningdek, Respublikamizda mavjud avtomatlashtirilgan monitoring tizimini takomillashtirish bo'yicha takliflar ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalari suv resurslarini boshqarishda samaradorlikni oshirish va ekologik xavfsizlikni ta'minlashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Yer osti suvlari, monitoring, gidrogeologik modellashtirish, geoinformatsion tizimlar (GIT), masofadan zondlash, sun'iy yo'ldosh, raqamli gidrogeologiya, suv resurslari, sun'iy intellect.

Abstract: This article analyzes the role of modern approaches and technological innovations in improving the groundwater monitoring system. The study examines the application of technological innovations such as Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing (RS), telemetry, and digital data processing technologies. These technologies make it possible to monitor groundwater level fluctuations, quality indicators, and the dynamics of water reserves in real time. The article also develops proposals for improving the existing automated monitoring system in the Republic. The research results contribute to enhancing the efficiency of water resources management and ensuring environmental safety.

ISSN 3030-3907

Key words: Groundwater, monitoring, hydrogeological modeling, geographic information systems (GIS), remote sensing, satellite data, digital hydrogeology, water resources, artificial intelligence

Аннотация: В данной статье рассматриваются современные подходы и технологические инновации в совершенствовании системы мониторинга подземных вод. В исследовании анализируется применение современные технологические инновации таких как, геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования (ДЗЗ), телеметрии и технологий цифровой обработки данных. Эти технологии позволяют осуществлять контроль за изменениями уровня подземных вод, показателями качества и динамикой водных ресурсов в режиме реального времени. Также приводятся предложения по совершенствованию существующие автоматизированной системы мониторинга подземных вод в республики Узбекистан. Результаты исследования способствуют повышению эффективности управления водными ресурсами и обеспечению экологической безопасности.

Ключевые слова: Подземные воды, мониторинг, гидрогеологическое моделирование, геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование, спутниковые данные, цифровая гидрогеология, водные ресурсы, искусственный интеллект

KIRISH

Yer osti suvlari — insoniyatning yashashi, qishloq xo‘jaligi va sanoatning barqaror rivojlanishi uchun eng muhim tabiiy boyliklardan biridir. Ular global suv balansining taxminan 30 foizini tashkil etadi va dunyodagi aholi ehtiyojining 50 foizidan ortig‘i aynan yer osti suvlari hisobiga qondiriladi.

O‘zbekiston singari qurg‘oqchil iqlimli mamlakatlarda esa bu ko‘rsatkich yanada yuqori — ichimlik suvi, sug‘orish tizimlari, sanoat ishlab chiqarishi uchun suv manbalarining asosiy qismi yer osti suvlaridan olinadi. Shu sababli ularning miqdoriy va sifat holatini doimiy nazorat qilish davlat darajasida strategik ahamiyatga ega.

MAVZUNING DOLBZARLIGI

XXI asrda suv resurslariga bo‘lgan talab ortib bormoqda. Iqlim o‘zgarishi, aholining o‘sishi, sanoatlashtirish, urbanizatsiya jarayonlari yer osti suvlarini ekspluatatsiya qilish darajasini sezilarli oshirdi. Shu bilan birga, ifloslanish, sho‘rlanish, bug‘lanish va tabiiy filtratsiya jarayonlarining buzilishi suv resurslarini tiklanish imkoniyatidan mahrum qilmoqda.

Bu esa ilmiy asoslangan monitoring tizimlarini joriy etishni, ya’ni suv resurslarini kuzatish, tahlil qilish va bashoratlash jarayonlarini raqamlashtirishni talab etadi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

ISSN 3030-3907

Olib borilayotgan tadqiqotlar bo‘yicha **chet el olimlari** — Rodell (NASA, AQSh), Wada va Van Beek (Niderlandiya), Aglmand va Abbasi (Eron), Gholami (Eron), Li (Xitoy), shuningdek USGS (AQSh), UNESCO va FAO (BMT agentliklari) kabi mualliflar va tashkilotlar suv resurslarini global miqyosda kuzatish, modellashtirish va tahlil qilishda ilg‘or ilmiy yondashuvlarni taklif etganlar[1].

Rodell va hamkorlari (2018) tomonidan olib borilgan GRACE sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlariga asoslangan tadqiqotlar Markaziy Osiyo va boshqa qurg‘oqchil hududlarda yer osti suvlarining kamayish tendensiyasini aniqlash imkonini bergan. Wada va Van Beek (2020) esa iqlim o‘zgarishi va antropogen omillar ta’sirida global suv zaxiralari kamayishini raqamli modellar orqali tahlil qilgan. Ularning ishlari suv resurslarini ilmiy asosda boshqarish zarurligini ta’kidlaydi.

Aglmand va Abbasi (2020) hamda Gholami (2024) IoT va AI texnologiyalarini qo‘llab, yer osti suvlarini “aqlli monitoring” tizimi orqali real vaqt rejimida nazorat qilish usullarini ishlab chiqqan. Li (2025) tomonidan yaratilgan mashinaviy o‘rganish modellarida esa suv sathi o‘zgarishlarini bashoratlashda sun’iy neyron tarmoqlar muvaffaqiyatli qo‘llanilgan. Bu tadqiqotlar raqamli gidrogeologiya fanining yangi bosqichini ifodalaydi.

USGS (2023) tomonidan ishlab chiqilgan MODFLOW, FEFLOW, HYDRUS kabi raqamli gidrogeologik modellar suv oqimi, bosim va tuz almashinuvi jarayonlarini uch o‘lchamli formatda modellashtirish imkonini beradi. UNESCO (2021) va FAO (2022) hisobotlari esa global miqyosda suv resurslarini barqaror boshqarish uchun yagona xalqaro monitoring tarmog‘ini yaratish zarurligini asoslagan[7,12].

O‘zbekistonlik olimlar — B.Isroilov va O.Abdurahmanov (2021), Mardiev (2023), Хабибуллаев va boshqalar (2024) — bu yo‘nalishdagi ilmiy ishlanmalarni milliy sharoitga moslashtirib, GIS, RS, IoT va AI texnologiyalarini mahalliy monitoring tizimlariga integratsiya qilish yo‘nalishida tadqiqotlar olib bormoqdalar. Ayniqsa, “Aqlli quduq”, “Suv kadastri” va “Suv xaritalari” kabi loyihalar bu jarayonning amaliy ifodasidir [2,4,5,6].

Umuman olganda, mahalliy va xorijiy olimlarning tadqiqotlari bir-birini to‘ldirib, yer osti suvlarini kuzatishning yangi paradigmasini shakllantiradi. Bu paradigmaning asosiy yo‘nalishlari — geoinformatsion tizimlar (GIS), masofadan zondlash (RS), raqamli gidrogeologik modellar, IoT asosidagi aqlli monitoring tizimlari va sun’iy intellektga asoslangan bashoratlash modellaridir.

[1] https://www.researchgate.net/publication/26736936_Satellite_Based_Estimates_of_Groundwater_Depletion_in_India

ISSN 3030-3907

Mazkur yondashuvlar suv resurslarini barqaror boshqarish, ekologik xavfsizlikni ta’minlash va suv tanqisligi sharoitida samarali qarorlar qabul qilish uchun ilmiy-metodik asos yaratadi.

Geoinformatsion texnologiyalar (GIS) va fazoviy tahlil.

So‘nggi yillarda GIS texnologiyalari yer osti suvlari monitoringida asosiy vositaga aylandi. Ismail Chen va boshqalar (2023) hamda Adil Moumane et al. (2025) tadqiqotlarida GIS va masofadan zondlash (RS) ma’lumotlari integratsiyasi orqali suv sathi, ifloslanish manbalari va infiltratsiya zonalari fazoviy modellashtirilgan. Bu yondashuv yordamida suv zaxiralari dinamikasini vizualizatsiya qilish, bashorat xaritalarini yaratish va turli ma’lumot manbalarini yagona tizimda birlashtirish imkoniyati yaratilgan.

Masofadan zondlash (RS) va sun’iy yo‘ldosh monitoringi

NASA va ESA sun’iy yo‘ldosh dasturlari (masalan, *GRACE* va *Sentinel-2*) yordamida yer osti suvlarining o‘zgarishi global miqyosda tahlil qilinmoqda. Rodell et al. (2018) ishida GRACE ma’lumotlari orqali Markaziy Osiyoda suv sathi pasayishi tendensiyasi aniqlangan[11]. O‘zbekistonda ham sun’iy yo‘ldosh tasvirlari asosida “O‘zbekiston Suv Xaritalari” loyihasi shakllanmoqda.

Telemetriya va IoT texnologiyalari

Xitoy, AQSh va Hindistonda NB-IoT asosidagi millionlab sensor tarmoqlari yer osti suvlarini real vaqt rejimida nazorat qilish imkonini bermoqda (IEEE Spectrum, 2024).

O‘zbekistonda esa “Aqlli quduq” pilot loyihalari va avtomatlashtirilgan suv o‘lchash tizimlari bosqichma-bosqich joriy etilmoqda. Bu jarayonlar “Suv resurslarini raqamlashtirish to‘g‘risida”gi Prezident qarori (PQ–3307, 2023) asosida amalga oshirilmoqda.

Sun’iy intellekt (AI) va mashinaviy o‘rganish (ML)

AI va ML texnologiyalari suv sathi, sifat ko‘rsatkichlari va suv zaxiralarining o‘zgarishini bashorat qilish uchun qo‘llanmoqda. Mohaddeseh Gholami (2024) hamda Li Chan (2025) tadqiqotlarida sun’iy neyron tarmoqlari yordamida er osti suv sathi prognozlash modeli ishlab chiqilgan. Bu usullar katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash orqali boshqaruv qarorlarini tezkor va aniq qabul qilishga yordam beradi.

O‘zbekistonda amalga oshirilayotgan innovatsiyalar.

- “O‘zgidromet” va “Gidrometxizmat markazi” tizimlarida GIS asosida avtomatlashtirilgan monitoring platformalari joriy etilgan.
- “Aqlli quduq” va “Suv resurslarini raqamlashtirish” loyihalari doirasida Sirdaryo va boshqa hududlarda sinov ishlari olib borilmoqda.
- Davlat miqyosida “Suv kadastri” va “Suv xaritalari” elektron platformalari yaratilmoqda.

ISSN 3030-3907

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Yer osti suvlari monitoring tizimini takomillashtirishda avvalo uning mohiyati va tarkibini to‘liq tasavvur qilish zarur.

Monitoring — bu tabiiy jarayonlarni doimiy kuzatish, ularning o‘zgarishini aniqlash va qaror qabul qilish uchun zarur ma’lumotlarni yig‘ish tizimidir. Er osti suvlari monitoringi esa – er osti suvlari parametrlarini o‘lchash va ma'lumotlarni to‘plash, ularning dinamik o‘zgarishlarini o‘z vaqtida aniqlash, baholash, salbiy oqibatlarning oldini olish va sifat ko‘rsatkichlarini takroriy kuzatib borish jarayonidir [6].

Yer osti suvlarini monitoring tizimi asosan uchta tizim ostini o‘z ichiga oladi:

Gidrogeologik monitoring: suv sathi, bosim, oqim tezligi va yo‘nalishini kuzatish.

Gidrokimyoviy monitoring: suvning fizik-kimyoviy tarkibini (pH, minerallashuv, nitrat, metall va boshqa modda miqdorlari) aniqlash.

Ekologik monitoring: antropogen ta’sir, ifloslanish manbalari, suv resurslarining tiklanish tezligi va barqarorligini baholash.

An’anaviy yondashuvda bu jarayonlar quduqlarda sath o‘lchash, suv namunalarini laboratoriyada tahlil qilish, daladagi kuzatish postlaridan ma’lumot yig‘ish orqali amalga oshirilgan. Biroq, bu usullar ko‘p mehnat talab qiladi, hududiy qamrovi cheklangan va ma’lumotlarni qayta ishlash sekin kechadi. Shuning uchun hozirgi bosqichda avtomatlashtirilgan tizimlarga o‘tish zarurati dolzarb masalaga aylandi.

Mavjud tizimni takomillashtirishda zamonaviy texnologik innovatsiyalarni qo‘llash monitoring tizimini takomillashtirishda muhim o‘rin tutadi.

1. Geoinformatsion tizimlar (GIT) va fazoviy tahlilning o‘rni.

Geoinformatsion tizimlar (GIT) suv resurslarini boshqarishdagi eng muhim texnologik vositalardan biridir. U yordamida joydagi suv sathi, gidrogeologik qatlamlar, infiltratsiya zonalari, ifloslanish manbalari va suv resurslarining o‘zaro bog‘liqligi fazoviy xaritalarda ko‘rsatiladi.

GIT fazoviy ma’lumotlarni vizualizatsiya qilish: suv sathi o‘zgarishlarini interaktiv xaritalarda kuzatish; **ma’lumotlarni integratsiya qilish:** turli manbalar (sun’iy yo‘ldosh, quduqlar, laboratoriya) dan olingan ma’lumotlarni yagona tizimda birlashtirish; **model yaratish:** suv resurslarining kelajakdagi holatini matematik modellashtirish afzalliklariga ega[2].

O‘zbekistonda bu borada ArcGIS, QGIS, ERDAS Imagine, Surfer, Global Mapper kabi dasturiy vositalar bosqichma-bosqich joriy qilinmoqda. Ayniqsa,

[2] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10688863

ISSN 3030-3907

“O‘zgidromet” va “Gidrometxizmat markazi” tizimlarida GIT asosida suv obyektlari monitoringi amalga oshirilmoqda[3].

2. Masofadan zondlash (Remote Sensing) texnologiyalari

Masofadan zondlash — bu sun’iy yo‘ldoshlar, dronlar yoki samolyotlardan olingan tasvirlar asosida yer yuzasining tabiiy jarayonlarini kuzatish texnologiyasidir. Yer osti suvlariga bevosita kirish qiyin bo‘lgani uchun bu texnologiya bilvosita kuzatish vositasi sifatida juda samarali.

Masalan:

✓ **Landsat va Sentinel** tasvirlari orqali tuproq namligi, o‘simlik qoplami, suv havzalari maydoni aniqlanadi;

✓ **MODIS** ma’lumotlari bug‘lanish ko‘rsatkichlarini aniqlashda qo‘llaniladi;

✓ **GRACE** (Gravity Recovery and Climate Experiment) sun’iy yo‘ldosh tizimi esa yer osti suv massasi o‘zgarishini global miqyosda aniqlash imkonini beradi.

Bu ma’lumotlar GIT bilan birlashtirilganda, katta hududlarda quduqsiz monitoring olib borish imkoniyati yaratiladi. Shu orqali kam xarajatli, lekin yuqori aniqlikdagi kuzatuv tizimlari shakllanmoqda.

3. Raqamli gidrogeologiya va matematik modellar

Raqamli gidrogeologiya — bu suv oqimi va bosim jarayonlarini matematik modellar asosida modellashtiruvchi fan sohasidir. Bu yo‘nalishda eng ko‘p qo‘llaniladigan dasturlar:

✓ **MODFLOW (USGS)** – eng mashhur ochiq kodli model, uch o‘lchamli suv harakati simulyatsiyasi uchun.

✓ **FEFLOW** – murakkab geologik qatlamlarda issiqlik va massa almashinuvini tahlil qiladi.

✓ **HYDRUS** – suv va tuzlarning vertikal migratsiyasini modellashtiradi.

Ushbu dasturlar yordamida suv sathining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini bashorat qilish, yangi quduqlarni joylashtirish uchun optimal joylarni tanlash, suv resurslarini ekspluatatsiya qilish ssenariylarini ishlab chiqish mumkin.

Bu texnologiyalarni qo‘llash orqali O‘zbekistonning cho‘l va tog‘oldi hududlarida suv resurslarini oqilona boshqarish imkoniyati yaratiladi.

4. “Aqlli” monitoring tizimlari va IoT texnologiyalari

So‘nggi yillarda Internet of Things (IoT) texnologiyasi gidrogeologik monitoringni tubdan o‘zgartirdi. IoT asosidagi sensorlar suv sathi, bosim, harorat va tarkibni real vaqt rejimida o‘lchaydi va ma’lumotlarni markaziy serverga uzatiladi[4].

Bunday tizimlar doimiy kuzatuv (24/7) rejimida ishlash, inson omilini kamayish, avtomatik ogohlantirish (masalan, suv sathi keskin pasayganda yoki

[3] https://hydromet.uz/index.php/uz/node

[4] https://www.uzdaily.uz/en/new-gis-laboratory-created-with-fao-support

ISSN 3030-3907

ifloslanish aniqlanganda), ma'lumotlarni bulutli bazada saqlash va tahlil qilish afzalliklariga ega.

Masalan, Xitoyda suv resurslari boshqaruvi uchun NB-IoT asosidagi 50 mingdan ortiq sensor tarmog'i faoliyat yuritadi[5]. O'zbekistonda esa Sirdaryo viloyatida pilot loyiha doirasida quduqlarda avtomatik sensorlar o'rnatish ishlari olib borilmoqda[6].

5. Sun'iy intellekt (AI) va mashinaviy o'rganishning o'rni.

Sun'iy intellekt texnologiyalari yer osti suvlarining o'zgarishini aniqlashda yangi imkoniyatlarni ochmoqda. AI algoritmlari katta hajmdagi ma'lumotlarni (Big Data) qayta ishlash orqali bashorat modellarini yaratadi[7].

Masalan, **LSTM (Long Short-Term Memory)** neyron tarmog'i suv sathi dinamikasini vaqt bo'yicha prognozlaydi, **Random Forest** algoritmi ifloslanish xavfi yuqori bo'lgan zonalarni xaritalaydi, **K-means clustering** suv quduqlarini tasniflashda qo'llaniladi.

Bu texnologiyalar yordamida "aqlli monitoring" tizimlari shakllanadi, ya'ni kompyuter suv holatini tahlil qilib, inson aralashuvisiz ogohlantirish beradi.

6. O'zbekiston sharoitida innovatsion monitoring tizimlarini joriy etish

O'zbekiston suv resurslari jihatidan transchegaraviy daryolar hududida joylashgan bo'lib, Amudaryo, Sirdaryo va Zarafshon havzalari milliy suv xavfsizligining asosiy manbalaridir. Shu sababli bu hududlarda suv resurslarini monitoring qilish masalasi davlat siyosatining ustuvor yo'nalishiga aylangan.

So'nggi yillarda quyidagi yutuqlar kuzatildi[8]:

✓ 2023-yil Prezident qarori bilan suv monitoringi jarayonlarini raqamlashtirish boshlangan;

✓ "Aqlli quduq" pilot loyihalari ishga tushirildi;

✓ Sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida "O'zbekiston Suv Xaritalari" portali yaratilmoqda;

✓ BMT va Jahon banki bilan hamkorlikda Central Asia Water Data Hub loyihasi amalga oshirilmoqda.

Bu loyihalar mamlakatda integratsiyalashgan raqamli suv monitoringi tizimini yaratishning amaliy bosqichidir.

7. Xalqaro tajriba: ilg'or davlatlar modellari.

AQShda:

[5] https://spectrum.ieee.org/amp/a-massive-iot-sensor-network-keeps-watch-over-a-1400kilometer-canal-2650276542

[6] https://arxiv.org/abs/2107.13870

[7] https://engr.ncsu.edu/news/2024/11/12/machine-learning-predicts-highest-risk-groundwater-sites-to-improve-water-quality-monitoring

[8] https://caspianpost.com/uzbekistan/uzbekistan-embraces-digital-transformation-in-water-management

ISSN 3030-3907

USGS tomonidan 50 mingdan ortiq quduq real vaqt rejimida onlayn kuzatiladi. Ma'lumotlar **National Water Dashboard** orqali ochiq tarzda jamoatchilikka taqdim etiladi.

Isroilda:

Isroil suv resurslari agentligi barcha quduqlarni **IoT** sensorlari bilan jihozlagan va suv sarfini avtomatik boshqaradi. Ma'lumotlar sun'iy intellekt yordamida tahlil qilinadi.

Hindistonda:

GRACE sun'iy yo'ldoshi asosida **"Groundwater Estimation System"** ishlab chiqilgan bo'lib, u har oy yer osti suv massasi o'zgarishini xaritada ko'rsatadi.

Bu horijiy tajribalardan O'zbekiston uchun asosiy masala - milliy darajada yagona ma'lumot bazasini yaratish va texnologik integratsiyani kuchaytirishdir.

8. Iqlim o'zgarishi, ekologik barqarorlik va suv xavfsizligi

Iqlim o'zgarishi natijasida O'zbekistonda yog'ingarchilik kamaymoqda, bug'lanish kuchaymoqda, bu esa suv resurslarining kamayishiga olib keladi. Yer osti suvlarining pasayishi tuproq sho'rlanishini, ekotizimlar buzilishini, qishloq xo'jaligi hosildorligining kamayishini keltirib chiqarishiga sabab bo'ladi.

Shu sababli ekologik barqarorlikni ta'minlash uchun:

✓ suvni tejovchi texnologiyalarni (tomchilatib sug'orish, qayta ishlangan suvdan foydalanish);

✓ suv resurslarini mintaqaviy darajada baham ko'rish mexanizmlarini;

✓ transchegaraviy monitoring tizimlarini yo'lga qo'yish zarur.

KELAJAK ISTIQBOLLI REJALARI VA ILMIY TAVSIYALAR

Yagona milliy raqamli platforma yaratish - barcha quduq, laboratoriya va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini birlashtirish.

Universitetlar va ilmiy markazlarda raqamli gidrogeologiya yo'nalishini rivojlantirish.

Mahalliy dasturiy vositalarni ishlab chiqish (masalan, O'zGEO-Water kabi).

Xalqaro hamkorlikni kengaytirish, xususan, **FAO, UNESCO, UNDP** loyihalari bilan integratsiya.

AI asosida riskni baholash tizimlarini joriy etish.

XULOSA:

Yer osti suvlarining monitoringi bugungi kunda strategik, ilmiy va ekologik masaladir. **GIT**, masofadan zondlash, raqamli modellar, **IoT** va sun'iy intellekt texnologiyalari bu sohada mutlaqo yangi bosqichni boshlab berdi. O'zbekiston uchun bunday yondashuvlar nafaqat suv resurslarini tejash, balki milliy xavfsizlikni mustahkamlash, barqaror rivojlanish maqsadlariga erishish, va ilmiy salohiyatni oshirish uchun ham muhimdir.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “2023–2025-yillarda ichimlik va maishiy-ichimlik suvi tizimlarini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” PQ–3307-sonli qarori, 2023-yil 16-avgust.
2. Isroilov, B., Abdurahmanov, O. “Yer osti suvlari monitoringida raqamli texnologiyalar.” Toshkent Davlat Texnika Universiteti Ilmiy Jurnali, №2. 2021. https://ijdt.uz/index.php/ijdt/article/download/167/112/133
3. USGS (2023). Groundwater Monitoring and Modeling Approaches. Washington DC.
4. Хабибуллаев И., Ахроров Ф., Теляев И. Ахборот-коммуникация технологиялари асосида корхона фаолиятини ташкил этишни лойиҳалаштиришни такомиллаштириш вазифалари. “Scienific foundations of raising the use of information technologies to a new level and modern problems of automation” III-international scientific conference. Novomber 26, 2024. 875-879pp.
5. https://www.researchgate.net/publication/379822907_Sug‘oriladigan_maydonlardagi_yer_osti_suvlarining_raqamli_geofiltratsion_modelini_asoslash
6. Xabibullayev I., Telyaev I. Raqamlashtirish sharoitida yer osti suvlari monitoring tizimini loyihalashtirishni takomillashtirish asoslari. Development or science ilmiy jurnali. 2025/7 VOLIME-3.
7. Мардиев Ў.Б. Геоахборот технологиялари асосида ер ости сувлари мониторинги тизимини такомиллаштириш. Техника фанлари бўйича фалсафа доктори(PhD) диссертацияси автореферати. Тошкент. 2023.
8. UNESCO. Global Groundwater Monitoring Network (GGMN) Report. Paris. 2021. https://un-igrac.org/our-work/activities/global-groundwater-monitoring-network-ggmn/https://un-igrac.org/our-work/activities/global-groundwater-monitoring-network-ggmn/
9. Rakhmatullaev, S. et al. Groundwater Resources of Central Asia: Trends and Challenges. Springer. 2022.
10. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378827
11. Wada, Y., Van Beek, L. (2020). Global Depletion of Groundwater Resources under Climate Change. Nature Climate Change. https://www.sdc-water.ch/dam/en/sd-web/IfO17TVYdrAt/reseau-GWLJ-webinar%203-slides_Final.pdf
12. World Bank. Digital Water: Innovations for Water Resource Management. 2023.https://piahs.copernicus.org/articles/384/5/2021/piahs-384-5-2021.pdf
13. NASA Earth Observatory Satellite-Based Hydrology for Arid Regions. 2022.https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721
14. FAO Water Scarcity and Groundwater Sustainability in Central Asia. 2022.

ISSN 3030-3907

15. Aglmand, R., & Abbasi, A. (2020). Development of Intelligent Groundwater Monitoring Using IoT and AI Tools. Environmental Monitoring Journal.
16. Einarsson, S. (2019). GIS-Based Hydrogeological Mapping for Resource Management. Elsevier.

ISSN 3030-3907