RAQAMLASHTIRISH SHAROITIDA YER OSTI SUVLARI MONITORING TIZIMLARINI LOYIHALASHTIRISHNI TAKOMILLASHTIRISH ASOSLARI

Xabibullayev Ibroxim
Geologiya fanlari universiteti GIDROINGEO instituti DM professori.
Telyaev Ismat Qudratillatevich
Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universitetining Jizzax filiali doktoranti.
Email: ismat.telyaev93@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqola iqtisodiyotni raqamlashtirish sharoitida yer osti suvlarini monitoring tizimlarining hozirgi holatini tahlili va geoaxborot texnologiyalarini qo'llash orqali ularni loihalashtirisni takomillashtirish masalasiga bag'ishlangan. Maqolada chet el tajribasi, mahalliy amaliyot, zamonaviy metodlar, iqtisodiy samaradorlik va real misollar yoritilgan.

Kalit so'zlar: Yer osti suvlari, geoaxborot texnologiyalari, GIS, masofaviy zondlash, MODFLOW, IoT, monitoring, suv resurslari, gidrogeologiya, ekologiya, suv xavfsizligi, modellashtirish, sun'iy yo'ldosh, raqamli transformatsiya.

Аннотация. Статья посвящена анализу современного состояния систем мониторинга подземных вод и вопросам совершенствования их проектирования применением геоинформационных технологии в условиях цифровизации экономики. Освещены международный и отечественный опыт, современные методы, экономическая эффективность и реальние примеры реализации.

Ключевые слова: Подземные воды, геоинформационные технологии, ГИС, дистанционное зондирование, MODFLOW, IoT, мониторинг, водные ресурсы, гидрогеология, экология, водная безопасность, моделирование, спутник, цифровая трансформация.

Abstract. This article is devoted to the issue of analyzing the current state of groundwater monitoring systems and improving them through the use of Information Technology. The article covers foreign experience, local practice, modern methods, economic efficiency and realistic examples.

Keywords: Groundwater, geoinformation technologies, GIS, remote sensing, MODFLOW, IoT, monitoring, water resources, hydrogeology, ecology, water safety, modeling, satellite, digital transformation.

Kirish

Yer osti suvlari ekologik, ijtimoiy va iqtisodiy barqarorlik uchun muhim tabiiy resurs hisoblanadi. Aholi sonining ortishi, sanoatning rivojlanishi va qishloq xo'jaligi ehtiyojlarining oshishi fonida yer osti suvlari strategik ahamiyat kasb

ISSN 3030-3907

etmoqda. Bu resurslardan oqilona va samarali foydalanish esa ularni doimiy monitoring qilish va boshqarishni talab qiladi. Raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish sharoitida bunday masalalarni yechishda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini qo'llash muhum axamiyatga ega[1,2]. Geoaxborot texnologiyalari (GAT) bu borada zamonaviy va yuqori samarali yechim sifatida e'tirof etilmoqda[3,4].

1. Mavzuning dolzarbligi.

O'zbekistonda va butun Markaziy Osiyoda suv resurslarining 60% dan ortig'i yer osti suvlariga to'g'ri keladi. Iqlim o'zgarishi, yomg'ir miqdorining kamayishi, transchegaraviy suv masalalari va antropogen omillar tufayli ushbu manbalarni saqlab qolish dolzarb masalaga aylanmoqda. Ko'plab hududlarda yer osti suvlarining sathi pasaymoqda, sifati yomonlashmoqda. An'anaviy kuzatuv usullari esa bunday tahdidlarga tezkor javob bera olmaydi. Shu sababli, real vaqt rejimida ma'lumot to'play oladigan, vizualizatsiya va bashorat imkonini beradigan geoaxborot texnologiyalariga ehtiyoj ortmoqda.

2. Chet el tajribasi.

AQSHda United States Geological Survey (USGS) tomonidan 1985 yildan boshlab yaratilgan National Water Information System (NWIS) tizimi minglab monitoring stansiyalarni birlashtiradi. Har bir quduqdan olinayotgan real vaqt ma'lumotlar maxsus sensorlar yordamida onlayn ravishda markaziy serverga uzatiladi. Bu ma'lumotlar orqali suv sathi, bosimi, harorati va kimyoviy tarkibi kuzatiladi.

Avstraliyada CSIRO va Geoscience Australia tashkilotlari MODFLOW dasturida yer osti suvlarining oqimlarini modellashtirib, havza miqyosida suv balansini prognoz qilishda foydalanadi. Bu modellar orqali yirik shaharlarda ichimlik suvi xavfsizligini ta'minlash uchun strategik qarorlar qabul qilinadi.

Hindistonda Central Ground Water Board tomonidan GIS asosida "Dynamic Ground Water Resources of India" loyihasi doirasida har 5 yilda bir marta milliy yer osti suv xaritasi yangilanadi. Unga GPS bilan aniqlangan quduq joylashuvi, suv sathi, sifati va foydalanish hajmlari kiritiladi.

3. O'zbekistonda amalga oshirilayotgan ishlar.

O'zbekistonda 200 dan ortiq kuzatuv quduqlari mavjud bo'lib, ular asosan Tog'-kon sanoati va geologiya vazirligi tasarrufida. Yer osti suvlarining amaldagi monitoring tizimi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Maxkamasining 2017 yil 27 iyundagi 430-sonli qarori bilan tasdiqlangan "Yer osti suvlari davlat monitoring to'g'risidagi" NIZOM asosida yuritiladi. Ushbu tizim mavjud texnika va texnologiyalardan foydalangan holda amalga oshiriladi va u doimiy ravishda takomillashtirub borilmoqda. "NIZOM"ga asosan yer osti suvlarini monitoringi

ISSN 3030-3907

yer osti suvlari konlarida suv sathining dinamikasi, tabiiy rejimi va minerallashuvini kuzatish imkonini beruvchi kuzatuv quduqlarida olib boriladi.

Hozirgi kunda “Yer osti suvlarining sathi, harorati va minerallashuvini avtomatik o‘lchovchi monitoring qurilmasi” yaratilgan bo’lib, ular namuna sifatida Sergeli suv olish hududida joylashgan 304-sonli kuzatuv qudug‘iga o‘rnatilib o‘lchov ma’lumotlarini onlayn rejimda telekommunikatsiya texnologiyalari asosida serverga uzatish va geoma’lumotlar bazasini shakllantirish hamda ularni qayta ishlash bo’yicha tadqiqot ishlari olib borilgan[5,6,7].

So'nggi yillarda quyidagi loyihalar amalga oshirildi:

Toshkent viloyatida "Smart Irrigation" loyihasi doirasida GIS-kartografiya asosida suv manbalarining joylashuvi xaritalashtirilgan.

Buxoro viloyatida yer osti suvlarining tuz tarkibini nazorat qilish uchun masofaviy zondlash texnologiyalari joriy etilgan.

Suv xo'jaligi vazirligi WRMIS (Water Resources Management Information System) tizimini ishlab chiqmoqda, bu tizim barcha suv omborlari, quduqlar va suv oqimlarini birlashtirgan yagona platformaga aylanishi rejalashtirilmoqda.

Ammo tizimlarning aksariyati hali integratsiyalanmagan, qo'lda ma'lumot kiritish davom etmoqda va onlayn monitoring keng joriy etilmagan. Ko'plab hududlarda quduqlar GPS bilan belgilanmagan, natijada aniq koordinatalar asosida xaritalash imkoniyati cheklangan. Bunday vaziyatlar yer osti suvlari monitoring tizimini loyihalashtirishni zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari asosida takomillashtirishi talab etadi[8].

4. Tadbiq qilinayotgan ilmiy metodlar.

4.1 GIS (Geoaxborot tizimlari). Ushbu tizim yer osti suvlarining holatini xaritalash, quduqlarning joylashuvi, gidroizogips chiziqlari va suv oqimi yo'nalishlarini aniqlash imkonini beradi. Masalan, Surxondaryo viloyatida GIS yordamida tuproq turlari bilan yer osti suvlarining tarqalish darajasi o'rtasidagi bog'liqlik aniqlangan.

4.2 Masofaviy zondlash. Bu usul sun'iy yo'ldoshlar yordamida vegetatsiya sharoitini o'zgarishi, tuproq namligi va infiltratsiya zonasini aniqlash imkonini beradi. Masofaviy zondlashda MODIS va Landsat ma'lumotlari eng ko'p ishlatiladi. Masalan, Qoraqalpog'istonda Aralbo'yidagi sho'rlanish zonalari aniqlanib, yer osti suvlarining qayta to'yinganlik darajasi tahlil qilingan.

4.3 MODFLOW modellashtirish dasturi. Yer osti suvlarining dinamikasini hisoblash uchun GMS interfeysida MODFLOW modellaridan foydalaniladi. Zarafshon havzasida MODFLOW modeli orqali 2040 yilgacha suv sathining prognozi tuzilgan. Bu prognozlar asosida qishloq xo‘jaligi sug‘orish strategiyasi yangilandi.

ISSN 3030-3907

4.4. IoT va avtomatlashtirilgan sensorlar. Sensorlar quduqlarga o'rnatilib, suv sathi, harorat, bosim kabi ko'rsatkichlarni real vaqt rejimida o'lchab serverga yuboradi. Bu orqali xavf tug'ilishidan oldin choralar ko'rish mumkin. Shu asosda Namangan viloyatida 2024 yilda 18 ta yangi sensor o'rnatilib, 1 yil ichida 20% samaradorlikka erishilgan.

5. Olingan natijalar va real misollar.

Toshkent viloyati Zangiota tumanida 2023 yilda pilot loyiha doirasida 10 ta quduqqa avtomatik sensor o'rnatilgan va 3 oy davomida quyidagi natijalarga erishildi: suv sathini 15% pasayishi oldindan aniqlandi; suv sarfi 12% ga kamaygan; 5 ta noqonuniy suv olish holati aniqlangan.

Farg'ona vodiysida MODIS sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida tuproq namligi xaritasi tuzilgan va yer osti suvlarining eng faol zaxiralari aniqlangan. Bu asosida 7 ta yangi monitoring punkti tashkil etilgan. Ushbu monitoring punktlari sug'oriladigan maydonlar yaqinida joylashtirilib, dehqonlar uchun ogohlantirish tizimi yo'lga qo'yilgan.

MODFLOW va GIS yordamida modellashtirish asosida yer osti suvlarining gorizontal va vertikal harakati modellashtirildi, suv ta'minoti va suv olish manbalari tahlil qilindi, inson faoliyatining ta'siri baholandi. Masalan, Surxondaryo viloyatidagi Dehqonobod tumanida MODFLOW asosida yaratilgan model orqali sug'orish mavsumida yer osti suv sathining 1,3 metrga tushishi aniqlanib, suv tejash choralarini joriy etish tavsiya qilindi.

Dron va sun'iy yo'ldosh tasvirlari orqali kuzatuvda Landsat-8 va Sentinel-2 tasvirlari yordamida vegetatsiya indeksi (NDVI) hisoblab chiqilib, yer osti suvlarining sathi va o'simliklarning holati o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilinmoqda. Masalan, Qoraqalpog'iston Respublikasining Mo'ynoq tumanida NDVI o'zgarishlari orqali yer osti suvlari sathi past hududlar aniqlanib, u yerda artezian quduqlari qazish taklif etildi.

6. Iqtisodiy samarasi.

Geoaxborot texnologiyalarining joriy etilishi quyidagi iqtisodiy samarani bergan: suv resurslari 15-25% tejalgan; elektr energiyasi sarfini 10-15% ga kamayigan; favqulodda holatlarning oldini olish natijasida yuzaga keladigan zararlarning 30% kamayishiga olib kelgan. Shuningdek sanoat va qishloq xo'jaligida barqarorlikni ta'minlash, investitsion jozibadorlikning oshishi va xalqaro loyihalarga (GEF, UNDP, World Bank) kirish imkoniyati yuzaga kelgan.

Takomillashtirish yo'nalishlari.

Yer osti suvlari monitoring tizimuda geoaxborot texnologiyalari qo'llash kosmik va aerokosmik tasvirlar asosida xaritalash, GPS texnologiyasi bilan joylashuvni aniqlik bilan belgilash, GIS orqali ma'lumotlarni qatlamli tahlil qilish,

ISSN 3030-3907

real vaqtli ma’lumotlar oqimini tahlil qilish va vizualizatsiya qilish imkonini beradi.

Yer osti suvlari monitoring tizimini GAT asosida takomillashtirishni bir nechta yo‘llar bilan amalga oshirish mumkin. **Sun’iy intellekt (SI)** algoritmlari integratsiyasi bilan prognoz qilish imkoniyatlarini kengaytiradi. **Mobil ilovalar** yordamida real vaqtli kuzatuvni amalga oshirish bilan dala sharoitida yer osti suvi sathini o‘lchab, ma’lumotni markaziy GIS serverga yuboriladi. **Bulutli texnologiyalar va ochiq platformalar:** Google Earth Engine, ArcGIS Online yoki QGIS Cloud orqali uzatiladi axborot almashinuvini yo’lga qo’yish. Bu usul ma’lumotlarni tezkor va xavfsiz saqlash hamda tarqatish imkonini beradi. **Blokcheyn texnologiyasida** monitoring natijalarining xavfsizligi va soxtalashtirishdan himoya qilish uchun blokcheyn asosida ma’lumotlar zanjiri tashkil etish mumkin.

Yer osti suvlari monitoring tizimini takomillashtirishda qo’llaniladigan geoaxborot texnologiyalari — bu fazoviy ma’lumotlarni yig‘ish, saqlash, tahlil qilish va vizualizatsiya qilishga ixtisoslashgan texnologiyalar majmuasidan iborat bo’lib uning asosiy tarkibiy qismlari quyidagilardan iborat:

- **GIS (Geographic Information System)** – geografik axborotni qatlamli tarzda saqlash va tahlil qilish vositasi.
- **GPS (Global Positioning System)** – obyektlarning aniq koordinatalarini aniqlash tizimi.
- **Distantdan zondlash (RS)** – sun’iy yo‘ldosh yoki dronlardan olingan rasmlar yordamida tahlil qilish.
- **Model qurish tizimlari (hydrological modeling tools)** – MODFLOW, GMS (Groundwater Modeling System) kabi dasturlar orqali yer osti suvlari oqimini modellashtirish.

Takomillashgan loyihada yaratilgan yer osti suvlarini monitoring tizimi quyidagi ketma-ket bajariluvchi bosqichlarni o‘z ichiga olishi ko’zda tutilgan.

a) Monitoring nuqtalarini tanlash va joylashtirish.

GIS yordamida geologik, gidrogeologik va ekologik xaritalar tahlil qilinib,. relyef, suv havzalari, antropogen omillar (shaharlar, zavodlar) va iqlim sharoitlari inobatga olinib, eng maqbul kuzatuv nuqtalari aniqlanadi ular optimal tarzda joylashtiriladi.

b) Ma’lumot yig‘ish texnologiyalari.

Avtomatlashtirilgan sensorlar va avtomatik monitoring stansiyalari orqali suv sathi, harorati, ifloslanish darajasi kabi gidrogeologik ma’lumotlar yig‘iladi. Ushbu ma’lumotlar GIS tizimiga uzatiladi va sensorlar yordamida suv sathi

ISSN 3030-3907

(bosimi), harorati, oqim tezligi, elektr o‘tkazuvchanligi, pH, kimyoviy ifloslanishi kabi parametrlar doimiy kuzatiladi.

c) Ma’lumotlarni GISga integratsiya qilish

Yig‘ilgan ma’lumotlar maxsus dasturiy interfeyslar orqali GIS tizimiga yuklanadi. Bu tizimda kartografik vizualizatsiyalasy, dinamik o‘zgarishlarni tahlil qilish, prognozlash (modellashtirish) va hisobot tayyorlash imkoniyati yaratiladi.

d) Dinamik monitoring va prognozlash

Sun’iy intellekt, kompyuterda o‘rganish algoritmlari bilan birgalikda yig’ilgan ma’lumotlarga asoslanib suv sathini prognoz qilish, suv tanqisligi xavfini oldindan aniqlash, sug‘orish samaradorligini tahlil qilish mumkin bo‘ladi.

Tavsiyalar:

1. Har bir viloyatda geoaxborot markazlarini tashkil qilish.
2. Qishloq xo‘jaligi loyihalariga GIS asosida suv ta’minotini baholash bo‘yicha mezonlarni joriy etish.
3. Davlat suv xo‘jaligi ma’lumotlarini ochiq platformalarda e’lon qilish.

Xulosa

Geoaxborot texnologiyalarining yer osti suvlari monitoringida qo‘llanilishi orqali resurslar ustidan aniqlik va nazorat kuchayadi, suv tanqisligi va ifloslanish xavfi kamayadi, rejalashtirish va boshqaruv sifatli asosga ega bo‘ladi.

Geoaxborot texnologiyalarini yer osti suvlarini monitoring qilishda qo‘llash – bu zamonaviy, iqtisodiy jihatdan foydali va ekologik barqaror yondashuvdir. O‘zbekistonda mavjud infratuzilmalarni modernizatsiya qilish, integratsiyalashgan tizimlarni yaratish va malakali kadrlarni tayyorlash orqali ushbu tizimlarning samaradorligini oshirish mumkin. Shu bilan birga, bu yondashuv global ekologik vazifalar – iqlim o‘zgarishiga moslashish va resurslarni adolatli taqsimlash masalalariga ham xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Мирзиёев Ш.М. "Рақамли иқтисодиётни ривожлантириш консепцияси." – Тошкент: “Ўзбекистон”, 2020. – 45-бет.
2. Мирзиёев Ш.М. "Ахборот-коммуникацион технологияларни ривожлантириш стратегияси." – Тошкент: “Ўзбекистон”, 2023. – 101-бет.
3. Goodchild, M. F. (2020). Geographic Information Science and Systems. Wiley.
4. Batelaan, O., De Smedt, F., & Fetter, C. W. (2019). Hydrogeology: Principles and Applications. Springer.
5. Джуманов Ж.Х. Геоинформационные технологии в гидрогеологии // Монография, изд. ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2016. 258 б.
6. Anorboyev E.A. Kuzatuv quduqlarida yer osti suvlari parametrlarini avtomatlashgan o‘lchov tizimlarini ishlab chiqish. Texnika fanlar bo‘yicha falsafa

ISSN 3030-3907

doktori (PhD) dissertatsiya avtoreferati. Toshkent. 2023y. 49 b. (www.hydroengeo.uz).
7. Mardiyev O'.B. Геоахборот технологиялари асосида ер ости сувлари мониторинги тизимини такомиллаштириш. Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiya avtoreferati. Toshkent. 2023y. 49б. (www.hydroengeo.uz).
8. Xushvaktov S.X. Axborot-tahlil tizimlarini ishlab chiqishning ilmiy-nazariy asoslari va gidrogeologik ma'lumotlar oqimiga ishlov berish usullari. Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiya avtoreferati. Toshkent. 2024y. 65 b. (www.hydroengeo.uz).
9. 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. Tashkent, Novomber 26, 2024. 875-879pp. (https://zenodo.org/records/14222864).
10. Хабибуллаев И.Х., Мардиев Ў.Б. Ер ости сувлари мониторинг тизимини ахборот-коммуникация технологиялари асосида такомиллаштириш. "Scienific foundations of raising the use of information technologies to a new level and modern problems of automation" III-international scientific conference. Novomber 26, 179-186pp. (2024), (*https://doi.org/10.5281/zenodo.14192561*).

ISSN 3030-3907