YER OSTI SUVLARINI BOSHQARISHDA GAT TEXNOLOGIYALARINING INTEGRATSIYALASHGAN IMKONIYATLARI

[1]Xabibullayev Ibroxim Xabibullayevich, [2]Telyaev Ismat Qudratillaevich
[1]Toshkent gumanitar fanlari universiteti professori, [2]Mirzo ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universitetining Jizzax filiali tayanch doktaranti.
https://doi.org/10.5281/zenodo.19203967

Annotatsiya. *Geoaxborot texnologiyalari asosida yer osti suv resurslarini monitoring qilish. modellashtirish va boshqarishdagi integratsiyalashgan imkoniyatlarini kengaytirish muxim ahamiyat kasb etadi. GATning nazariy asoslari, tarkibiy qismlari, funksional tizimlari hamda gidrogeologik tadqiqotlardagi amaliy ahamiyati tahlil qilingan. Masofaviy zondlash, fazoviy tahlil va ma'lumotlar bazasini yaratish hamda vizuallash orqali suv resurslarining miqdoriy va sifat holatini baholash usullarining imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari GAT texnologiyalarining suv resurslaridan barqaror foydalanish va ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilishdagi ahamiyatini asoslab beradi.*

Аннотация. *Расширение интегрированных возможностей ГИС в управлении, мониторинге и моделировании подземных водных ресурсов на основе геоинформационных технологий имеет важное значение. В работе анализируются теоретические основы, компоненты, функциональные системы ГИС и их практическое значение в гидрогеологических исследованиях. Рассматриваются методы оценки количественного и качественного состояния водных ресурсов с помощью дистанционного зондирования, пространственного анализа и гидрологического моделирования. Результаты исследования подтверждают важность технологий ГИС для устойчивого использования водных ресурсов и принятия научно обоснованных решений.*

Annotation. *It is important to expand the integrated capabilities of GIS in the management, monitoring and modeling of groundwater resources based on geoinformation technologies. The theoretical foundations, components, functional systems of GIS and its practical significance in hydrogeological research are analyzed. Methods for assessing the quantitative and qualitative state of water resources through remote sensing, spatial analysis and hydrological modeling are considered. The results of the study substantiate the importance of GIS technologies in the sustainable use of water resources and making scientifically based decisions.*

Kalit so'zlar: *geoaxborot tizimi, yer osti suvlari, monitoring, masofaviy zondlash, gidrogeologiya, fazoviy tahlil, ma'lumotlar bazasi, vizuallash.*

Ключевые слова: *геоинформационная система, подземные воды, мониторинг, дистанционное зондирование, гидрогеология.*

Keywords: *geographic information system, groundwater, monitoring, remote sensing, hydrogeology.*

KIRISH

Yer osti suv resurslari tabiatning eng muhim strategik boyliklaridan biri bo'lib, aholi ehtiyojlarini qondirish, qishloq xo'jaligi va sanoat tarmoqlarini rivojlantirishda muhim ahamiyat

kasb etadi. Iqlim o‘zgarishi, suv tanqisligi va antropogen bosim kuchayib borayotgan sharoitda yer osti suvlarini samarali boshqarish dolzarb ilmiy-amaliy masalaga aylandi.

An’anaviy gidrogeologik tadqiqotlar katta vaqt va moddiy resurs talab qilishi sababli, hozirgi kunda geoaxborot tizimlari va masofaviy zondlash texnologiyalaridan foydalanish suv resurslarini monitoring qilishda samarali yechim sifatida qaralmoqda.

MAVZUNING DOLBZARLIGI

XXI asrda suv resurslariga ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Iqlim o‘zgarishi, demografik o‘sish, sanoatning rivojlanishi va urbanizatsiya jarayonlari yer osti suvlaridan foydalanish hajmini sezilarli darajada kengaytirdi. Ayni paytda, ifloslanish, minerallashuv (sho‘rlanish), bug‘lanishning kuchayishi hamda tabiiy filtratsiya jarayonlarining izdan chiqishi suv zaxiralarining qayta tiklanish salohiyatini cheklamoqda.

Mazkur holat suv resurslarini kuzatish, tahlil qilish va prognozlash jarayonlarini raqamli texnologiyalar asosida tashkil etishni, ya’ni ilmiy asoslangan kompleks monitoring tizimlarini joriy qilishni taqozo etadi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, suv resurslarini raqamli monitoring qilish va boshqarish masalalari bo‘yicha xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan keng qamrovli ilmiy izlanishlar amalga oshirilgan. Jumladan, Zhao, Yang va Zhou (Xitoy), Ten Kathen va boshqalar (Yevropa Ittifoqi), Homaei va hammualliflar, shuningdek USGS, UNESCO va FAO kabi xalqaro tashkilotlar suv resurslarini global va mintaqaviy miqyosda kuzatish, modellashtirish va prognozlash bo‘yicha ilg‘or ilmiy yondashuvlarni ishlab chiqqanlar[1].

Zhao, Yang va Zhou (2023) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda raqamli transformatsiyaning suv resurslarini boshqarish samaradorligiga ta’siri empirik modellar asosida tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, raqamli texnologiyalar joriy etilgan hududlarda suv monitoringi aniqligi va boshqaruv samaradorligi sezilarli darajada oshgan. Mualliflar raqamli platformalar suv resurslarini ilmiy asosda rejalashtirish va nazorat qilish imkonini berishini asoslab bergan.

Ten Kathen va hammualliflar (2022) IoT sensorlari va federativ o‘rganish texnologiyalariga asoslangan suv monitoringi tizimini ishlab chiqqan. Ushbu tizim suv sifati va miqdorini real vaqt rejimida kuzatish imkonini berib, ma’lumotlarni markazlashmagan holda tahlil qilish orqali xavfsizlik va aniqlikni oshirgan. Tadqiqot natijalari aqlli monitoring tizimlarining amaliy samaradorligini ko‘rsatadi.

Homaei va boshqalar (2024) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda “Digital Twin” — raqamli egizak texnologiyasi suv taqsimoti va yer osti suv tizimlariga tatbiq etilgan. Sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish algoritmlari yordamida suv oqimi va zaxiralari holatini real vaqt rejimida prognozlash imkoniyati yaratilgan. Ushbu yondashuv suv resurslarini boshqarishda operativ va strategik qarorlar qabul qilish samaradorligini oshiradi.

USGS (2023) tomonidan ishlab chiqilgan MODFLOW, FEFLOW va HYDRUS raqamli gidrogeologik modellar yer osti suvlarining oqimi, bosimi va tuz almashinuvi jarayonlarini uch o‘lchamli muhitda modellashtirish imkonini beradi. Ushbu modellar global va mintaqaviy miqyosda

[1] https://ilmiyanjumanlar.uz/uploads/conferences/0079/79_i_20250425_175253_1.12

suv resurslarini ilmiy asosda baholashda keng qo‘llanilmoqda. UNESCO (2021) va FAO (2022) hisobotlarida esa suv resurslarini barqaror boshqarish uchun yagona xalqaro monitoring tizimini shakllantirish zarurligi ta’kidlangan [2,4,5,6].

O‘zbekistonlik olimlar — Abduhalimova (2021), Isroilov va Abdurahmanov (2021), Mardiev (2023), Tashboyev (2023), Saidov va boshqalar (2024) — xorijiy ilmiy yondashuvlarni milliy sharoitga moslashtirishga qaratilgan tadqiqotlar olib borganlar. Ularning ishlarida GIS, masofadan zondlash (RS), IoT va sun’iy intellekt texnologiyalarini mahalliy suv monitoringi tizimlariga integratsiya qilish masalalari yoritilgan.

Xususan, “Smart Water”, “Aqlli quduq”, “Suv kadastri” va “Suv xaritalari” kabi loyihalar O‘zbekistonda suv resurslarini raqamli monitoring qilishning amaliy natijalarini ifodalaydi. Ushbu loyihalar suv yo‘qotishlarini kamaytirish, suvdan foydalanish samaradorligini oshirish va real vaqt rejimida nazoratni ta’minlashga xizmat qilmoqda.

Umuman olganda, mahalliy va xorijiy olimlarning ilmiy tadqiqotlari o‘zaro uyg‘unlashib, suv resurslarini kuzatish va boshqarishning yangi ilmiy paradigmasini shakllantirmoqda. Ushbu paradigma geoinformatsion tizimlar (GIS), masofadan zondlash (RS), raqamli gidrogeologik modellar, IoT asosidagi aqlli monitoring tizimlari hamda sun’iy intellektga asoslangan bashoratlash modellariga tayangan holda suv resurslarini barqaror boshqarish imkonini beradi.

1. Geoaxborot tizimining nazariy asoslari

Geoaxborot tizimining asosiy vazifalari – bu fazoviy ma‘lumotlarni yig‘ish va qayta ishlash orqali avtomatlashgan raqamli ma‘lumotlar bazasini yaratish, uni kelgusida tahlil qilish va bosmaga chiqarish uchun saqlashdan iborat. Geoaxborot tizimining vazifasini faqatgina kompyuter orqali raqamli karta ishlab chiqarish deb tushunish to‘g‘ri emas, chunki ushbu tizim orqali olingan ma‘lumotlar tahlil etilib, muhim qarorlar qabul qilishda ham qo‘llaniladi[2]. Bu tizim bizga an‘anaviy usulda yaratiladigan jadval ma‘lumotlardan farqli ravishda ma‘lumotlar so‘rovi operatsiyalarni bajarish imkonini beradi.

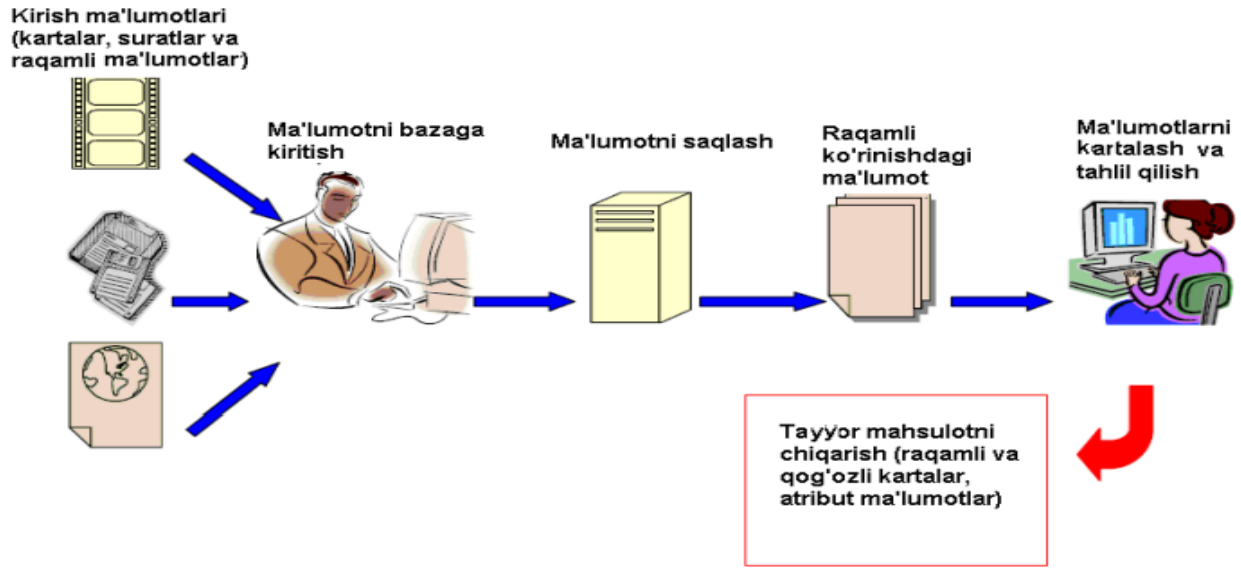
Geografik axborot tizimi (GAT) yoki geoaxborot tizimiga olimlar turlicha ta‘rif berishgan. Masalan, tadqiqotchi olim Joseph Berri[3] shunday ta‘rif beradi: Geografik axborot tizimi – bu ma‘lumotlarni boshqarish, kartografik tasvirlash va tahlil qilish uchun yaratilgan fazoviy axborot tizimidir‖. Bu ta‘rif unchalik to‘liq emas, chunki unda inson axborot tizimining muhim bir elementi sifatida ko‘rsatilmagan, vaholanki, inson barcha axborot tizimida mutaxassis, kuzatuvchi va tahlilchi sifatida muhim rol o‘ynaydi. Demak, insonning bevosita qatnashuvi GATda muhim rol o‘ynaydi.

Geografik axborot tizimi – bu tabiat va jamiyatda boladigan hodisalarining geofazoviy ma’lumotlarini maxsus vositalar yordamida to‘plash, saqlash, boshqarish, tahlil qilish, modellashtirish va tasvirlashdan iborat bo‘lgan mutaxassis va tahlilchilar boshqaruvi ostidagi umumlashgan dasturiy tizimdir. GATga yana turlicha ta‘riflar keltirish, u haqidagi muhokamalarni davom ettirish mumkin, biroq barcha ta‘riflarning zamirida yuqorida keltirilgan asosiy ma‘no yotadi. Shuning uchun keltirilgan ta‘rifni bosh ta’rif deb qabul qilish mumkin. Yuqorida berilgan ta‘rifdagi fazoviy-geografik ma‘lumotlar turkumi deganda barcha yer to‘g‘risidagi ma‘lumotlarni, jumladan koordinatalarni, yer uchastkalari chegaralarini, ular joylashgan joy to‘g‘risidagi

[2] https://lex.uz/uz/docs/-6648585?ONDATE=01.01.2025
[3] https://www.bohrium.com/paper-details/fundamental-operations-in-computer-assisted-map-analysis/811982660275535875-13569

ma‘lumotlarni, joyning huquqiy va iqtisodiy ma‘lumotlarini hamda ko‘plab muhim bo‘lgan fazoviy ma‘lumotlarni, xususan yer osti suvlarini kuzatuv va suv olish quduqlarining koordinatalari, yer osti suv konlarining hududiy chegaralari, geologik va gidrogeologik harakteristikalari va boshqalarni tushunish lozim.

Quyidagi 1-rasmda bizning tasavvurimizdagi geoaxborot tizimining umumiy ko‘rinishi keltirilgan bo‘lib, ushbu tizim turli adabiyotlarda yanada batafsilroq yoki soddalashgan holda berilgan bo‘lishi mumkin(1-rasm).



1-rasm. Geoaxborot tizimining umumiy ko‘rinishi

2. Geoaxborot tizimining umumiy tushunchalari: Geografik axborot tizimi yer usti va yer ostidagi obyektlar, jumladan, bino va inshoatlar, daryolar, yer osti konlarini kompyuter orqali tasvirlashga yordam beradi. Hozirda bu tizimni tabiat va jamiatda bo‘layotgan o‘zgarishlarni, tasvirlash, tahlil qilish, muammoli vaziyatlarni aniqlash va ularni tushunish uchun qo‘llab kelmoqdalar. Kartalar orqali tasvirlab berilgan tahliliy muammolar insonga turli xil sonlar, diagrammalardan ko‘ra vizual ravishda samaraliroq tushunishga yordam bermoqda. Buning sababi, hozirda GAT orqali vizual ko‘rinishda biror-bir o’bekt yoki jarayonlarni tasvirlashda juda ko‘plab usullardan foydalanilmoqda. Bu usullar jumlasiga turli ranglar, uch o‘lchamli ko‘rinishlar, vektorli tasvirlash kiradi va bu, o‘z navbatida, matnlar yoki sonlar orqali tushunish qiyin bo‘lgan jihatlarni ochib beradi. Shuning uchun ushbu tizim texnologik tizimlar turkumidan bo‘lsa-da, ijtimoiy, iqtisodiy va tabiiy sohalarida ham keng qo‘llanila boshladi. Hozirgi kunda geoaxborot tizimining ilmiy asoslari keng ko‘lamda o‘rganilmoqda va endilikda kartalar orqali tasvirlash geografik, geologik va gidrogeologik bilimlar sohasida isbotlangan usullardan biriga aylandi. Agar biron-bir sohaga oid muammolarni tushunishga va ularning yechimini izlashga kirishadigan bo‘lsak, endilikda darhol o‘sha muammoning raqamli kartasini ishlab chiqishimiz , muammoning ko‘lamini baholash orqali yechimlar izlashimiz va shunga yarasha qarorlar qabul qilishimiz mumkin bo‘ladi.

3. Geoaxborot tizimining tarkibiy qismlari

GATni ta‘riflashning yana bir usuli to‘g‘risida ma‘lumot Marbl va Pikue (Marble & Pequet, 1983)[4] tomonidan berilgan. Bunga ko‘ra, GATning o‘zi ham tizimlarga bo‘linadi va ular quyidagilar:

1) Ma‘lumotlarni to‘plash tizimi. Bu tizimda ma‘lumotlar turli xil manbalardan olinadi va boshlang‘ich qayta ishlov amalga oshiriladi. Bu tizimning asosiy vazifasi turli xil fazoviy ma‘lumotlarni o‘zgartirish (rastr ko‘rinishdan vektor ko‘rinishiga keltirish) dan iboratdir.

2) Ma‘lumotlarni saqlash va ajratish tizimi. Tizimning asosiy vazifasi fazoviy ma‘lumotlarni ajratish, yangilash va tahrir qilishdan iborat.

3) Ma‘lumotlarni boshqarish va tahlil qilish tizimi. Bunda turli masalalarni hal qilish uchun ma‘lumotlar guruhlanadi, ajratiladi va modellashtiriladi.

4) Ma‘lumotni chiqarish tizimi. To‘liq yoki qisman ma‘lumotlar bazasi jadval, diagramma yoki karta ko‘rinishida tasvirlanib, bosmaga chiqariladi yoki foydalanuvchining talabiga ko‘ra elektron yoki qog‘ozli ma‘lumot ko‘rinishida beriladi.

Yuqoridagi to‘rtta tizim GATning ajralmas va amalga oshirilishi shart bo‘lgan muhim tizimlaridir. Barcha jarayonlar mana shu tizim ichida amalga oshiriladi va bunda ham, albatta, inson omili juda muhim rol o‘ynaydi. Geoaxborot tizimida geofazoviy ma‘lumotlar bilan ishlashda uning besh tarkibiy qismi yoki komponentlari muhim sanaladi. Bu kompyuter tizimi, dasturiy ta‘minot, insoniy resurslar, ma‘lumot, tahliliy jarayonlar va zaruriy infratuzilmalardir.

Kompyuter tizimi – bu geoaxborot tizimini yuritish uchun zarur bo‘lgan kompyuter va operativ tizimni nazarda tutadi. Odatda bunday operativ dasturlar turkumiga Windows, Unix yoki Linux kabilar kiradi. Qo‘shimcha ravishda bu tizimga geoaxborot tizimi uchun zarur hisoblangan maxsus monitorlar, digitayzerlar, skanerlar (fazoviy ma‘lumotlarni raqamli ko‘rinishga keltirish uchun), GPS qurilmalar (dala ma‘lumotlarini tizimga kiritish uchun), printer va plotterlar (ma‘lumotni bosmaga chiqarish uchun) kerak bo‘ladi.

Dasturiy ta’minot – geoaxborot tizimi va unda qo‘llaniladigan jihozlarni ishlatish uchun zarur bo‘lgan dasturlardir. Barcha dasturlar uchun muhim bo‘lgan jihat bu umumiy interfeys, ya‘ni menyu, grafik belgilar, buyruqlar tablosi va skriptlardir.

Insoniy resurslar – geoaxborot tizimining maqsad va vazifalarini aniqlab beruvchi malakali geoaxborot tizimi mutaxassislari guruhi va tizimdan foydalanuvchilar nazarda tutiladi.

Ma’lumot – bu biz uchun muhim sanalgan axborotni yaratish uchun zarur bo‘ladigan va turli xil tizimga kiritiladigan belgilardir.

Infratuzilma va jarayonlar – geoaxborot amallarini bajarish uchun zarur bo‘ladigan moddiy, tashkiliy va boshqaruv jarayonlarini o‘z ichiga oladi. Infratuzilma deganda zaruriy malaka, ma‘lumot standartlari, ma‘lumotni saqlash joylari va umumiy tashkiliy masalalar tushuniladi.

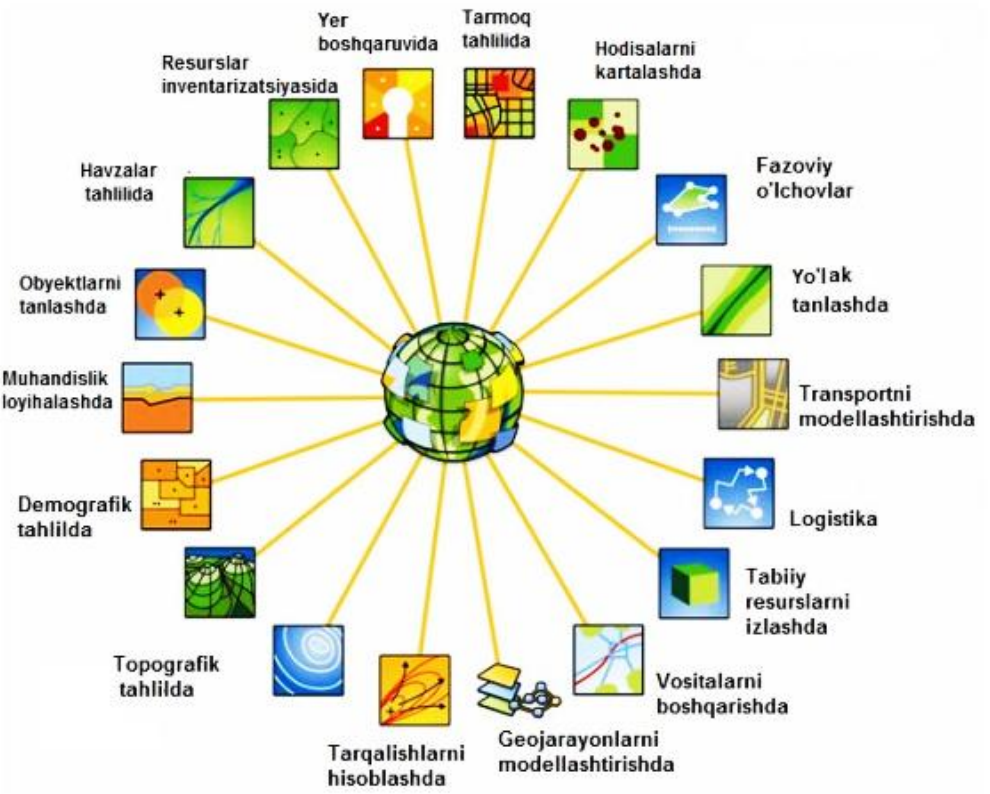
4. Geoaxborot tizimining qo‘llanilish sohalari

Geoaxborot tizimining qo‘llanilish sohalari juda keng bo‘lib, atrof-muhit, yer va suv resurslarini boshqarish, tabiiy resurslarni boshqarish, ijtimoiy-iqtisodiy sohalarda, qurilish va neft-gaz sohalarida, shuningdek, geodeziya va kartografiyada qo‘llash mumkin (3-rasm).

GATning yer osti suvlarini xaritalsh, geodeziya va ayniqsa, kartografiya sohalarida qo‘llanilishidan bir qancha yengilliklar kelib chiqadi. Bunda ish hajmi keskin ortib, ma‘lumotlarni

[4] https://pure.psu.edu/en/publications/geographic-information-systems-and-remote-sensing

qayta ishlash va bosmaga chiqarish kabi ishlarga sarflanadigan vaqt keskin kamayadi[5]. Bundan tashqari, ma‘lumot olish bilan bog‘liq



3-rasm. Geoaxborot tizimining qo‘llanilish sohalari

bo‘lgan ishlar miqdor va sifat jihatidan ortadi. Bunda hozirgi kunda mavjud zamonaviy geodezik asboblar, jumladan elektron taxeometrlar, sun‘iy yo‘ldosh orqali obyektning koordinatasini o‘ta yuqori aniqlikda bera oladigan qabul qilgich (priyomnik) lar juda ham katta yordam beradi. Shu jihati bilan an‘anaviy kartografiya, ya‘ni oldingi qog‘ozli ko‘rinishdagi geoma‘lumotlar yordamida ishlash bilan taqqoslaganda elektron geodezik asboblarga, sun‘iy yo‘ldosh ma‘lumotlariga asoslangan hozirgi zamonaviy kartografiya bir qancha afzalliklarga egadir.(1-jadval).

GAT — bu fazoviy ma'lumotlarni yig‘ish, saqlash, boshqarish, tahlil qilish va vizualizatsiya qilish tizimi bo‘lib, turli sohalarda, jumladan, ekologiya, qishloq xo‘jaligi, yer osti va yer usti suv resurslarini boshqarish va yerdan foydalanishda keng qo‘llaniladi. Ushbu tizim quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- Fazoviy ma'lumotlarni tahlil qilish va tendensiyalarni aniqlash;
- Resurslarning dinamikasini kuzatish va bashorat qilish;
- Masofaviy zondlash (RS) ma'lumotlarini integratsiya qilish;
- Kartografik vizualizatsiyalarni yaratish.
- Yer osti va usti suv resurslarini monitoring qilish.

5. Geoaxborot tizimlari asosida yer osti va usti suv resurslarini monitoring qilish.

Yer osti va usti suv resurslari tabiatning eng muhim boyliklari bo‘lib, ularni samarali boshqarish va monitoring qilish insoniyat uchun strategik ahamiyat kasb etadi. Zamonaviy geoaxborot tizimlari va masofaviy zondlash texnologiyalari ushbu resurslarning holatini aniqlash,

[5] https://archive.org/details/dli.ernet.474281

kuzatish va boshqarishda yangi yondashuvlarni taqdim etadi. GAT texnologiyalari resurslarni kuzatishda qator afzalliklarni beradi.

Ma'lumotlarning integratsiyasida har xil manbalardan olingan ma'lumotlarni yagona platformada birlashtiradi. Kuzatuv aniqligini oshirish borasida sun'iy yo'ldosh tasvirlari yordamida katta hududlarni tahlil qilish imkonini beradi. Resurslarni vizualizatsiya qilishda yer osti va usti suv resurslarini kartografik shaklda tasvirlash monitoring samaradorligini oshiradi. Real vaqt rejimida ma'lumotlar doimiy ravishda yangilanib boriladi[6].

GAT texnologiyalari yer osti suv resurslarini boshqarishda ma'lumotlarni yig'ish, saqlash, tahlil qilish va vizualizatsiya qilish imkoniyatlari orqali kompleks yondashuvni ta'minlaydi. Ushbu tizim yordamida gidrogeologik tuzilma, suv qatlamlari va quduqlar bo'yicha ma'lumotlar integratsiyalanib, suv zaxiralari, ularning tarqalishi va dinamik o'zgarishlari aniq modellashtiriladi. Real vaqtda monitoring tizimlari masofaviy zondlash ma'lumotlari va modellashtirish dasturlari bilan birgalikda GAT texnologiyalari orqali suv sathi, suv sifati, ifloslanish tarqalishi va suv olish hajmlarini nazorat qilishga yordam beradi. Shuningdek, GAT iqlim o'zgarishi ta'sirini baholash, xavf zonalarini aniqlash, suv tanqisligini prognoz qilish va qaror qabul qilish uchun tematik xaritalar yaratishda muhim vosita hisoblanadi. GAT fazoviy ma'lumotlarni tahliliy vositalar bilan birlashtiradi, bu batafsil ma'lumot berish, qarorlar qabul qilishni qo'llab-quvvatlash va barqaror resurslarni boshqarishni rag'batlantirish.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqot yer osti suvlarini boshqarishda geoinformatsion axborot texnologiyalari (GAT)ning integratsiyalashgan imkoniyatlarini baholash va amaliy qo'llash mexanizmlarini ishlab chiqishga qaratilgan. Tadqiqot metodologiyasi kompleks, tizimli va fanlararo yondashuv asosida shakllantirildi[6].

Birinchi bosqichda nazariy-tahliliy yondashuv qo'llanilib, yer osti suvlarini boshqarish, raqamli gidrogeologiya hamda GAT texnologiyalarining ilmiy-uslubiy asoslari bo'yicha mahalliy va xorijiy adabiyotlar o'rganildi. Mavjud konsepsiyalar, modellar va metodikalar qiyosiy tahlil qilinib, tadqiqotning konseptual modeli ishlab chiqildi.

Ikkinchi bosqichda ma'lumotlar bazasini shakllantirish amalga oshirildi. Bunda quduq kuzatuvlari, gidrogeologik kesimlar, laboratoriya tahlillari natijalari, gidrometeorologik ko'rsatkichlar hamda masofadan zondlash (sun'iy yo'ldosh) ma'lumotlari yig'ildi va yagona geoma'lumotlar bazasiga integratsiyalandi. Ma'lumotlarga dastlabki tozalash, standartlashtirish va geokodlash jarayonlari tatbiq etildi.

Uchinchi bosqichda GAT vositalari yordamida fazoviy tahlil ishlari olib borildi. Interpolyatsiya (IDW, Kriging), buferlash, qatlamlararo ustma-ust qo'yish (overlay), gidrogeologik rayonlashtirish hamda tematik xaritalash usullari qo'llanildi. Yer osti suvlarining sathi, sifati va dinamikasini baholash uchun ko'p omilli fazoviy tahlil modeli ishlab chiqildi.

To'rtinchi bosqichda modellashtirish va prognozlash usullari qo'llanildi. Gidrogeologik jarayonlarni matematik modellashtirish, vaqt qatorlari tahlili hamda ssenariy asosidagi prognozlash usullari orqali suv zaxiralarining o'zgarish tendensiyalari baholandi. Zarur hollarda sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish algoritmlaridan foydalanilib, xavf-xatar darajasi aniqlashtirildi.

[6] https://doi.org/10.5281/zenodo.14192561.

Yakuniy bosqichda olingan natijalar tizimlashtirilib, yer osti suvlarini boshqarishda GAT texnologiyalarining integratsiyalashgan modelini taklif etish, uning samaradorligini baholash hamda amaliy tavsiyalar ishlab chiqish amalga oshirildi.

Mazkur metodologiya ma'lumotlarning aniqligi, ishonchliligi va fazoviy uyg'unligini ta'minlashga hamda yer osti suv resurslarini barqaror boshqarish uchun ilmiy asos yaratishga xizmat qiladi.

KELAJAK ISTIQBOLLI REJALARI VA ILMIY TAVSIYALAR

Quduqlar, laboratoriya natijalari va sun'iy yo'ldosh kuzatuv ma'lumotlarini yagona raqamli tizimda birlashtirish maqsadga muvofiqdir.

Oliy ta'lim va ilmiy-tadqiqot muassasalarida raqamli gidrogeologiya yo'nalishini takomillashtirish zarur.

Mahalliy dasturiy platformalarni (jumladan, O'zGEO-Water kabi) ishlab chiqish, FAO, UNESCO va UNDP bilan hamkorlikni kuchaytirish hamda sun'iy intellekt asosida xavflarni tahlil qilish tizimlarini joriy etish suv resurslarini samarali boshqarishni ta'minlaydi.

XULOSA

Geoaxborot tizimlari yer osti suv resurslarini boshqarishda kompleks, zamonaviy va samarali yondashuvni ta'minlaydi. Fazoviy tahlil, masofaviy zondlash va modellashtirish imkoniyatlari orqali suv resurslarini muhofaza qilish, xavf zonalarini aniqlash va ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkoniyati kengayadi. GAT texnologiyalarining joriy etilishi suv resurslaridan barqaror foydalanishni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

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. https://lex.uz/uz/docs/-6648585?ONDATE=01.01.2025
3. Isroilov, B., Abdurahmanov, O. "Yer osti suvlari monitoringida raqamli texnologiyalar." Toshkent Davlat Texnika Universiteti Ilmiy Jurnali, №2. 2024.
4. https://scienceresearch.org.uz/index.php/ITSE/article/download/1036/1598/2052
5. USGS (2023). Groundwater Monitoring and Modeling Approaches. Washington DC. https://www.usgs.gov/programs/groundwater-and-streamflow-information-program/groundwater-monitoring
6. 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.
7. https://mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/4073
8. Xabibullayev I., Telyaev I. Raqamlashtirish sharoitida yer osti suvlari monitoring tizimini loyihalashtirishni takomillashtirish asoslari. Development or science ilmiy jurnali. 2025/7 VOLIME-3. https://science-research.org.uz/index.php/ITSE/article/view/1036
9. 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),

10. https://doi.org/10.5281/zenodo.14192561.
11. 7. Michael N. Demers. Fundamentals of Geographic Information Systems. John Wiley and Sons. (2003) 636 p.
12. https://archive.org/details/dli.ernet.474281