

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/2025.27.12.B.01.15 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

RAJABOVA NILUFAR DAVLATBOY QIZI

**YER OSTI SUVLARI SIFAT INDEKSINI ANIQLASH VA GAT ASOSIDA
BAHOLASH (AMUDARYO TUMANI MISOLIDA)**

03.00.10 – Ekologiya

**Biologiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Rajabova Nilufar Davlatboy qizi

Yer osti suvlari sifat indeksini aniqlash va GAT asosida baholash
(Amudaryo tumani misolida)..... 3

Раджабова Нилуфар Давлатбаевна

Определение индекса качества подземных вод и их оценка на основе
ГИС (на примере Амударьинского района)..... 21

Rajabova Nilufar Davlatboy kizi

Determination of the quality index of groundwater and its assessment
based on GIS (A Case Study of the Amudarya District)..... 40

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 44

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/2025.27.12.B.01.15 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

RAJABOVA NILUFAR DAVLATBOY QIZI

**YER OSTI SUVLARI SIFAT INDEKSINI ANIQLASH VA GAT ASOSIDA
BAHOLASH (AMUDARYO TUMANI MISOLIDA)**

03.00.10 – Ekologiya

**Biologiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Biologiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.2.PhD/B1510 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Milliy universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.nuu.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Sherimbetov Vafabay Xalilullaevich
biologiya fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

Rasmiy opponentlar:

Alimjanova Xolisxon Alimjanovna
biologiya fanlari doktori, professor

Raxmonov Ikrom Abdukarimovich
biologiya fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot:

Toshkent davlat Agrar universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/2025.27.12.B.01.15 raqamli ilmiy kengashning 2026-yil "27" fevral soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100174, Toshkent sh., Olmazor tumani, Universitet ko'chasi, 4-uy, O'zbekiston Milliy universitetining Biologiya va ekologiya fakulteti binosi, 2-qavat, 203-xona. Tel.: (+99871) 227-15-44).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Milliy universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (15-raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100174, Toshkent sh., Olmazor tumani, Universitet ko'chasi, 4-uy, Tel.: (+99871) 246-67-72).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil "13" fevral kuni tarqatildi.
(2026-yil "13" fevraldagi 3-raqamli reestr bayonnomasi).

X.S. Eshova

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy kengash
raisi, biologiya fanlari doktori, professor

J.A. Mirzayev

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy kengash
kotibi, biologiya fanlari falsafa doktori,
dotsent

Z.A. Jabbarov

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, biologiya
fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda toza ichimlik suvi tanqisligi global ekologik va ijtimoiy muammolar sirasiga kiradi. Birlashgan Millatlar Tashkiloti (BMT) ning 2022-yilda “Groundwater: Making the Invisible Visible” deb nomlangan hisobotiga ko‘ra, 2050-yilga kelib dunyo aholisining yarmidan ortig‘i toza ichimlik suvi tanqisligiga duch keladi. Bunday sharoitda chuchuk suv zaxiralarining 99 % ini tashkil etuvchi yer osti suvlari toza ichimlik suvi manbai sifatida kelajakda kutilayotgan muhim potensial resurs deb qaraladi. Sababi yer osti suvlarining chuqur qatlamlarda joylashuvi va tabiiy filtrlash xususiyati ularni iqlim o‘zgarishiga qarshi bufer tizimi bilan ta‘minlaydi¹. Afsuski, so‘nggi o‘n yilliklarda agrotsenozlarda noto‘g‘ri sug‘orish, ortiqcha kimyoviy o‘g‘itlar va pestitsidlar qo‘llanilishi, sanoat chiqindilari va kollektor-zovur suvlarining ochiq suv havzalariga tashlanishi tufayli yer osti suvlarining sifati keskin pasayishiga olib kelmoqda². Shuning uchun ham yer osti suvlarining sifati va miqdorini muhofaza qilish, shuningdek, iqlim o‘zgarishi va cheklangan tabiiy resurslar sharoitida dunyo aholisini toza ichimlik suvi bilan ta‘minlash masalalarini hal etish ham nazariy ham amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda, hozirgi kunda tabiiy yer osti ichimlik suvlari monitoringini takomillashtirishda ko‘plab olimlar tomonidan keng ko‘lamli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Yer osti suvlari monitoringi yer usti suvlariga nisbatan murakkab bo‘lib, ilg‘or texnik va ilmiy yondashuvlarni talab etadi³. Shu nuqtai nazardan, Geoaxborot tizimlari (GAT) va masofaviy zondlash (RS) texnologiyalari eng samarali innovatsion vositalar sifatida keng qo‘llanilmoqda⁴. Ayniqsa, ArcGIS platformasida qo‘llaniladigan IDW va Kriging interpolatsion usullari orqali suv sifatini fazoviy modellashtirib, ekologik xavfli zonalar, xavfsiz ichimlik suvi manbalari hamda ichimlik suvi sifati bilan bog‘liq kasalliklar yuqori kuzatiladigan hududlarni aniqlashga alohida e‘tibor berilmoqda.

Respublikamizda yer osti suvlarining sifat holatini baholash va ularni muhofaza qilishga qaratilgan monitoring tizimini takomillashtirish masalalariga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Ayniqsa, oxirgi yillarda suv ta‘minoti tizimlarini modernizatsiya qilish, zamonaviy suv tozalash inshootlarini barpo etish va rekonstruksiya qilish, qishloq hududlarida markazlashtirilgan ichimlik suvi tarmoqlari kengaytirish ishlari natijasida suv ta‘minoti qamrovi darajasi sezilarli darajada oshirildi. O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning “O‘zbekiston – 2030” strategiyasida “aholini sifatli va xavfsiz ichimlik suvi bilan ta‘minlash, ichimlik suvi ta‘minoti infratuzilmasini modernizatsiya qilish, suv taqsimoti va

¹ UNESCO (2022). Groundwater, making the invisible visible. In the UN World Water Development Report 2022. Retrieved from the UNESCO website on August 23, 2025: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. O‘zbekiston Respublikasida ichimlik suvi ta‘minoti va kanalizatsiya tizimlarini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida (PQ-4040-son): <https://lex.uz/docs/-4087011>

³ Jagtap S. (2023). Surfaced and Groundwater Monitoring Water Monitoring A Key to Sustainable Water Management: <https://www.cognitivemarketresearch.com/articles/surfaced-and-groundwater-monitoring-water-monitoring-a-key-to-sustainable-water-management>

⁴ NASA (2023). Environmental Investigations, Groundwater Monitoring: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/white-sands/environmental-investigations-groundwater-monitoring/>

sifatini nazorat qilish tizimlarini takomillashtirish hamda suv resurslaridan oqilona va samarali foydalanish⁵” kabi ustuvor vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda mamlakatimizda yer osti ichimlik suvlarining sifat holatini ilmiy asosda o‘rganish va baholash tizimini takomillashtirishga qaratilgan tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 30-oktabrdagi PF-5863-sonli “2030-yilgacha bo‘lgan davrda O‘zbekiston Respublikasining atrof-muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida⁶”gi farmoni, 2022-yil 7-dekabrda PQ-439-sonli “Yer osti suv resurslarini muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanishni tartibga solish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida⁷”gi, 2023-yil 1-apreldagi PQ-107-sonli “Suv resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish bo‘yicha kechiktirib bo‘lmaydigan chora-tadbirlar to‘g‘risida⁸”gi qarorlari, shuningdek mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining V. “Qishloq xo‘jaligi, biotexnologiya, ekologiya va atrof-muhit muhofazasi” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Xorijiy mamlakatlarda yer osti suvlarining sifatini ekologik nuqtai nazaridan baholash bo‘yicha global miqyosda keng qamrovli ilmiy izlanishlar olib borilgan. Xususan, ushbu tadqiqotlarda yer osti suvlarining toksiklik xususiyati va turli xavfli kasalliklar orasidagi bog‘liqliklari tadqiq qilingan. Ma‘lumotlarni GAT asosida fazoviy tahlil qilish va xaritalashtirish orqali integratsiyalash usullari ham keng tatbiq etilmoqda. Mazkur metodologiyalarni ishlab chiqishda va rivojlantirishda bir qator olimlar, jumladan, R.K. Horton (1965), G.N. Soyer va D.L. Makkarti (1967), R.M. Braun (1972), S.N. Devis va R.J. DeWiest (1966), L. Fewtrell (1996), Pizarro Fernando (1999), P.J. Stuyfzand (1989), N. Choudhury (2022), K.K. Verma (2018), Meenakshi va R.C. Maheshwari (2006), Salman Tavassoli va Farzad Mohammadi (2017), D.D. Patel (2023), M.G. Uddin, S. Nash, A.I. Olbert (2023), T. Hurley, R. Sadiq, A. Mazumder (2012), Alaa Farouk Abukila (2012), Peifang Leng (2019), M. Marselina, F. Wibowo va A.Mushfiroh (2022), N.Kayemah, R. Al-Ruzouq, A.Shanableh, va A.G. Yilmaz (2021), D.D. Patel, D.J. Mehta, H.M. Azamathulla, M.M.Shaikh, S. Jha va U. Rathnayake (2023), D.K. Lukhabi, P.K. Mensah, N.K. Asare, T. Pulumuka-Kamanga va K.O. Ouma (2023), M. Kachroud, F. Trolard, M. Kefi, S.Jebari va G. Bourrié (2019), Tayyab M., Aslam R. A., Farooq U., Ali S., Khan S. N., Iqbal M., Saddique N. (2023) va boshqa ko‘plab tadqiqotchilarning hissasi katta bo‘lgan.

MDH davlatlari olimlari tomonidan yer osti suvlarini sifat ko‘rsatkichlari asosida tasniflash va suv sifat indekslarini hisoblashda zamonaviy gidrokimyoviy

⁵ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 11.09.2023 yildagi PF-158-son Farmoni

⁶ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 30.10.2019 yildagi PF-5863-son

⁷ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori, 07.12.2022 yildagi PQ-439-son

⁸ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori, 01.04.2023 yildagi PQ-107-son

va statistik usullarni sohaga qo'llash bo'yicha ham keng qamrovli ishlar olib borilgan. Mazkur tadqiqotlar A.V. Kartoshova (2017), U. Zhalmagambetova, D. Assanov, A. Neftissov, A. Biloshchytskyi va I. Radelyuk (2024), D. Adenova, S. Tazhiyev, J. Sagin, M. Absametov, Y. Murtazin, L. Trushel, O. Miroshnichenko va A. Zaryab (2023) va boshqa olimlarning ishlarida o'z ifodasini topgan.

O'zbekistonda yer usti va yer osti suvlarining sifat tarkibini, ularni satxini, miqdoriy o'zgarishlarini, muhofaza qilish hamda samarali foydalanish chora-tadbirlariga qaratilgan tadqiqotlar E.I. Chembarisov (2020), R.A. Kulmatov (2008), S.A. Adilov (2021), I. Turdimambetov (2021), N. Komilova (2021), A. Nuratdinov (2023), S. Hasanov (2021), Sh. Rahmatullaev va J. Kazbekov (2012), B. Amanov (2023), U. Sadikova (2023), B. Alixanov va M. Juliev (2021), M. Ibrohimov (2011), B.P. Boltaboyeva (2023), M.A. Yakubov (2011), K. Gapporov (2025), M. Khamidov (2022), Sh.T. Otaboev va T.I. Iskandarov (1994), A. Salohiddinov (2025) va boshqa olimlar tomonidan amalga oshirilgan.

Mazkur sohada olib borilgan ilmiy-tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, bugungi kunda yer osti suvlari sifat indeksini aniqlash va ularni ichimlik suvlari sifatida baholash hamda sifat ko'rsatkichlarini GAT asosida xaritalashtirish masalalari yetarlicha o'rganilmagan. Shu sababli ushbu dissertatsiya ishi ilg'or xalqaro metodologiyalar, zamonaviy laboratoriya tahlillari, WQI (CCME, DWA va yangi DUA) modellari hamda GAT texnologiyalari asosida O'zbekistonning shimoli-g'arbiy qismida, Qoraqalpog'iston Respublikasining janubida joylashgan Amudaryo tumani aholisining ichimlik sifatida foydalaniladigan yer osti suvlarini ilmiy asosda o'rganish, ularning sifatini baholash va xaritalashtirish masalalariga qaratilgan.

Tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti Ekologiya kafedrasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining "Global iqlim o'zgarishi sharoitida flora va faunaning bioekologik xossa-xususiyatlarini tadqiq qilish, bioxilma-xilligini saqlash, tuproq-suv resurslarining ekologik holatlarni baholash hamda tabiiy resurslardan oqilona foydalanishning ilmiy-amaliy asoslarini ishlab chiqish" (2021-2025) mavzusidagi ilmiy-tadqiqotlar dasturi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi: Amudaryo tumani hududida ichimlik suvi sifatida foydalanilayotgan yer osti suvlarining sifat indeksini aniqlash va GAT asosida baholashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

tadqiqot hududida ichimlik suvi sifatida foydalanilayotgan yer osti suvlarining holatini o'rganish va kuzatuv nuqtalarini belgilash;

suv sifati ko'rsatkichlarini aniqlash va statistik tahlillarini amalga oshirish;

tadqiqot hududida ichimlik suvi sifatida foydalanilayotgan yer osti suvlarining aholi salomatligiga ta'sirini baholash;

GAT asosida yer osti ichimlik suvlari sifati ko'rsatkichlarini tavsiflovchi elektron xaritalar ishlab chiqish;

yer osti suvlari sifati ko'rsatkichlarini kompleks baholash uchun yangi "Dynamic Unweighted Average Water Quality Index (DUA-WQI)" modelini ishlab chiqish va shu asosida avtomatlashtirilgan shaklini yaratish.

Tadqiqotning obyekti sifatida Amudaryo tumanida 10-25 m chuqurlikda shakllangan ichimlik suvi sifatida foydalanilayotgan yer osti suvlari tanlangan.

Tadqiqotning predmeti Amudaryo tumanida ichimlik suvi sifatida foydalanilayotgan yer osti suvlari sifatini belgilovchi fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari (pH, KMnO_4 li oksidlanish qobilyati, NO_3^- , umumiy qattqlik (TH), umumiy quruq qoldiq (TDS), Cl^- , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , F^- , Cu^{2+}), suv sifati indeksi (DUA, DWA va CCME), ayrish va hazm tizimi kasalliklari, yer osti suvlari sifat ko'rsatkichlarini fasllar kesimida o'zgarish dinamikasi hamda yer osti suvlarini ifloslantiruvchi omillar hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot hududi yer osti suvlari sifatini belgilovchi fizik-kimyoviy ko'rsatkichlarni aniqlashda fotometrik, titrimetrik, gravimetrik, spektrofotometrik usullardan foydalanilgan. Suv sifati DUA, DWA va CCME-WQI modellari asosida kompleks baholash usullari orqali amalga oshirilgan. Deskriptiv yoki tasviriy statistikalar (o'rtacha, mediana, eng kichik va eng yuqori qiymatlar), Pearson korrelyatsiyasi va chiziqli Liner regressiya usullari yordamida amalga oshirilgan. GAT asosida yer osti suvlarining sifatini tavsiflovchi elektron xaritalarni ishlab chiqishda geostatistik IDW interpolatsiya usulidan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

ilk bor yer osti ichimlik suvlari sifatini baholash uchun "Dynamic Unweighted Average Water Quality Index (DUA-WQI)" modeli ishlab chiqilgan;

yer osti ichimlik suvlari sifatini baholashda alohida ko'rsatkichlar asosidagi yondashuvdan integral indeksga asoslangan baholash tizimiga o'tish ilmiy jihatdan asoslab berilgan;

Amudaryo tumani yer osti ichimlik suvlari sifat ko'rsatkichlarining fasliy o'zgarish dinamikasi, yer usti suvlarining infiltratsiyasi hamda antropogen yuklama ta'siri bilan bog'liqligi isbotlangan;

tadqiqot hududida shakllangan yer osti ichimlik suvlarining asosiy fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari asosida DUA-WQI, DWA va CCME modellaridan foydalangan holda suvlarning sifat indeksi aniqlanib, ichimlikka yaroqlilik darajasi kompleks baholangan;

geoaxborot texnologiyalari asosida yer osti suvlarining sifat ko'rsatkichlarini aks ettiruvchi elektron xaritalari va suvdan maqsadli foydalanishning ilmiy asoslari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

DUA-WQI modeli asosida yer osti suvlari sifatini kompleks baholashning onlayn avtomatlashtirilgan veb-kalkulyator platformasi ishlab chiqilgan va shu orqali suv sifatini qisqa vaqt ichida baholash imkoniyati yaratilgan;

DUA-WQI, DWA va CCME modellaridan foydalangan holda 10-25 m chuqurlikdagi yer osti suvlarining asosiy fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari asosida sifat indeksi aniqlangan va ichimlikka yaroqlilik darajasi baholangan;

yer osti suvlarining yuqori minerallashtirilganligi va aholi orasida urolitioz va xolelitioz kasalliklar yuzaga kelishi o'rtasidagi korrelyatsion bog'liqlik aniqlangan;

yer osti suvlari sifat ko'rsatkichlarini aks ettiruvchi elektron xaritalar ishlab chiqilib, ichimlik suvlari ekologik xavfli va xavfsiz hududlarga ajratilgan;

tadqiqot natijalari asosida hudud ichimlik suvi sifatini boshqarish, ekologik xavflarni kamaytirish hamda yer osti suv resurslaridan samarali foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi olingan ma'lumotlarni matematik va geostatistik va dunyo standartlariga javob beradigan bir qator zamonaviy uslublar asosida tahlil qilinganligi, olingan natija hamda xulosalarni ilmiy asoslanganligi, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan e'tirof etilgan, nufuzli xorijiy va respublika ilmiy jurnallarida chop etilganligi, natijalarni amaliyotga joriy qilinganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati yer osti ichimlik suvlari sifatini baholash maqsadida DUA-WQI (Dynamic Unweighted Average Water Quality Index) modelini ishlab chiqilganligi, fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari asosida ichimlik uchun yaroqlilik darajasini integral, tizimli va dinamik baholash imkoniyati yaratilganligi, alohida ko'rsatkichlar asosidagi yondashuvdan integral indeksga asoslangan baholash tizimiga o'tish muhimligi, yer osti suvlarining fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari iqlimiy sharoitlar, yer usti suvlari infiltratsiyasi, sug'oriladigan maydonlardan kelib chiqadigan yuklama va xo'jalik faoliyati ta'siri ostida fasllar kesimida dinamik ravishda o'zgarib turishi isbotlanganligi, DUA-WQI, DWA va CCME modellari asosida kompleks baholanganligi, suv manbalari xavfli va xavfsiz ekologik hududlarga ajratilganligi hamda shu asosda yer osti ichimlik suvlari sifatini monitoring qilish, xavflarni baholash va suvdan maqsadli foydalanishning ilmiy asoslari ochib berilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati DUA-WQI modeli asosida yer osti suvlarining sifatini kompleks baholash onlayn avtomatlashtirilgan veb-kalkulyator platformasi yaratilganligi, DUA-WQI, DWA va CCME modellaridan foydalangan holda 10-25 m chuqurlikdagi yer osti suvlarining asosiy fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari asosida sifat indekslari aniqlanganligi, ichimlikka yaroqlilik darajasi baholanganligi, aholi orasida urolitioz va xolelitioz kasalliklar yuzaga kelishi o'rtasidagi korrelyatsion bog'liqliklar aniqlanganligi, yer osti suvlari sifat ko'rsatkichlarini aks ettiruvchi elektron xaritalar ishlab chiqilganligi shuningdek, ichimlik suvi sifatini boshqarish, ekologik xavflarni kamaytirish hamda yer osti suv resurslaridan samarali foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Yer osti suvlari sifat indeksini aniqlash va GAT asosida baholash (Amudaryo tumani misolida) mavzusidagi dissertatsiya ishidan olingan natijalar asosida:

yangi DUA-WQI modeli va uning avtomatlashtirilgan onlayn kalkulyatori hamda GAT asosida yaratilgan yer osti suvlari sifatini tavsiflovchi raqamli

xaritalar Qoraqalpog‘iston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi amaliyotiga joriy etilgan (Qoraqalpog‘iston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligining 2025-yil 17-sentabrdagi 02/18-3279-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, vazirlik tizimida yer osti suvlarining sho‘rlanish jarayonlarini nazorat qilish, sifat ko‘rsatkichlari asosida ekologik jihatdan xavfli zonalarini aniqlash va ekologik xavfsizlikni ta’minlashga qaratilgan amaliy chora-tadbirlarni ishlab chiqish imkonini bergan;

Amudaryo tumanida yer osti suvlarining sifatini alohida va kompleks baholash usullari asosida olingan natijalar, raqamli xaritalar, aholi salomatligiga xavf soluvchi hamda turli kasalliklar shakllanishiga asos bo‘luvchi indikatorlar dinamikasi O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni saqlash vazirligi huzuridagi Sanitariya-epidemiologik osoyishtalik va jamoat salomatligi qo‘mitasi amaliyotiga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi SSV huzuridagi Sanitariya-epidemiologik osoyishtalik va jamoat salomatligi qo‘mitasining 2025-yil 10-sentabrdagi 02-16/8777-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, ichimlik suvi xavfsizligini ta’minlash, gigiyenik me’yorlarga mos kelmagan hududlarda profilaktik va rejalashtirilgan chora-tadbirlarni ishlab chiqish, ichimlik suvi sifatining fasllar kesimidagi ifloslanish xavfini kamaytirish hamda yer osti suvlari orqali kasalliklar tarqalishining oldini olish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro konferensiyalarda nashr bo‘lgan. Shulardan 1 tasi SCOPUS, WOS va boshqa nufuzli bazalarda indekslanadigan konferensiya materialida e’lon qilingan. Shuningdek, 2 ta tezis respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 10 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya Komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta maqola respublika va 4 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan. Shulardan 1 ta maqola SCOPUS (Q1), WOS kabi nufuzli bazalarda indekslanadigan jurnalda nashr qilingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 105 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotning dolzarbligi va zarurati, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi, ishning maqsadi va vazifalari, tadqiqot obyekti va uning predmetlari, tadqiqotda qo‘llanilgan usullar, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari, natijalarning ishonchlilik, ilmiy va amaliy ahamiyati, tadqiqotdan olingan natijalarning joriy qilinishi, tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi va e’lon qilinganligi, dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyada **“Amudaryo tumanining umumiy ekologik holati (adabiyotlar va materiallar sharhi)”** deb nomlangan birinchi bobida tadqiqot

olib borilgan joyning geografik joylashuvi, iqlim sharoiti, yer osti suvlarining shakllanishi va sifati, kollektor-zovur suvlaridan qayta foydalanish hamda suv resurslarining qishloq xo'jaligi ta'sirida ifloslanishi haqida mavjud adabiyotlar, milliy va xalqaro tashkilotlarning ko'p yillik hisobotlarini tahlil qilish orqali tadqiq qilingan.

Amudaryo tumani 1991-2024-yillar mobaynida yillik o'rtacha havo harorati 0.13°C ga va yoz mavsumidagi o'rtacha yillik harorat $0,33^{\circ}\text{C}$ ga oshgan. Amudaryo tumanida sug'oriladigan yerlar 39515 ga ni tashkil etib, shundan 32506 ga ekin maydonlaridir. Ekin maydonlarining 29,4 % i sho'rlanmagan, 70,6 % i turli darajada sho'rlangan bo'lib, ular orasida kuchli sho'rlangan - 2,5 %, o'rtacha sho'rlangan - 35 % va kam sho'rlangan - 33,1 % ni tashkil qiladi. Sizot suvlarining chuqurligi 0-2 m oralig'ida bo'lib, ularning eng ko'p qismi (29,4 ming ga) 1,5-2 m chuqurlikda joylashgan. Novegetatsiya davrida sizot suvlarining chuqurligi o'rtacha 1,56-3,11 m, vegetatsiya davrida esa 0,82-3,03 m oralig'ida o'zgaradi. Ularning mineralizatsiya darajasi 1909-3992 mg/l oralig'ida bo'ladi. Bu hududda yer osti suvlari asosan Amudaryo daryosi suvi orqali shakllanadi. Keyingi vaqtlarda daryo suvining mineralligi ortishi yer osti suvlarining sifati pasayishiga sabab bo'lmoqda.

Tumanda hosil bo'lgan kollektor zovur suvlari tarkibidagi fizik-kimyoviy ko'rsatkichlarini BMTning Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO)ning standarti bilan taqqoslaganimizda EC ning o'rtacha qiymatlari 2021-yilda $5,56 \pm 0,56$ dS/m, 2022-yilda $5,45 \pm 0,77$ dS/m va 2023-yilda $5,82 \pm 1,36$ dS/m ni tashkil etadi. Bu diapazonlar FAO talabi (0-3 dS/m) ga mutlaqo mos emasligini ko'rishimiz mumkin. Mg^{2+} o'rtacha qiymatlari 9-11 mEq/l oralig'ida bo'lib, FAO tavsiyalaridan (0-5 mEq/l) oshadi. Na^{+} ning o'rtacha qiymati 18,37 dan 57 mEq/l gacha bo'lib, FAO standarti (0-40 mEq/l) ga deyarli mos kelmaydi. Na^{+} ning Ca^{2+} va Mg^{2+} ga nisbatan adsorbsiya nisbati (SAR) esa 2021-yilda $3,34 \pm 0,22$, 2022-yilda $6,03 \pm 3,01$ va 2023-yilda $11,26 \pm 6,17$ ni tashkil qilib, yillar davomida sezilarli o'sishni ko'rsatdi (FAO: 0-15).

1-jadval

Sizot suvlari va yer osti suvlarining o'zaro bog'liqlik koeffitsientlari (2021-2023)

Ko'rsatkichlar	TDS_S	NO_2^-	TH	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS_G	F^-	Fe^{2+}	NO_3^-	Cu^{2+}	$\text{KMnO}_4\text{-OQ}$	pH
TDS_S	1											
NO_2^-	-0,64	1										
TH	1,00	-0,64	1									
Cl^-	0,94	-0,87	0,94	1								
SO_4^{2-}	0,91	-0,27	0,91	0,72	1							
TDS_G	0,75	-0,99	0,75	0,93	0,41	1						
F^-	-0,60	-0,23	-0,60	-0,29	-0,87	0,09	1					
Fe^{2+}	0,80	-0,05	0,80	0,54	0,98	0,20	-0,96	1				
NO_3^-	0,99	-0,73	0,99	0,97	0,86	0,82	-0,50	0,72	1			
Cu^{2+}	0,96	-0,84	0,96	0,99	0,75	0,91	-0,34	0,59	0,98	1		
$\text{KMnO}_4\text{-OQ}$	0,17	-0,86	0,17	0,50	-0,25	0,78	0,69	-0,46	0,28	0,45	1	
pH	0,14	0,67	0,14	-0,21	0,54	-0,55	-0,88	0,71	0,02	-0,15	-0,95	1

Eslatma: TDS_S - sizot suvlarining umumiy minerallik miqdori, ORP-permanganatli oksidlanish-qaytarilish potentsiali, TDS_G - yer osti suvining umumiy quruq qoldig'i.

Bu ekotizmda shakllangan yer osti suvlarining ifloslanishi asosan yer usti suvlari, tuproq resurslarining ifloslanishi, samarasiz drenaj tizimlari va hududning noqulay iqlim sharoiti bilan keskin bog‘liqlik mavjud bo‘lib, buning dalilini sizot suvlari va yer osti suvlari tarkibidagi sifat ko‘rsatkichlari orasida mavjud kuchli musbat korrelyatsiyalarda ko‘rishimiz mumkin (1-jadval).

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot obyekti va uslublari”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqotda belgilangan o‘n ikkita quduqlardan suv namunalarini davlat standarti (GOST 31861) ga mos holda olish tartibi, suv namunalarini konservatsiya qilish va tadqiqot uchun belgilangan o‘nta sifat indikatorlarining suvda mavjud miqdorlarini laboratoriya sharoitida aniqlash usullariga qaratilgan. Nazorat quduqlari joylashgan hududlari (OFY/MFY) va geografik koordinatalari quyidagi 2-jadvalda keltirilgan.

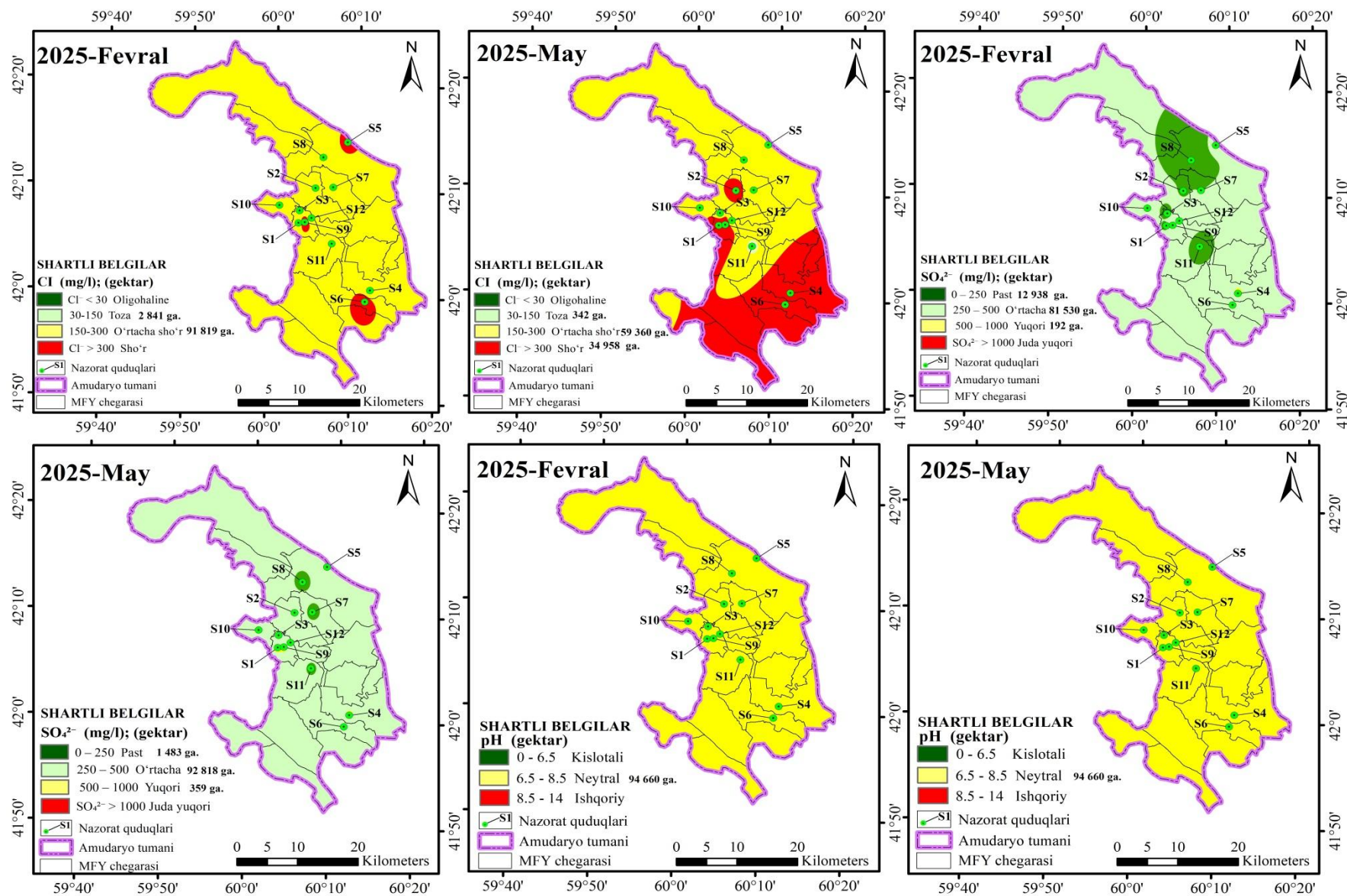
2-jadval

Nazorat quduqlarining GPS asosida aniqlangan geografik koordinatalari

Hudud (MFY/OFY)	Quduq raqami	Shimoliy kenglik (°)	Sharqiy uzunlik (°)
Bo‘ston MFY	S1	42°06'52.0"N	60°03'17.5"E
Choy ko‘l OFY	S2	42°10'12.0"N	60°05'10.7"E
Oybek MFY	S3	42°07'40.1"N	60°03'03.7"E
Kiyuk ko‘pir OFY	S4	42°00'41.5"N	60°12'07.5"E
Besh tom OFY	S5	42°13'42.3"N	60°07'45.2"E
Xitoy OFY	S6	41°59'35.1"N	60°11'32.3"E
To‘lqin OFY	S7	42°10'19.2"N	60°07'17.7"E
Qipchoq SHFY	S8	42°13'11.4"N	60°06'07.2"E
Beruniy MFY	S9	42°06'58.3"N	60°04'05.0"E
Amir Temur MFY	S10	42°08'27.7"N	60°00'57.6"E
Arna bo‘yi OFY	S11	42°04'59.6"N	60°07'21.4"E
Olmozor. MFY	S12	42°07'23.4"N	60°04'48.1"E

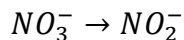
Shuningdek ushbu bobda geostatistik usullardan “IDW interpolatsiyasi”, “Reclassify” va “Raster to Polygon” metodlarining birgalikda qo‘llanilishi asosida ma’lumotlar aniqligining keskin oshirilishi, natijalarning yuqori sifatli xaritalarda aks ettirish algoritmlari tahlil qilingan va tahlil jarayoni soddalashtirilgan (1-Rasmga qarang). GAT dasturlari orqali bunday yondashuvlar yer osti suvlarining ekologik, biologik va tibbiy nuqtayi nazardan tadqiq qilishda muhim vositalar sifatida xizmat qilishi mumkin.

Dissertatsiyaning **“Yer osti suvlarining sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash va baholash”** deb atalgan uchinchi bobida nazorat quduqlarini o‘nta sifat ko‘rsatkichlari asosida dunyo bo‘yicha tan olingan xalqaro turli tashkilotlar va olimlar tomonidan ishlab chiqilgan tasniflash usullari va ularni tizimlash (gibrid usul) orqali baholangan va olingan natijalar GAT dasturida IDW interpolatsiya usuli yordamida rangli xaritalar ishlab chiqildi. Quyida yer osti suvlarini tadqiq qilishda foydalanilgan nazaryalar va ularni tadqiqot obyektiga qo‘llashdan olingan natijalarning ayrimlari ketma-ketlikda qisqacha bayon qilingan:



1-Rasm. Yer osti suvlari sifatini Cl⁻ va SO₄²⁻ ko'rsatkichlari asosida GATda baholash

1. Yuqori NO_3^- va NO_2^- anionlariga ega suvni iste'mol qilish "Methemoglobinemia" (MetHb) ga olib keladi. Bu sindrom ko'proq chaqaloqlarda uchraydi. Uning yuzaga chiqish mexanizmida birinchi bo'lib, NO_3^- anionlari suv bilan birga organizmga kiradi va ichaklardagi mikroorganizmlar (Enterobacteriaceae, Bacteroides, Lactobacillus) NO_3^- anionlarini NO_2^- anionlariga aylantiradi.



NO_2^- anionlari qon tarkibiga qo'shib, Fe^{2+} ni methemoglobin - Fe^{3+} ga oksidlaydi.



NO_2^- anionlari qonning barcha to'qima hujayralariga qon yetkazish funksiyasini sekinlashtiradi va shu orqali gipoksiya yuzaga keladi. Tarkibida nitrat anionlari mavjud suvlarni doimiy iste'mol qilish natijasida organizmda saraton hujayralari paydo bo'lishi, yurak ritmi va markaziy asab tizmining buzilishi kabi belgilar yuzaga keladi⁹. Yevropa Ittifoqi (EU) va JSST ko'rsatmalarida NO_3^- 1 l suvda 50 mg/l dan oshmasligi kerak. O'zMSSt bo'yicha esa 45 mg/l eng yuqori REM bo'lib hisoblanadi. Tadqiqot uchun belgilangan barcha nazorat quduqlari suvi xalqaro va milliy standartlarga mosligi aniqlangan. Nazorat quduqlari suvini ilmiy asosda zaharlilik darajasini aniqlash va tumanda 10-25 m chuqurlikda shakllangan yer osti suvlari haqida xulosalar olish uchun JSST va AQSh atrof-muhitni muhofaza qilish agentligi (EPA) tomonidan tavsiya qilingan diapazonlarni integratsiya qilib to'rtta kotigoryadan iborat gibril usulga keltirildi. Bunda, $10 > \text{NO}_3^-$ mg/l bo'lganda "xavfsiz", 10-20 mg/l oralig'i "o'rtacha xavfli", 20-50 mg/l oralig'i "xavfli", $\text{NO}_3^- < 50$ mg/l bo'lganda "juda xavfli" toifalarga ajratish mumkin. Ushbu usulni yer osti suvlari tahliliga qo'llaganimizda, deyarli barcha namunalar "o'rtacha xavfli" toifaga mansub bo'lib, bu turdagi suvlar tumanning deyarli 94660-84515 ga ni egallaganligi ArcToolbox (Geometry Properties) dagi funksiyalar orqali aniqlandi.

Mavsumiy tahlil natijalariga ko'ra, eng yuqori NO_3^- miqdori odatda yoz faslida kuzatildi. Jumladan, 2-quduqda 15,7 mg/l, 6-quduqda 14,6 mg/l, 1-quduqda esa 13,6 mg/l qayd etildi. Shuningdek, 7- va 8-quduqlarda yoz oylarida 13,5 mg/l gacha yetadi. Bu holat, ehtimol, qishloq xo'jaligida azotli o'g'itlardan keng foydalanish natijasidan bo'lishi mumkin. Eng past NO_3^- konsentratsiyalari qish faslida kuzatilib, 11-quduqda 9,2 mg/l, 5-quduqda 8,7 mg/l, 1- va 9-quduqlarda 9,9 mg/l ni tashkil qiladi. Bu davrda qishloq xo'jaligi faoliyatining kamligidan bo'lishi mumkin.

2. O'n ikkita nazorat quduqlaridagi suvlarning qattiqligi 8 ekv/l dan 25 ekv/l gacha bo'lib, o'rtacha qiymat 10 ekv/l ga teng. Buni JSST standarti bilan taqqoslaganda suv namunalarining faqat 40 % i belgilangan eng yuqori REMdan oshmaydi. JSST standartida TH qiymati 500 mg/l (10 ekv/l) dan yuqori bo'lgan suvlar yaroqsiz deb hisoblanadi. O'zMSSt bo'yicha esa 7 ekv/l dan oshmasligi kerak. Lekin, bu qiymat Qoraqalpog'iston Respublikasi va Xorazm viloyati uchun 10 ekv/l eng yuqori REM deb qaraladi². Tadqiqot hududidagi suvlarning 90% i qattiq yoki juda qattiq kotigoryaga mansub bo'lib, bu suvning sifatini keskin pasaytiradi. Suv namunalarini TH asosida toifalarga ajratishda 1967-yilda Soyer va Makkarti

⁹ Ward, M. H., Jones, R. R., Brender, J. D., De Kok, T. M., Weyer, P. J., Nolan, B. T., ... & Van Breda, S. G. (2018). Drinking water nitrate and human health: an updated review. International journal of environmental research and public health, 15(7), 1557.

¹⁰ Ichimlik suvi. Gigiyenik talablar va sifatini nazorat qilish (O'zMSSt 133:2024).

tomonidan ishlab chiqilgan metodikadan foydalanildi. Bu usulda TH miqdoriga asosan to'rtta kategoriyalarga: 75 mg/l dan past bo'lgan suvlar "yumshoq", 75-150 mg/l oralig'idagi suvlar "o'rtacha qattiq", 150-300 mg/l "qattiq" va 300 mg/l dan yuqori bo'lgan suvlar esa "juda qattiq" suv sifatida tasniflanadi. Ushbu metodikani tadqiqot ob'ektiga qo'llaganimizda 2023-yilda suv namunalari qattqlik darajasi hudud bo'ylab ham, mavsumlar kesimida ham sezilarli farqlanishini ko'rsatdi. 1-quduq barcha fasllarda yuqori TH qiymatlari bilan ajralib turadi: qish va bahorda 665 mg/l, yozda 610 mg/l, kuzda esa 500 mg/l qayd etilgan. Eng yuqori qattqlik darajasi 9-quduqda kuzatilgan bo'lib, kuz oyida 1845 mg/l gacha yetadi. Minimal qiymatlar 5- va 8-quduqlarda qayd etilgan bo'lib, qishda mos ravishda 465 mg/l va 465 mg/l, yozda esa 480 mg/l va 580 mg/l atrofida bo'ladi. Biroq bu quduqlarda ham ayrim mavsumlarda qattqlik darajasi keskin oshib, 800 mg/l gacha yetgan. Qish faslida qattqlik ko'rsatkichlari ko'plab quduqlarda yuqori bo'lib, 2-, 4-, 6-, 9- va 11-quduqlarda 800 mg/l dan oshadi. Bundan ko'rinib turibdiki, TH qiymatlarining keskin ortib borishi bilan yuqori namgarchilikka ega iqlim sharoiti o'rtasida kuchli korrelyatsiya mavjud. Lekin, bahorda qiymatlar nisbatan pasaygan bo'lsa-da, 2-quduqda 975 mg/l ni barqaror holatni saqlab qoladi. Yoz oyida qattqlik ko'rsatkichlari aksariyat quduqlarda pasayish kuzatilsa, kuz faslida ayrim nuqtalarda, xususan 9-quduqda, qattqlik keskin oshib, maksimal qiymatlarni qayd etadi. Yer osti suvlarini TH qiymatlari asosida toifalarga ajratishda Soyer va Makkarti metodikasini qo'llashdan olingan natijalarga ko'ra, barcha nazorat quduqlarining suvlari "juda qattiq" suv toifasiga mansub bo'lib, bu toifadagi yer osti suvlari hududning deyarli 94660 ga maydonni egallaydi.

3. TDS miqdori 2023-2025-yillar davomida deyarli barcha suv namunalari 1000 mg/l dan yuqori va 2300 mg/l oralig'ida bo'lib, deyarli barcha suv namunalari JSST va O'zMS 133:2024 da qo'yilgan talablariga mos kelmasligi aniqlandi. Quduqlar suvini fasllar kesimida tahlil qilganimizda deyarli barcha mavsumlarda qish, bahor, yoz va kuzda TDS sezilarli darajada oshadi. Qishda 730 mg/l dan 1910 mg/l ga yetadi. Odatda bu faslda eng yuqori TDS miqdori 2-quduqda, eng past qiymat esa 8-quduqda kuzatildi. Bahor faslida TDS qiymatlari sezilarli darajada ortib, 1270 mg/l dan 2370 mg/l gacha o'zgaradi. Bu faslda, eng yuqori konsentratsiya 2-quduqda kuzatilgan bo'lsa, eng past ko'rsatkich 8-quduqga mos keladi. Shuningdek, yoz faslida ham TDS darajalari bahor faslidagi holatga o'xshash bo'lib, eng yuqori qiymat 1820,3 mg/l gacha yetadi. Kuzda TDS diapazonlari 730 mg/l dan 1910 mg/l gacha o'zgarib, eng past ko'rsatkich 3-quduqda, eng yuqori ko'rsatkich esa 9-quduqda kuzatildi. Yer osti suvlarini Amerikalik olimlar S.N. Davis va R.J. DeWiestlar tomonidan ishlab chiqilgan metodika bo'yicha tekshirganimizda yer osti suvlarining deyarli 95 % i "Irrigatsiya maqsadlariga yaroqli" toifadagi suv turlariga mansub ekanligi aniqlandi. Ushbu natijalarni GAT da interpolation usulida tahlil qilganimizda hududning taxminan 94660 ga maydonida asosan irrigatsiya suvlariga mos keladigan suv turlari egallaganligi aniqlandi.

4. Dissertatsiyaning "Yuqori minerallashgan (sho'rlangan) yer osti suvining buyrak faoliyati va hazm tizimiga salbiy ta'siri" deb nomlangan paragrafda Amudaryo tumanida yer osti suvlarining sho'rli va aholi orasida dominant kasalliklari bilan korrelyatsiyalari tahlil qilindi. Suvning sho'rli va qattqligi bilan

asosan ayrish tizimi kasalliklaridan siydik-tosh (*Urolithiasis*) va o't-tosh (*Cholelithiasis*) kasalliklari bilan kuchli musbat bog'liqlik mavjud bo'lib, o't-tosh va siydik-tosh kasalliklari bilan suv tarkibidagi umumiy qattqlik (TH) ($r=0,34;0,96$), Cl^- ($r=0,65;1$), umumiy quruq qoldiq yoki mineralligi (TDS) ($r=0,88;0,9$), NO_3^- ($r=0,45;0,99$), Cu^{2+} ($r=0,61;1$), SO_4^{2-} ($r=-0,07;0,76$) kabi ko'rsatkichlari o'rtasida kuchli musbat korrelyatsiya mavjudligi aniqlandi va shu orqali mahalliy aholi orasida uchraydigan *Urolitiyoz* va *Cholelithiasis* kasalliklarining keskin ortib borishi bevosita yer osti ichimlik suvining mineralligi bilan bog'liqligi o'z isbotini topdi (3-jadval).

3-jadval

Mineralligi yuqori yer osti suvining o't-tosh va siydik-tosh kasalliklari bilan korrelyatsiyasi

O'zgaruvchilar	TH	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS	NO_3^-	Cu^{2+}	<i>Cholelithiasis</i>	<i>Urolithiasis</i>
TH	1							
Cl^-	0,94	1						
SO_4^{2-}	0,91	0,72	1					
TDS	0,75	0,93	0,41	1				
NO_3^-	0,99	0,97	0,86	0,82	1			
Cu^{2+}	0,96	1,00	0,75	0,91	0,98	1		
<i>Cholelithiasis</i>	0,34	0,65	-0,07	0,88	0,45	0,61	1	
<i>Urolithiasis</i>	0,96	1,00	0,76	0,90	0,99	1,00	0,59	1

Dissertatsiyaning "DUA-WQI, DWA va CCME modellariga asoslangan holda yer osti suvlarining sifat indekslarini kompleks baholash va xaritalash" deb nomlangan to'rtinchi bobida nazorat quduqlaridan olingan suv namunalari sifat indekslarini hisoblashda N.Kayemah va boshqalar tomonidan tavsiya qilingan ko'rsatmalarga asoslanilgan Vazinli Arifmetik Suv Sifati Indeksi (WA-WQI) modeli qo'llanildi. Lekin, WA-WQI modeli suv sifatini nisbatan yaxshiroq bo'lgan suvning holatini ham past sifatli qilib hisoblashi aniq bo'ldi. Shuning uchun biz vazn (w_i) tanlash uchun WA-WQI modelidagidek fikserlangan usulni emas, parametr test natijalariga qarab o'zgaradigan dinamik vaznli arifmetik suv sifati indeksi (DWA-WQI) ni taklif qilamiz. Bunda w_i larni quyidagicha hisoblaymiz:

1-qadam. Ahamiyatlilik darajasi (K_i) ni hisoblash

$$K_i = \frac{V_i}{S_i} \quad (1)$$

bu yerda S_i – i -parametr uchun yuqori (yoki quyi) standart chegara; V_i – i -indikator bo'yicha o'tkazilgan test natijasidan olingan qiymat.

2-qadam. Vazn (w_i) ni hisoblash.

$$w_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (2)$$

3-qadam. Normallashtirilgan parametr qiymati (Q_i) ni hisoblash:

$$Q_i = \frac{v_i}{S_i} \times 100 \quad (3)$$

Dinamik vaznli arifmetik suv sifati indeksi (DWA-WQI) ni hisoblash.

$$DWA - WQI = \sum_{i=1}^n w_i q_i. \quad (4)$$

Lekin, ushbu WA-WQI modeliga kichik o'zgartirishlar kiritilsa ham uning juda an'anaviyligi saqlanib qolindi. Natijada yer osti suvlari haqida real xulosalar qilish

imkoniyatini ma'lum darajada chekladi. Biz ushbu holatlarni hisobga olgan holda yangi Dynamic UnWeighted Average Water Quality Index (DUA-WQI) modelini ta'klif qilamiz. Bu modelning ishlash mexanizmi to'rtta qadamni o'z ichiga oladi:

1-qadam. Parametrlar qiymatlarini olish. Qiymatlar x_i bilan belgilanadi. Masalan pH=7,9, $\text{KMnO}_4\text{-OQ} = 7$, $\text{NO}_3^- = 12,4$ va h.k ga teng deb yozib chiqiladi.

$$SI_i = \min\left(1, \frac{|x_i - (st)_i|}{|p)_i - x(st)_i|}\right) \quad (5)$$

2-qadam. Parametrlarga sub-indeks olish: bu yerda SI_i – Sub Indeks; $x(st)_i$ – parametr uchun ideal qiymat; $x(up)_i$ – har bir parametr uchun yuqori chegara.

3-qadam. Parametrlar uchun vazn belgilash:

$$w_i = \frac{e^{SI_i - 1}}{\sum_{k=1}^n e^{SI_k - 1}} \quad (6)$$

bu yerda w – parameter uchun vazn; e – eksponensial yoki tabiiy logarifm (bu matematik doimiy son bo'lib, uning qiymati taxminan 2,71828 ga teng).

4-qadam. Dinamik vazinsiz o'rtacha suv sifati indeksi (DUA-WQI) ni hisoblash:

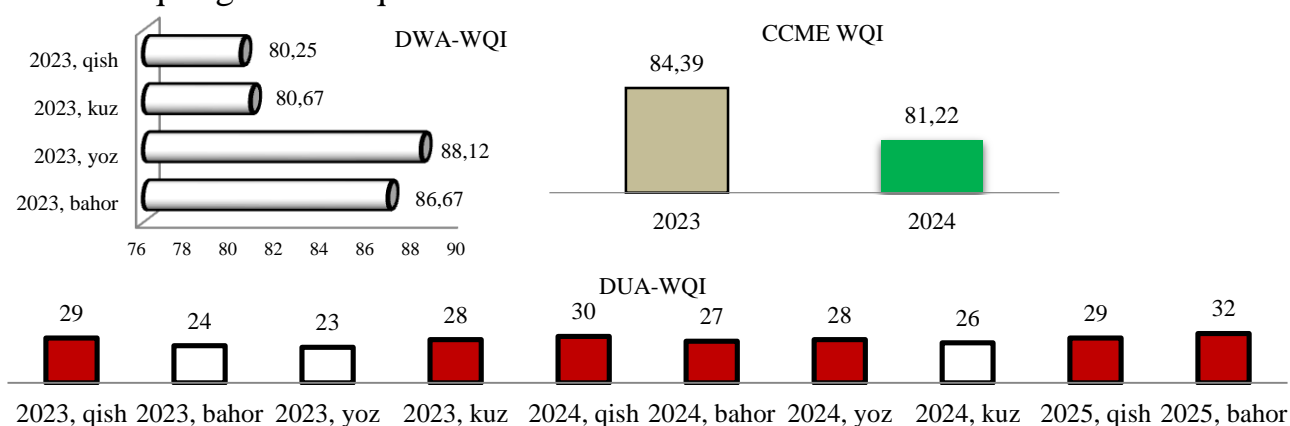
$$DUA - WQI = 100 - \sum_{i=1}^n w_i SI_i 100 \quad (7)$$

bu yerda DUA-WQI-suv sifatini baholash uchun hisoblangan yakuniy indeks bo'lib, u 0 dan 100 gacha bo'lgan qiymatga ega bo'ladi. Bunda, 100 eng yuqori suv sifati bo'lsa, 0 esa eng past sifatni anglatadi. Ushbu usulda oxirgi natija ko'pchilik WQI modellari kabi kotigoryalarga ajratish uchun 100 ballik tizmda baholanadi. Bunda diapazonlar % da ifodalanilib, to'rtta kotigoryalarga ajraladi. Jumladan, 81-100 oralig'i "yaxshi", 51-80 "o'rtacha", 30-50 "qoniqarli", 0-29 oraliq diapazonlari esa "foydalanishga yaroqsiz" qilib kotigoryalarga ajratilgan. DUA-WQI modeli boshqa modellarga nisbatan suv sifatini hisoblashda o'ziga xosligi va afzalliklari 80–90% darajada yaxshi usul sifatida baholash mumkin. Bunda asosiy afzalliklari parametrlarning optimalligi asosida vazn berish, parametrlarning haqiqiy holatini yaxshiroq aks ettirish va ko'p parametrlarni birgalikda baholash imkoniyatlari mavjudligidadir. Shuningdek, uni 10–20% darajada yomon usul sifatida baholash mumkin. Chunki, bu modelning amalga oshirilishi ko'proq vaqt va resurslar talab qilishi mumkin. Agar hisoblash jarayoni juda murakkab bo'lsa, yoki parametrlarning noaniqligi yuqori bo'lsa, bu model kam samarali bo'lishi mumkin. Uning mana shunday kamchiliklarini hisobga olgan holda, DUA-WQI modelining onlayn veb-kalkulyator shakli ishlab chiqildi¹¹. Ushbu suv sifati indeksini hisoblovchi kalkulyator o'zbek va ingliz tillarida ishlaydi. Bu kalkulyator asosan, milliy va xalqaro me'yoriy va ilmiy materiallarga asoslangan bo'lib, unda o'nta indikatorning optimal diapazonlari JSST standartiga va so'nggi ilmiy maqolalarning natijalariga asoslanadi. Ushbu DUA-WQI modeli o'nta indikator bo'yicha suv sifatini hisoblaydi. Agarda bu indikatorlar soni kam yoki ko'p bo'lganda ham DUA-WQI modelidan foydalanish imkoniyati mavjud. Sababi ushbu modelning ishlash mexanizmida suv sifatini belgilovchi har qanday fizik-kimyoviy va mikrobiologik sifat ko'rsatkichlarining soni cheklanmagan.

Yer osti suvlarining sifat indeksleri tahlili: Jami o'n ikkita nazorat quduqlarining

¹¹ Water Quality Index Calculator: <https://dua-wqi.pages.dev/>

suv sifatini baholashda CCME-WQI, DWA-WQI, DUA-WQI modellari qo'llanildi va ushbu modellarning ishlash mexanizmida va afzalliklari o'rtasida sezilarli tafovutlar kuzatildi. CCME-WQI yillik integratsiyalashgan natijalarda suv sifatini asosan 65-87 diapazonlarda qayd etib, 70 % hollarda “o'rtacha-yaxshi” toifalarini ko'rsatdi. DWA-WQI esa bahor-yoz mavsumlarida 100-170 indekslar bilan suvni “juda qoniqarsiz” yoki “foydalanishga yaroqsiz” deb baholadi. Natijada yer osti suvlarning sifatini CCME ga nisbatan 30-50 % keskinroq yomonlashuvni aks ettirdi. DUA-WQI da esa bahor-yozda “qoniqarsiz” (20-40 ball), kuz-qishda esa “qoniqarli” (30-40 ball) ko'rsatkichlar qayd etilib, mavsumiy o'zgaruvchanlik 25-35 % yuqori sezgirlikda aks etdi. Bu orqali aynan qaysidir modelni ishlash mexanizmini tanqid qilish emas, sababi har bir modelning qo'llash davri bor. Bunda, CCME-WQI - yillik umumiy baholash uchun qulay, suv sifatini barqaror “o'rtacha-yaxshi” darajada aks ettiradi. Mavsumiy o'zgarishlarga sezgir emas, biroq integratsiyalashgan yillik holatni ishonchli ko'rsatadi. DWA-WQI-suv sifatidagi keskin mavsumiy farqlarni ayniqsa bahor, yoz va kuzda yaroqsizlikni isbotlashda deyarli 40-50 % sezgirroq. DUA-WQI modelida natijalar “qoniqarsiz-qoniqarli” toifalarni qayd etib, mavsumiy monitoringda 25-30 % ko'proq aniqlik beradi. DUA-WQI modeli CCME va DWA natijalariga nisbatan sezgirroq, qulay va yaxshiroq ishlash mexanizmiga egaligini ko'rishimiz mumkin. Lekin, CCME-modeli umumiy tendensiyaning baholash uchun ishonchli, ammo mavsumiy sezgirlik past. DWA-WQI modelida ekstremal mavsumiy yomonlashuvlarni aniqlash uchun eng mos, biroq ba'zan ortiqcha keskin baholashga moyil. DUA-WQI modeli CCME va DWA o'rtasida “muvozanatli” model bo'lib, mavsumiy farqlarni realroq aks ettiradi. O'rtacha hisobda, DWA va DUA modellarining mavsumiy sezgirligi CCME ga nisbatan 30-40 % yuqori, shuning uchun ular bahor-yoz monitoringida samaraliroq, CCME esa yillik umumiy baholash uchun maqsadga muvofiqdir.



2-Rasm. Yer osti suvlari sifat indekslarining fasllar kesimida o'zgarish dinamikasi

Umuman olganda, yer osti suvlarining sifat indekslari asosan bahor va yoz mavsumlarida eng yomon kotigoryaga o'zgarishi kuzatilib, bu yillik va o'rtacha holatga ham ta'sir qiladi (2-rasm).

XULOSALAR

“Yer osti suvlari sifat indeksini aniqlash va GAT asosida baholash (Amudaryo

tumani misolida)” mavzusidagi dissertatsiya ishi bo’yicha olib borilgan tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalar taqdim qilindi:

1. So’nggi 34 yil davomida global iqlim o’zgarishi natijasida Amudaryo tumanida yillik o’rtacha havo harorati $0,13^{\circ}\text{C}$ ga oshib, shu davrda yer osti sizot suvlarining yillik o’rtacha sathi $31,28\text{ sm}$ ga pasaygan. Chiziqli regressiya tenglamasi asosida ishlab chiqilgan matematik model prognoziga ko’ra, 2050-yilga borib yillik o’rtacha havo harorati yana $0,10^{\circ}\text{C}$ ga ortishi sizot suvlarining o’rtacha yillik sathi qo’shimcha 24 sm ga pasayishi kutilayotganligi aniqlandi.

2. Tumandagi 39515 ga sug’oriladigan yerlarning 70,6 % qismi turli darajada sho’rlangan bo’lib, tumanda sizot suvlari sathi 0-2 m chuqurlikda joylashadi va sizot suvlari mineralligi 1909-3992 mg/l oralig’ida bo’lib, bu tuproqning ikkilamchi sho’rlanishi va yer osti suv sifati yomonlashuviga olib kelayotganligi kuzatildi.

3. Tumanga ifloslanish darajasi ortib borayotgan Amudaryo daryosi suvining kirib kelishi, “sho’r yuvish usuli” yetarlicha bajarilmasligi, agrotsenozlar unumdorligini oshirishda kimyoviy o’g’itlardan bilvosita ko’p foydalanilishi, sug’orish amaliyotining samarasizligi oqibatida yer osti suvlarining sho’rligi va zaharli moddalar bilan ifloslanganligi aniqlandi.

4. Yer osti suvlari pH, Cu^{2+} , F-, Fe^{2+} va ORP ko’rsatkichlari bo’yicha sifatli suv bo’lsada, TDS, Cl^- , SO_4^{2-} , va TH kabi ko’rsatkichlarining REMdan ortishi natijasida ichimlik suvi sifatida foydalanish imkoniyati deyarli 100 % ga cheklangan. Shuningdek, nazorat quduqlari suvi NO_3^- konsentratsiyasi bo’yicha YI, JSST va O’zMSt da belgilangan REMga 100 % mos kelsada, konsentratsiyasining inson organizmiga ta’sir qilishi “o’rtacha xavfli” toifaga mansubligi aniqlandi. Shu bilan birga, bunday suvlar hududning deyarli 94660-84515 ga maydonida shakllanganligi aniqlandi.

5. Yer osti suvlarining qattiqligi va mineralligi O’zMSt va JSST tomonidan belgilangan REMdan ancha yuqori bo’lib, yil davomida ularning deyarli 100 % i “juda qattiq” va “Irrigatsiya maqsadlariga yaroqli” suvlar toifasiga kiradi. Shu bilan birga, suv tarkibida TDSning eng yuqori darajasi asosan bahor va yoz oylarida kuzatilishi o’z isbotini topdi.

6. TDS, NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} va TH kabi ko’rsatkichlarining yuqori miqdori aholi orasida Cholelithiasis va Urolithiasis kabi patologik holat ortishiga olib kelgan.

7. DUA-WQI modeli yer osti suvlarining sifat indeksini aniqlashda samarali va kompleks yondashuvni ta’minlaydi. Ushbu model oldingi WQI modellaridagi kamchiliklarni bartaraf etib, suv sifatining haqiqiy holatini aniq baholash imkoniyatini yaratdi. DUA-WQI modelining veb-kalkulyatorini amaliyotga joriy etish uning samaradorligi va ustunligini yanada oshirib, DUA va DWA modellaridan olingan natijalarga ko’ra, barcha nazorat quduqlari suvining sifat indeksleri ichimlik suvi sifatida foydalanishga yaroqsiz. Ularning eng yuqori darajada ifloslanish holatlari asosan bahor-yoz fasllariga to’g’ri keladi.

8. Yer osti suvlari sifatini kompleks baholash uchun yaratilgan yangi DUA-WQI modeli va uning veb-kalkulyatori, shuningdek, yer osti suvlarini alohida va kompleks baholash usullaridan olingan natijalar GATda tahlil qilinishi orqali ishlab chiqilgan xaritalar Amudaryo tumanida 10-25 m chuqurlikdagi yer osti suvlari sifati haqida haqiqiy xulosalar olishda, mahalliy aholi salomatligini muhofaza qilish, ayniqsa

ajratish (*Urolithiasis*) va hazm tizimi (*Cholelithiasis*) kasalliklarini kamaytirish va oldini olish uchun amaliyotda yer osti suvlari sifatini oshirish chora-tadbirlari, muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanishda eng ishonchli manba sifatida tavsiya etilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/2025.27.12.B.01.15 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
УЗБЕКИСТАНА**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

РАДЖАБОВА НИЛУФАР ДАВЛАТБАЕВНА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ
ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ ГИС (НА ПРИМЕРЕ АМУДАРЬИНСКОГО
РАЙОНА)**

03.00.10 – Экология

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по биологическим наукам**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по биологическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2025.2.PhD/B1510.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного совета (www.nuu.uz) и информационном-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:

Шеримбетов Вафабай Халилulloевич

доктор философии (PhD) по биологическим наукам,
доцент

Официальные оппоненты:

Алимжанова Холисхон Алимжановна

доктор биологических наук, профессор

Рахмонов Икром Абдукаримович

доктор философии (PhD) по биологическим наукам,
доцент

Ведущая организация:

**Ташкентский государственный аграрный
университет**

Защита диссертации состоится «27» февраля 2026 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.B.01.15 при Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, Студенческий городок, ул. Университетская, д 4. Корпус факультета Биологии и экологии Национального университета Узбекистана, 2-й этаж, комната 203. Тел.: +99871 227-15-44).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирована под №15). (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, Студенческий городок, ул. Университетская, д 4., Тел.: +99871 246-67-72).

Автореферат диссертации разослан «13» февраля 2026 года.
(Протокол рассылки № 3 от «13» февраля 2026 года).

Х.С. Эшова

Председатель Научного
совета по присуждению ученых степеней,
д.б.н., профессор

Ж.А. Мирзаев

Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.б.н. (PhD), доцент

З.А. Жаббаров

Председатель Научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.б.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире дефицит чистой питьевой воды относится к числу глобальных экологических и социальных проблем. Согласно докладу Организации Объединенных Наций (ООН) 2022 года “Groundwater: Making the Invisible Visible”, к 2050 году более половины населения мира столкнется с нехваткой чистой питьевой воды. В таких условиях подземные воды, составляющие 99% запасов пресной воды, рассматриваются как важный потенциальный ресурс, ожидаемый в будущем в качестве источника чистой питьевой воды¹. Причина в том, что расположение подземных вод в глубоких слоях и естественная фильтрация обеспечивают им буферную систему против изменения климата. К сожалению, в последние десятилетия из-за неправильного орошения агроценозов, чрезмерного внесения химических удобрений и пестицидов, сброса промышленных отходов² и коллекторно-дренажных вод в открытые водоемы резко снизилось качество подземных вод. Поэтому охрана качества и количества подземных вод, а также решение вопросов обеспечения населения планеты чистой питьевой водой в условиях изменения климата и ограниченности природных ресурсов как с теоретической, так и с практической точки зрения приобретает важное значение.

Во всём мире, в настоящее время многими учёными проводятся масштабные научные исследования по совершенствованию мониторинга природных подземных питьевых вод. Мониторинг подземных вод сложнее, чем надземных, и требует передовых технических и научных подходов³. С этой точки зрения, геоинформационные системы (ГИС) и технологии дистанционного зондирования (ДЗ) широко используются в качестве наиболее эффективных инновационных инструментов⁴. В частности, особое внимание уделяется пространственному моделированию качества воды с помощью интерполяционных методов IDW и Kriging, используемых на платформе ArcGIS, выявлению экологически опасных зон, безопасных источников питьевой воды и территорий с высоким уровнем заболеваний, связанных с качеством питьевой воды.

В Республике уделяется особое внимание вопросам совершенствования системы мониторинга, направленной на оценку состояния подземных вод и их охрану. Особенно в последние годы, благодаря модернизации систем водоснабжения, строительству и реконструкции современных очистных сооружений, а также расширению централизованных сетей питьевого

¹ ЮНЕСКО (2022). Подземные воды: делая невидимое видимым. В: Всемирный доклад Организации Объединённых Наций о водных ресурсах 2022 года. Извлечено с веб-сайта ЮНЕСКО 23 августа 2025 г.: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>

² Президент Республики Узбекистан. О дополнительных мерах по развитию систем водоснабжения и канализации в Республике Узбекистан (Постановление № PQ-4040): <https://lex.uz/docs/-4087011>

³ Джагтап С. (2023). Мониторинг поверхностных и подземных вод: мониторинг воды как ключ к устойчивому управлению водными ресурсами. Доступно по ссылке: <https://www.cognitivemarketresearch.com/articles/surfaced-and-groundwater-monitoring-water-monitoring-a-key-to-sustainable-water-management>

⁴ NASA (2023). Экологические исследования, мониторинг подземных вод. Доступно по ссылке: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/white-sands/environmental-investigations-groundwater-monitoring/>

водоснабжения в сельских районах, уровень охвата населения водоснабжением значительно увеличился. В стратегии развития Республики Узбекистан “Узбекистан - 2030” определены приоритетные задачи, такие как обеспечение населения качественной и безопасной питьевой водой, модернизация инфраструктуры водоснабжения, совершенствование систем распределения и контроля качества воды, а также рациональное и эффективное использование водных ресурсов⁵. Исходя из этих задач, проведение научных исследований, направленных на изучение и оценку состояния подземных питьевых вод, а также совершенствование системы их научного контроля и оценки, имеет большое значение.

Диссертационное исследование частично способствует реализации задач, определённых в следующих нормативных актах: Указ Президента Республики Узбекистан от 30 октября 2019 года № ПФ-5863 “Об утверждении Концепции охраны окружающей среды Республики Узбекистан на период до 2030 года⁶”, Постановление Президента Республики Узбекистан от 7 декабря 2022 года № ПП-439 “О дополнительных мерах по охране и регулированию рационального использования подземных водных ресурсов⁷”, Постановление Президента Республики Узбекистан от 1 апреля 2023 года № ПП-107 “О неотложных мерах по повышению эффективности использования водных ресурсов⁸”, а также других нормативно-правовых актах, регулирующих соответствующую деятельность.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики. “Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды”.

Степень изученности проблемы. В зарубежных странах неоднократно проводились широкомасштабные научные исследования, направленные на экологическую оценку качества подземных вод. В частности, в этих исследованиях изучались токсические свойства подземных вод и их взаимосвязь с различными опасными заболеваниями. В настоящее время исключительно широкое применение находят такие методы как интеграции данных посредством пространственного анализа и картографирования на основе ГИС. В разработку и развитие этих методологий значительный вклад внесли ряд ученых, в том числе R.K. Horton (1965), G.N. Soyer и D.L. McCarthy (1967), R.M. Brown (1972), S.N. Davis и R.J. DeWiest (1966), L. Fewtrell (1996), Pizarro Fernando (1999), P.J. Stuyfzand (1989), N. Choudhury (2022), K.K. Verma (2018), Meenakshi и R.C. Maheshwari (2006), Salman Tavassoli и Farzad Mohammadi (2017), D.D. Patel (2023), M.G. Uddin, S. Nash, A.I. Olbert (2023), T. Hurley, R. Sadiq, A. Mazumder (2012), Alaa Farouk Abukila (2012), Peifang Leng

⁵ Указ Президента Республики Узбекистан, от 11.09.2023 г. № УП-158: <https://lex.uz/ru/docs/6600404>

⁶ Указ Президента Республики Узбекистан, от 30.10.2019 г. № УП-5863: <https://lex.uz/uz/docs/4574010?ONDATE=23.11.2024>

⁷ Постановление Президента Республики Узбекистан, от 07.12.2022 г. № ПП-439: <https://lex.uz/docs/-6311240>

⁸ Постановление Президента Республики Узбекистан, от 01.04.2023 г. № ПП-107: <https://lex.uz/docs/-6420836>

(2019), M. Marselina, F. Wibowo и A. Mushfiroh (2022), N. Kayemah, R. Al-Ruzouq, A. Shanableh и A.G. Yilmaz (2021), D.D. Patel, D.J. Mehta, H.M. Azamathulla, M.M. Shaikh, S. Jha и U. Rathnayake (2023), D.K. Lukhabi, P.K. Mensah, N.K. Asare, T. Pulumuka-Kamanga и K.O. Ouma (2023), M. Kachroud, F. Trolard, M. Kefi, S. Jebari и G. Bourrié (2019), Tayyab M., Aslam R.A., Farooq U., Ali S., Khan S.N., Iqbal M., Saddique N. (2023) и многие другие исследователи.

Учеными стран СНГ проведена обширная работа по классификации подземных вод на основе показателей качества и применению современных гидрохимических и статистических методов при расчете индексов качества воды. Эти исследования отражены в работах А.В. Картошова (2017), У. Жалмагамбетовой, Д. Асанова, А. Нефтиссова, А. Билощцкого и И. Раделюка (2024), Д. Аденовой, С. Тажиева, Ж. Сагина, М. Абсаметова, Ю. Муртазина, Л. Трушеля, О. Мирошниченко и А. Заряба (2023) и других учёных.

Исследования, направленные на изучение качественного состава поверхностных и подземных вод в Узбекистане, их уровня, количественных изменений, мер по охране и эффективному использованию, были проведены Э.И. Чембарисовым (2020), Р.А. Кулматовым (2008), С.А. Адиловым (2021), И. Турдимамбетовым (2021), Н. Комиловой (2021), А. Нуратдиновым (2023), С. Хасановым (2021), Ш. Рахматуллаевым и Ж. Казбековым (2012), Б. Амановым (2023), У. Садиковой (2023), Б. Алихановым и М. Джулиевым (2021), М. Ибрагимовым (2011), Б.П. Болтабоевой (2023), М.А. Якубовым (2011), К. Гаппоровым (2025), М. Хамидовым (2022), Ш.Т. Отабоевым и Т.И. Искандаровым (1994), А. Салохиддиновым (2025) и другими учеными.

Анализ научных исследований, проведенных в этой области, показывает, что по состоянию на сегодняшний день вопросы определения индекса качества подземных вод и оценки возможности применения их как питьевой, а также методы картографирования рассматриваемых показателей на основе ГИС изучены недостаточном объёме.

Исходя из этой концепции, данная диссертационная работа направлена на изучение научных подходов к оценке качества подземных вод, используемых в качестве питьевой воды населением Амударьинского района, расположенного на северо-западе Узбекистана, на юге Республики Каракалпакстанна, а также методов их картирования на основе передовых научно-практических методологий, принятых в мировой практике, современных видов лабораторных анализов, моделей WQI (CCME, DWA и новый DUA) и ГИС технологий.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ кафедры экологии Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека по теме “Исследование биоэкологических свойств флоры и фауны в условиях глобального изменения климата, сохранение биоразнообразия, оценка экологического состояния почвенно-водных ресурсов и разработка научно-практических основ рационального использования природных ресурсов” (2021-2025).

Целью исследования является определение и оценка на основе ГИС индекса качества подземных вод, используемых в качестве питьевой воды на территории Амударьинского района.

Задачи исследования:

изучение состояния подземных вод, используемых в качестве питьевой воды на исследуемой территории, и определение точек наблюдения;

определение показателей качества воды и проведение статистического анализа;

оценка влияния подземных вод, используемых в качестве питьевой воды на территории исследования, на здоровье населения;

разработка электронных карт, характеризующих показатели качества подземных питьевых вод на основе ГИС;

разработка новой модели “Dynamic Unweighted Average Water Quality Index (DUA-WQI)” для комплексной оценки показателей качества подземных вод и создание автоматизированного электронного счётчика (калькулятора);

Объектом исследования являются подземные воды, используемые для питьевого водоснабжения, залегающие на глубине 10-25 м в Амударьинском районе.

Предмет исследования. Физико-химические показатели, определяющие качество подземных вод, используемых как питьевая вода в Амударьинском районе (рН, показатель перманганатной окисляемости - KMnO_4), NO_3^- , общая твердость (ТН), общий сухой остаток (TDS), Cl^- , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , F^- , Cu^{2+}), индексы качества воды (DUA, DWA и CCME), заболевания органов экскреторной (выделительной) и пищеварительной системы населения, динамика изменения показателей качества подземных вод в разрезе сезонов, а также факторы, загрязняющие подземные воды.

Методы исследования. При определении физико-химических показателей, определяющих качество подземных вод исследуемой территории, использовались фотометрические, титриметрические, гравиметрические, спектрофотометрические методы. Качество воды оценивалось комплексными методами на основе моделей DUA, DWA и CCME-WQI применением аппарата аналитической или описательной статистики (среднее, медиана, наименьшее и наибольшее значения), коэффициентов корреляции Пирсона, а также множественной линейной регрессии. При разработке электронных карт, описывающих качество подземных вод на основе ГИС, использован метод геостатистической интерполяции IDW.

Научная новизна исследования:

Впервые разработана модель “Dynamic Unweighted Average Water Quality Index (DUA-WQI)” для оценки качества подземных питьевых вод;

научно обоснован переход от подхода оценки качества подземных питьевых вод на основе отдельных показателей к системе оценки, основанной на интегральном индексе;

доказана связь динамики сезонных изменений показателей качества подземных питьевых вод Амударьинского района с инфильтрацией поверхностных вод и антропогенной нагрузкой;

на основе основных физико-химических показателей подземных питьевых вод, сформировавшихся в исследуемой территории, с использованием моделей DUA-WQI, DWA и CCME определены индексы качества воды и выполнена комплексная оценка степени их пригодности для питьевых целей;

разработаны электронные карты, отражающие показатели качества подземных вод, а также научные основы целевого использования водных ресурсов на основе геоинформационных технологий.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе модели DUA-WQI разработана онлайн-автоматизированная платформа веб-калькулятора для комплексной оценки качества подземных вод, обеспечивающая возможность оперативной оценки качества воды;

с использованием моделей DUA-WQI, DWA и CCME на основе основных физико-химических показателей подземных вод, сформировавшихся на глубине 10-25 м, определены индексы качества и оценена степень их пригодности для питьевых целей;

установлена корреляционная взаимосвязь между высокой минерализацией подземных вод и распространённостью среди населения заболеваний уролитиазом и холелитиазом;

разработаны электронные карты, отражающие показатели качества подземных вод, на основе которых территории, обеспечиваемые питьевыми подземными водами, дифференцированы на экологически опасные и экологически безопасные;

на основе результатов исследования разработаны практические рекомендации по управлению качеством питьевой воды на территории, снижению экологических рисков и рациональному использованию ресурсов подземных вод.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования объясняется тем, что полученные данные были проанализированы на основе ряда современных математических и геостатистических методов, отвечающих мировым стандартам. Полученные результаты и выводы научно обоснованы, опубликованы в авторитетных зарубежных и республиканских научных журналах, признанных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан и результаты внедрены в практику.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследования объясняется тем, что была разработана модель DUA-WQI (Dynamic Unweighted Average Water Quality Index) для оценки качества подземных питьевых вод, создана возможность интегральной, систематической и динамической оценки уровня пригодности для питья на основе физико-химических показателей, показана важность перехода от подхода, основанного на отдельных показателях, к системе оценки, основанной на интегрированном индексе, доказано, что физико-химические показатели подземных вод динамически меняются на отрезках времен года под влиянием климатических условий, инфильтрации наземных вод, загрузок с орошаемых территорий и хозяйственной деятельности, проведена комплексная оценка на

основе моделей DUA-WQI, DWA и CCME, водные источники разделены на опасные и безопасные экологические зоны, а также на этой базе выявлены научные основы мониторинга качества грунтовых питьевых вод, оценки рисков и целевого использования воды.

Практическая значимость результатов исследования объясняется тем, что была создана онлайн-платформа автоматизированного веб-калькулятора комплексной оценки качества подземных вод на основе модели DUA-WQI, определены индексы качества на основе главных физико-химических показателей подземных вод на глубине 10-25 м с использованием моделей DUA-WQI, DWA и CCME, оценен уровень пригодности для питья, выявлена корреляционная связь между появлением мочекаменной и желчнокаменной болезней среди населения, разработаны электронные карты, отражающие качественные показатели подземных вод, а также разработаны практические рекомендации по управлению качеством питьевой воды, снижению экологических рисков и эффективному использованию подземных водных ресурсов.

Внедрение результатов исследования. По результатам диссертационной работы на тему Определение индекса качества подземных вод и их оценка на основе ГИС (на примере Амударьинского района):

новая модель DUA-WQI и ее автоматизированный онлайн-калькулятор, а также цифровые карты, характеризующие качество подземных вод, созданные на основе GAT, были внедрены в практику Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Каракалпакстан (Справка Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Каракалпакстан № 02/18-3279 от 17 сентября 2025 года). В результате, это позволило разработать практические меры, направленные на контроль процессов засоления грунтовых вод, выявление опасных зон с экологической стороны на основе показателей качества и обеспечение экологической безопасности в системе министерства;

результаты, полученные на основе отдельных и комплексных методов оценки качества подземных вод в Амударьинском районе, цифровых карт и динамика индикаторов, представляющих угрозу для здоровья населения и являющихся основой для формирования различных заболеваний, были внедрены в практику Комитета по санитарно-эпидемиологическому благополучию и общественному здоровью при Министерстве здравоохранения Республики Узбекистан (Справка Комитета по санитарно-эпидемиологическому благополучию и общественному здоровью при Министерстве здравоохранения Республики Узбекистан № 02-16/8777 от 10 сентября 2025 г.). В результате это дало возможность обеспечить безопасность питьевой воды, разработать профилактические и плановые меры в районах, не соответствующих гигиеническим нормам, снизить риск сезонного загрязнения качества питьевой воды, а также предотвратить распространение заболеваний через подземные воды.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были опубликованы на 5-ти международных конференциях. Один из них

опубликован в составе материалов конференций, индексируемых авторитетными базами данных SCOPUS и WOS (Web of Science) и др. Также два тезиса были опубликованы на республиканской научно-практической конференции.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, из них 6 статей в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. Из них 1 статья опубликована в журнале, индексируемом в авторитетных базах данных, таких как SCOPUS (Q1), WOS.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 105 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение содержит информацию об актуальности и необходимости исследования, соответствии исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, целях и задачах работы, объекте исследования и его предметах, методах, использованных в исследовании, научной новизне и практических результатах исследования, достоверности результатов, научной и практической значимости, внедрении результатов исследования, апробации и публикации результатов исследования, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации под названием **“Общее экологическое состояние Амударьинского района (обзор литературы и материалов)”** на основе анализа существующей литературы, многолетних отчетов национальных и международных организаций рассмотрены географическое положение, климатические условия, особенности формирования и качества подземных вод, а также вопросы повторного использования коллекторно-дренажных вод и загрязнения водных ресурсов под влиянием сельского хозяйства.

В период с 1991 по 2024 год среднегодовая температура воздуха в Амударьинском районе повысилась на 0,13°C, а среднегодовая температура в летний период - на 0,33°C. В Амударьинском районе орошаемые земли составляют 39515 га, из которых 32506 га - посевные площади. Причем 29,4% посевных площадей не имеют засоления, а 70,6% засолены в различной степени, в т.ч. сильнозасоленные - 2,5%, средnezасоленные - 35% и слабозасоленные - 33,1%. Глубина залегания грунтовых вод находится в пределах 0-2 м, причем наибольшая их часть (29,4 тыс. га) залегает на глубине 1,5-2 м. В невегетационный период глубина залегания грунтовых вод колеблется в среднем в пределах 1,56-3,11 м, а в вегетационный период - в пределах 0,82-3,03 м. Уровень их минерализации находится в пределах 1909-3992 мг/л. В этом районе подземные воды формируются в основном через реку

Амударья. В последнее время повышение минерализации речной воды приводит к снижению качества подземных вод.

При сравнении физико-химических показателей коллекторно-дренажных вод, образующихся в районе, со стандартом Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), средние значения электропроводности (ЕС) составляют $5,56 \pm 0,56$ дСм/м в 2021 году, $5,45 \pm 0,77$ дСм/м в 2022 году и $5,82 \pm 1,36$ дСм/м в 2023 году.

Можно отметить, что эти диапазоны абсолютно не соответствуют требованиям ФАО (0-3 дСм/м). Средние значения Mg^{2+} находятся в диапазоне 9-11 мЭкв/л, что превышает рекомендации ФАО (0-5 мЭкв/л). Среднее значение Na^+ колеблется от 18,37 до 57 мЭкв/л, что практически не соответствует стандарту ФАО (0-40 мЭкв/л). Отношение адсорбции натрия (SAR) к Ca^{2+} и Mg^{2+} в 2021 году составило $3,34 \pm 0,22$, в 2022 году $6,03 \pm 3,01$ и в 2023 году $11,26 \pm 6,17$, что свидетельствует о значительном росте с годами (ФАО: 0-15). Загрязнение подземных вод, сформированных в этой экосистеме, в основном связано с поверхностными водами, загрязнением почвенных ресурсов и неправильными дренажными системами и неблагоприятными климатическими условиями региона, о чем свидетельствуют сильные положительные корреляции между показателями качества грунтовых и подземных вод (таблица 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции поверхностных (грунтовых) и подземных вод (2021-2023)

Индикаторы	TDS_S	NO ₂ ⁻	TH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	TDS_G	F ⁻	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	Cu ²⁺	ПМО	pH
TDS_S	1											
NO ₂ ⁻	-0,64	1										
TH	1,00	-0,64	1									
Cl ⁻	0,94	-0,87	0,94	1								
SO ₄ ²⁻	0,91	-0,27	0,91	0,72	1							
TDS_G	0,75	-0,99	0,75	0,93	0,41	1						
F ⁻	-0,60	-0,23	-0,60	-0,29	-0,87	0,09	1					
Fe ²⁺	0,80	-0,05	0,8	0,54	0,98	0,20	-0,96	1				
NO ₃ ⁻	0,99	-0,73	0,99	0,97	0,86	0,82	-0,50	0,72	1			
Cu ²⁺	0,96	-0,84	0,96	0,99	0,75	0,91	-0,34	0,59	0,98	1		
ПМО	0,17	-0,86	0,17	0,50	-0,25	0,78	0,69	-0,46	0,28	0,45	1	
pH	0,14	0,67	0,14	-0,21	0,54	-0,55	-0,88	0,71	0,02	-0,15	-0,95	1

Примечание: TDS_S - суммарная минерализация грунтовых вод, ORP-перманганатный окислительно-восстановительный потенциал, TDS_G - суммарный сухой остаток подземных вод.

Во второй главе диссертации под названием **“Объект и методы исследования”** рассмотрены порядок отбора проб воды из двенадцати скважин, указанных в исследовании, в соответствии с государственным стандартом (ГОСТ), консервация проб воды и методы определения содержания в воде десяти показателей качества, указанных для исследования, в лабораторных условиях. Территории расположения контрольных скважин (ССГ/СГС) и их географические координаты приведены в таблице 2 ниже.

Также в данной главе анализируется резкое повышение точности данных на основе совместного использования геостатистических методов “интерполяция IDW”, “Reclassify” и “Raster to Polygon”, алгоритмы

отображения результатов на высококачественных картах и упрощается процесс анализа. Такие подходы с помощью программ ГИС могут служить важными инструментами при исследовании подземных вод с экологической, биологической и медицинской точек зрения (см. Рис. 2).

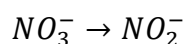
Таблица 2

Географические координаты мониторинговых скважин, определённые с помощью GPS

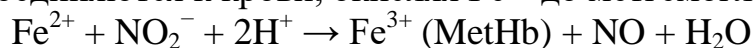
Регион (СГМ/СГМ)	Номер скважины	Северная широта (°)	Восточная долгота (°)
СГМ Бустон	C1	42°06'52.0"N	60°03'17.5"E
СГА Чай куль	C2	42°10'12.0"N	60°05'10.7"E
СГМ Айбек	C3	42°07'40.1"N	60°03'03.7"E
СГА Куюк куприк	C4	42°00'41.5"N	60°12'07.5"E
СГА Беш том	C5	42°13'42.3"N	60°07'45.2"E
СГА Китай	C6	41°59'35.1"N	60°11'32.3"E
СГА Тулкун	C7	42°10'19.2"N	60°07'17.7"E
СГТ Кипчак	C8	42°13'11.4"N	60°06'07.2"E
СГМ Беруний	C9	42°06'58.3"N	60°04'05.0"E
СГМ Амир Темур	S10	42°08'27.7"N	60°00'57.6"E
СГА Арна бўйи	S11	42°04'59.6"N	60°07'21.4"E
СГМ Алмазар	S12	42°07'23.4"N	60°04'48.1"E

В третьей главе диссертации под названием **“Определение и оценка показателей качества подземных вод”** контрольные скважины оценивались на основе десяти показателей качества с помощью методов классификации и их систематизации (гибридный метод), разработанных различными международно признанными организациями и учёными по всему миру, а полученные результаты были отображены с помощью метода интерполяции IDW в программе ГИС. Ниже кратко изложены теории, использованные при исследовании подземных вод и некоторые результаты, полученные в результате их применения к объекту исследования:

1. Употребление воды с высоким содержанием анионов NO_3^- и NO_2^- приводит к “Methemoglobinemia” (MetHb). Этот синдром чаще встречается у младенцев. В механизме его появления анионы NO_3^- первыми попадают в организм вместе с водой и микроорганизмы кишечника (Enterobacteriaceae, Bacteroides, Lactobacillus) превращают анионы NO_3^- в анионы NO_2^- .



NO_2^- анионы присоединяются к крови, окисляя Fe^{2+} до метгемоглобина - Fe^{3+} .



Анионы NO_2^- замедляют функцию доставки крови ко всем тканевым клеткам, что приводит к гипоксии. Постоянное употребление воды, содержащей нитрат-анионы, приводит к появлению в организме раковых клеток, нарушению сердечного ритма и центральной нервной системы (ЦНС)⁹. По рекомендациям Европейского Союза и ВОЗ NO_3^- не должен превышать 50

⁹ Ward, M. H., Jones, R. R., Brender, J. D., De Kok, T. M., Weyer, P. J., Nolan, B. T., ... & Van Breda, S. G. (2018). Drinking water nitrate and human health: an updated review. International journal of environmental research and public health, 15(7), 1557.

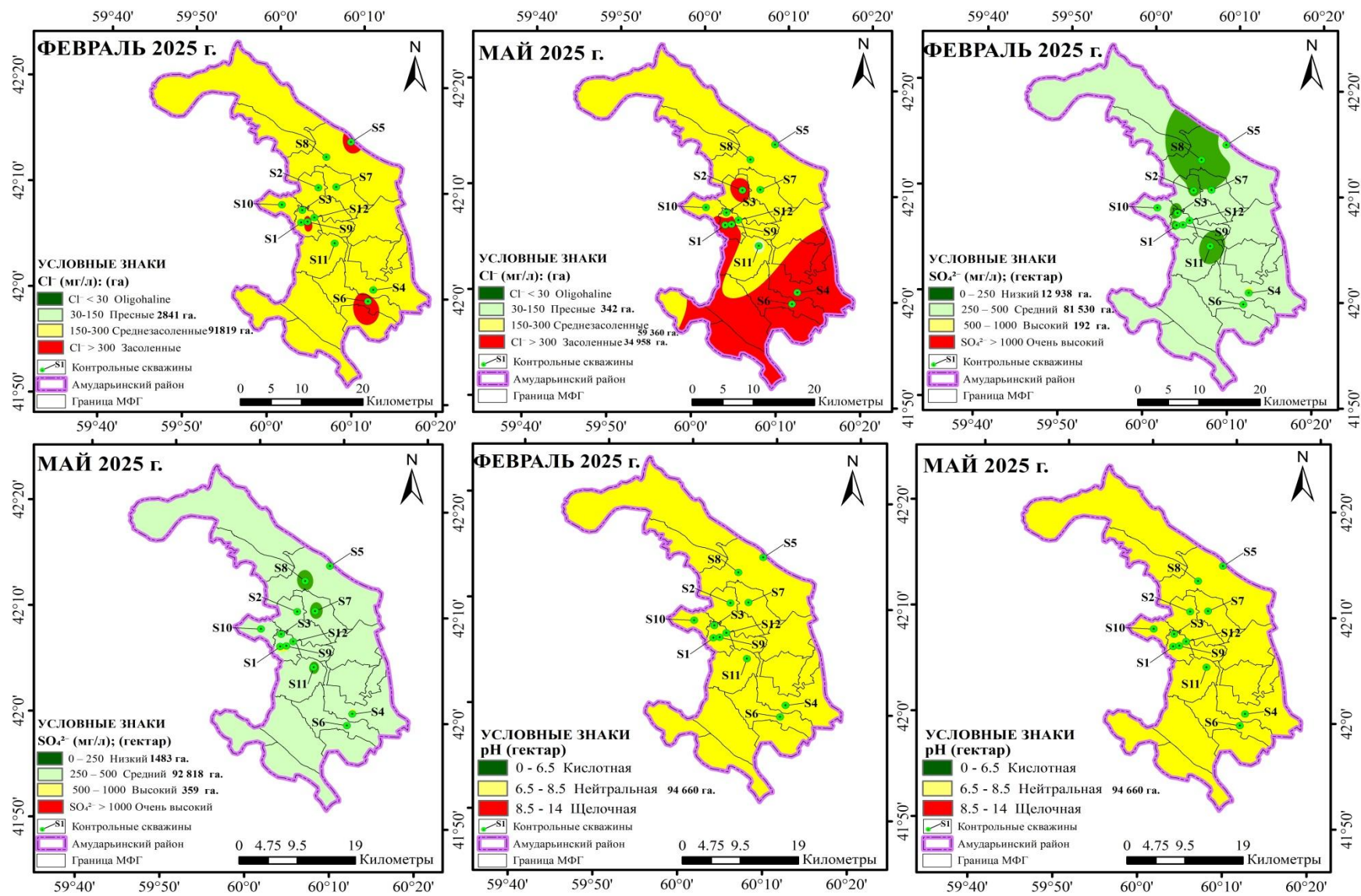


Рис.1. Оценка качества подземных вод в ГИС на основе показателей Cl^- и SO_4^{2-} .

мг/л на 1 л воды. Самая высокая ПДК по ГОСТ составляет 45 мг/л. Было установлено, что параметры воды во всех контрольных скважинах, выбранных для исследования, соответствуют требованиям международных и национальных стандартов.

Для определения уровня токсичности воды контрольных скважин на научной основе и получения выводов о подземных водах, сформированных на глубине 10-25 м в районе, диапазоны, рекомендованные ВОЗ и Агентством США по охране окружающей среды (EPA), были интегрированы в гибридный метод, состоящий из четырех категорий. При этом, при $10 > \text{NO}_3^-$ мг/л можно разделить на категории “безопасно”, при интервале 10-20 мг/л “средне опасный”, при интервале 20-50 мг/л “опасный”, при $\text{NO}_3^- < 50$ мг/л “очень опасный”. При применении данного метода к анализу подземных вод было установлено, что практически все образцы относятся к категории “средней опасности”, и этот тип воды занимает почти 94660-84515 га района, что было определено с помощью функций ArcToolbox (Geometry Properties). Согласно результатам сезонного анализа, наибольшее количество NO_3^- обычно наблюдалось летом. В частности, во 2-ой скважине 15,7 мг/л, в 6-ой скважине 14,6 мг/л, а в 1-ой скважине 13,6 мг/л. Также в 7-й и 8-й скважинах в летние месяцы достигает 13,5 мг/л. Это, возможно, связано с широким использованием азотных удобрений в сельском хозяйстве. Наименьшие концентрации NO_3^- наблюдаются в зимний период и составляют 9,2 мг/л в скважине 11, 8,7 мг/л в скважине 5 и 9,9 мг/л в скважинах 1 и 9. Это может быть связано с недостаточной сельскохозяйственной деятельностью в этот период.

2. Жёсткость воды в двенадцати контрольных скважинах колеблется от 8 экв/л до 25 экв/л, со средним значением 10 экв/л. По сравнению со стандартом ВОЗ только 40% проб воды не превышают установленных максимальных диапазонов. Согласно стандарту ВОЗ, вода со значением ТН выше 500 мг/л (10 экв/л) считается непригодной. Согласно ГОСТ¹⁰, она не должна превышать 7 экв/л. Однако для Республики Каракалпакстан и Хорезмской области это значение рассматривается как максимальная ПДК в 10 экв/л. 90% воды в исследуемом районе относится к категории жёсткой или очень жёсткой, что резко снижает качество воды.

Методика, разработанная Сойером и Маккарти в 1967 году, была использована для классификации образцов воды на основе ТН. В этом методе, исходя из количества ТН, вода классифицируется на четыре категории: воды ниже 75 мг/л “мягкие”, воды в диапазоне 75-150 мг/л “средней твёрдости”, 150-300 мг/л “твёрдые” и воды выше 300 мг/л “очень твёрдые”. Применение данной методики к объекту исследования показало, что в 2023 году уровень жёсткости проб воды существенно различается как по территории, так и по сезонам. 1-я скважина отличается высокими значениями ТН во все сезоны: зимой и весной отмечено 665 мг/л, летом 610 мг/л, а осенью 500 мг/л. Самая высокая жёсткость наблюдалась в 9-ой скважине, которая осенью достигает 1845 мг/л. В скважине 2 зимой отмечено 1325 мг/л, в скважине 4 осенью 1050 мг/л, в скважине 6

¹⁰ Питьевая вода. Гигиенические требования и контроль качества (O'zMSt 133:2024).

осенью 900 мг/л, которые также относятся к категории высокой твёрдости. Минимальные значения отмечены в 5-й и 8-й скважинах и составляют 465 мг/л и 465 мг/л соответственно зимой и около 480 мг/л и 580 мг/л летом. Однако и в этих скважинах в отдельные сезоны степень жёсткости резко возрастала и достигала 800 мг/л. В зимний период показатели жёсткости во многих скважинах высокие и превышают 800 мг/л во 2-й, 4-й, 6-й, 9-й и 11-й скважинах. Из этого видно, что существует сильная корреляция между резким увеличением значений ТН и климатическими условиями с высокой влажностью. Однако, хотя весной значения относительно снизились, во 2-ой скважине сохраняется стабильное состояние 975 мг/л. Если летом показатели жёсткости в большинстве скважин снижаются, то осенью в некоторых точках, в частности в 9-й скважине, жёсткость резко возрастает и достигает максимальных значений. Согласно результатам, полученным при применении методики Сойера и Маккарти по классификации подземных вод на основе значений ТН, воды всех контрольных скважин относятся к категории “очень жёсткие” воды, и подземные воды этой категории занимают почти 94660 га территории.

3. Содержание TDS в течение 2023-2025 годов практически во всех пробах воды было выше 1000 мг/л и находилось в диапазоне 2300 мг/л, и было установлено, что практически все пробы воды не соответствовали требованиям ВОЗ и ГОСТ. При анализе воды из скважин в разрезе сезонов практически во все сезоны (зимой, весной, летом и осенью) TDS значительно увеличивается. Зимой она колеблется от 730 мг/л до 1910 мг/л. Обычно в этом сезоне наибольшее значение TDS наблюдалось во 2-й скважине, а наименьшее значение - в 8-й скважине. Весной значения TDS значительно возрастают и варьируются от 1270 мг/л до 2370 мг/л. В этом сезоне наибольшая концентрация наблюдалась во 2-й скважине, а наименьшая - в 8-й скважине. Также в летний период уровни TDS аналогичны весеннему периоду, при этом максимальное значение достигает 1820,3 мг/л. Осенью диапазоны TDS варьировали от 730 мг/л до 1910 мг/л, причем самый низкий показатель наблюдался в скважине 3, а самый высокий - в скважине 9.

При исследовании подземных вод по методике, разработанной американскими учеными S.N. Davis и R.J. DeWiest, было установлено, что почти 95% подземных вод относятся к категории “пригодных для ирригационных целей” При анализе этих результатов методом интерполяции в ГИС было установлено, что примерно 94660 га территории в основном заняты типами вод, соответствующими ирригационным водам.

4. В параграфе диссертации, озаглавленном “Негативное влияние высокоминерализованных (засоленных) подземных вод на функцию почек и пищеварительную систему”, проанализированы корреляции между засоленностью грунтовых вод в Амударьинском районе и доминирующими заболеваниями среди населения. Существует сильная положительная корреляция между солёностью и жёсткостью воды, в основном, с заболеваниями мочекаменной системы (*Urolithiasis*) и заболеваниями пищеварительной системы желчнокаменной (*Cholelithiasis*), а также между

желчнокаменной и мочекаменной болезнями и такими показателями, как общая жёсткость (ТН) ($r=0,34-0,96$), Cl^- ($r=0,65-1$), общий сухой остаток или минерализация (TDS) ($r=0,88-0,9$).

Кроме того, была выявлена сильная положительная корреляция между такими показателями, как NO_3^- ($r=0,45-0,99$), Cu^{2+} ($r=0,61-1$), SO_4^{2-} ($r=-0,07;0,76$), что подтверждает прямую связь между высокой минерализацией подземной питьевой воды и резким ростом случаев уролитиаза и холелитиаза среди местного населения (таблицу 3).

Таблица 3

Корреляция высокой минерализации подземных вод с желчнокаменной и мочекаменной болезнями

Переменные	ТН	Cl^-	SO_4^{2-}	TDS	NO_3^-	Cu^{2+}	<i>Cholelithiasis</i>	<i>Urolithiasis</i>
ТН	1							
Cl^-	0,94	1						
SO_4^{2-}	0,91	0,72	1					
TDS	0,75	0,93	0,41	1				
NO_3^-	0,99	0,97	0,86	0,82	1			
Cu^{2+}	0,96	1,00	0,75	0,91	0,98	1		
<i>Cholelithiasis</i>	0,34	0,65	-0,07	0,88	0,45	0,61	1	
<i>Urolithiasis</i>	0,96	1,00	0,76	0,90	0,99	1,00	0,59	1

В четвертой главе диссертации под названием “Комплексная оценка и картирование индексов качества подземных вод на основе моделей DUA-WQI, DWA и CCME” при расчете индексов качества проб воды, взятых из контрольных скважин, была использована модель весового арифметического индекса качества воды (WA-WQI), основанная на рекомендациях, рекомендованных N.Кауеман и др. Однако стало ясно, что модель WA-WQI рассматривает состояние воды с относительно лучшим качеством как низкокачественную. Поэтому для выбора веса (w_i) мы предлагаем не фиксированный метод, как в модели WA-WQI, а динамический весовой арифметический индекс качества воды (DWA-WQI), параметр которого изменяется в зависимости от результатов тестирования. При этом мы вычисляем w_i следующим образом:

Шаг 1. Расчёт степени значимости (K_i).

$$K_i = \frac{v_i}{S_i} \quad (1)$$

где: S_i – i - верхний (или нижний) стандартный предел для параметра; V_i – значение, полученное по результатам теста по i индикатору.

Шаг 2. Расчёт веса (w_i).

$$w_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (2)$$

Шаг 3. Рассчитать значение нормированного параметра (Q_i):

$$Q_i = \frac{v_i}{S_i} \times 100 \quad (3)$$

Расчёт динамического взвешенного арифметического индекса качества воды (DWA-WQI).

Однако, несмотря на небольшие изменения в этой модели WA-WQI, она оставалась очень традиционной. В результате это в определенной степени ограничило возможность делать реальные выводы о подземных водах.

Учитывая эти обстоятельства, мы предлагаем новую модель Dynamic Unweighted Average Water Quality Index (DUA-WQI). Механизм работы этой модели включает четыре шага:

Шаг 1. Получение значений параметров. Значения обозначаются как x_i .

Например, pH=7,9, ПМО=7, $\text{NO}_3^- = 12,4$ и так далее.

Шаг 2. Получение суб-индекса параметров:

$$SI_i = \min \left(1, \frac{|x_i - x(st)_i|}{|x(up)_i - x(st)_i|} \right) \quad (4)$$

где: SI_i – Субиндекс; $x(st)_i$ – идеальное значение для параметра; $x(up)_i$ – верхний предел для каждого параметра

Шаг 3. Установка веса для параметров:

$$w_i = \frac{e^{SI_{i-1}}}{\sum_{k=1}^n e^{SI_{k-1}}} \quad (5)$$

где: w – Вес для параметра; e – Экспоненциальный или натуральный логарифм (это математическая константа, значение которой приблизительно равно 2,71828).

Шаг 4. Расчёт среднего индекса качества воды без динамического веса (DUA-WQI):

$$DUA - WQI = 100 - \sum_{i=1}^n w_i SI_i 100 \quad (6)$$

При этом: DUA-WQI-итоговый индекс, рассчитанный для оценки качества воды, который имеет значение от 0 до 100. При этом 100 означает самое высокое качество воды, а 0 - самое низкое качество. В этом методе конечный результат оценивается по 100-балльной системе для разделения на категории, как и в большинстве моделей WQI. При этом диапазоны выражаются в % и делятся на четыре категории. В частности, диапазон 81-100 разделён на категории “хорошо”, 51-80 “средне”, 30-50 “удовлетворительно”, а диапазон 0-29 “непригодный к использованию”. Модель DUA-WQI по сравнению с другими моделями может быть оценена как хороший метод с уникальностью и преимуществами 80-90% при расчёте качества воды. При этом основными преимуществами являются возможность взвешивания на основе оптимальности параметров, лучшее отражение фактического состояния параметров и возможность совместной оценки многих параметров. Его также можно оценить как плохой метод на уровне 10-20%. Потому что реализация этой модели может потребовать больше времени и ресурсов. Если процесс расчета очень сложный или неопределённость параметров высокая, эта модель может быть малоэффективной. С учетом этих недостатков была разработана онлайн-калькуляторная версия модели DUA-WQI. Этот калькулятор для расчёта индекса качества воды работает на узбекском и английском языках¹⁰. Этот калькулятор в основном основан на национальных и международных нормативных и научных материалах, в котором оптимальные диапазоны десяти

¹⁰ Water Quality Index Calculator: <https://dua-wqi.pages.dev/>

индикаторов основаны на стандартах ВОЗ и результатах последних научных публикаций.

Данная модель DUA-WQI рассчитывает качество воды по десяти индикаторам. Можно использовать модель DUA-WQI, даже если количество этих индикаторов меньше или больше. Дело в том, что в механизме работы данной модели количество физико-химических и микробиологических показателей, определяющих качество воды, не ограничено.

Анализ индексов качества подземных вод: В общей сложности для оценки качества воды в двенадцати контрольных скважинах были использованы модели CCME-WQI, DWA-WQI, DUA-WQI, и наблюдались значительные различия в механизме работы и преимуществах этих моделей. В годовых интегрированных результатах CCME-WQI качество воды зарегистрировано в основном в диапазоне 65-87 и в 70% случаев показало категории *“среднее-хорошее”*. DWA-WQI оценил воду в весенне-летний период с индексами 100-170 как *“очень неудовлетворительная”* или *“непригодная к использованию”*. В результате качество подземных вод резко ухудшилось на 30-50% по сравнению с CCME. В DUA-WQI весной-летом отмечались показатели *“неудовлетворительно”* (20-40 баллов), а осенью-зимой – *“удовлетворительно”* (30-40 баллов), сезонная изменчивость отражалась на 25-35% более высокой чувствительности. Это не критика механизма работы конкретной модели, потому что у каждой модели есть свой период применения. При этом, CCME-WQI - удобно для годовой общей оценки, стабильно отражает качество воды на уровне *“средний-хороший”*. Не чувствителен к сезонным колебаниям, но достоверно показывает интегрированное годовое состояние. DWA-WQI-почти на 40-50% чувствительнее к резким сезонным различиям в качестве воды, особенно при доказательстве непригодности весной, летом и осенью. В модели DUA-WQI результаты регистрируют категории *“неудовлетворительно-удовлетворительно”*, что обеспечивает на 25-30% большую точность в сезонном мониторинге. Мы видим, что модель DUA-WQI имеет более чувствительный, удобный и лучший механизм работы по сравнению с результатами CCME и DWA. Однако модель CCME надежна для оценки общей тенденции, но сезонная чувствительность низкая. Модель DWA-WQI наиболее подходит для выявления экстремальных сезонных ухудшений, но иногда склонна к чрезмерно резкой оценке. Модель DUA-WQI является *“сбалансированной”* моделью между CCME и DWA, которая более реалистично отражает сезонные различия. В среднем, сезонная чувствительность моделей DWA и DUA на 30-40% выше, чем у CCME, поэтому они более эффективны в весенне-летнем мониторинге, а CCME подходит для годовой общей оценки.

В целом, индексы качества подземных вод изменяются в худшую категорию в основном в весенний и летний сезоны, что также влияет на годовое и среднее состояние (Рис. 2).

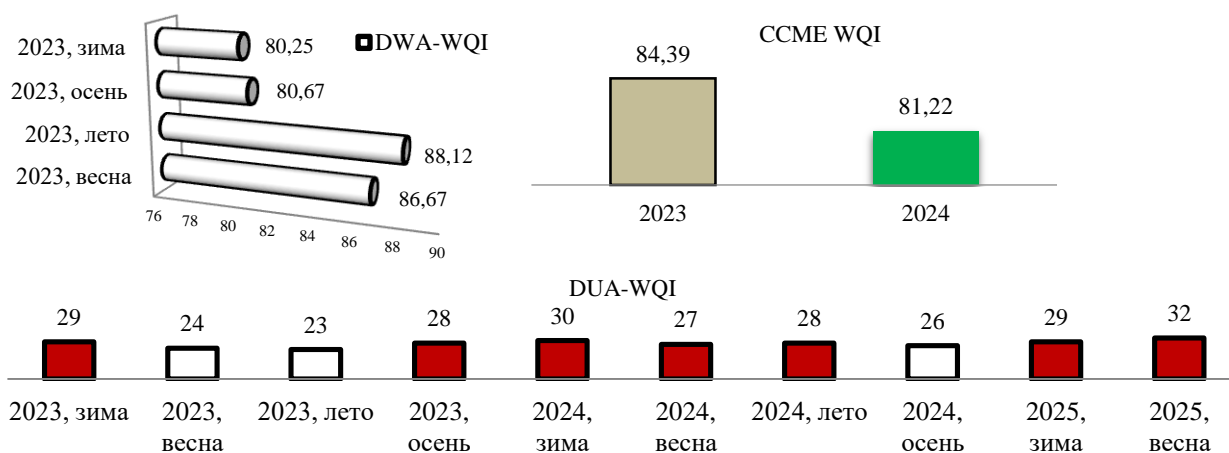


Рис.2. Динамика изменения индексов качества подземных вод в разрезе сезонов

ВЫВОДЫ

На основе проведённых исследований по диссертационной работе на тему «Определение индекса качества подземных вод и их оценка на основе ГИС (на примере Амударьинского района)» представлены следующие выводы:

1. За последние 34 года в результате глобальных климатических изменений в Амударьинском районе среднегодовая температура воздуха повысилась на $0,13^{\circ}\text{C}$, при этом за данный период среднегодовой уровень грунтовых вод снизился на 31,28 см. Согласно прогнозу, полученному на основе математической модели линейной регрессии, к 2050 году ожидается дополнительное повышение среднегодовой температуры воздуха на $0,10^{\circ}\text{C}$, что приведёт к дальнейшему снижению среднегодового уровня грунтовых вод ещё на 24 см.

2. Установлено, что 70,6 % из 39 515 га орошаемых земель района в различной степени засолены; уровень грунтовых вод залегает на глубине 0-2 м, а минерализация грунтовых вод составляет 1909-3992 мг/л, что способствует развитию вторичного засоления почв и ухудшению качества подземных вод.

3. Выявлено, что поступление в район вод реки Амударьи с возрастающим уровнем загрязнения, недостаточное выполнение мероприятий по «промывке засоленных почв», косвенно избыточное использование химических удобрений с целью повышения продуктивности агроценозов, а также неэффективность оросительной практики приводят к повышению засоленности подземных вод и их загрязнению токсичными веществами.

4. Хотя грунтовые воды являются качественными по показателям pH, Cu^{2+} , F-, Fe^{2+} и перманганатная окисляемость (по KMnO_4), их использование в качестве питьевой воды ограничено почти 100% из-за повышения содержания TDS, Cl^- , SO_4^{2-} и ТН выше ПДК. Также было выявлено, что хотя вода из контрольных скважин соответствует ПДК, установленному ЕС, ВОЗ и Государственным стандартом Узбекистана, на 100% по концентрации NO_3^- , воздействие ее концентрации на организм человека относится к категории «умеренно опасных». Вместе с этим было обнаружено, что такие воды образовались на площади почти 94 660–84 515 гектаров территории.

5. Жесткость и минеральность грунтовых вод значительно выше, чем установленные УзМСТ и ВОЗ нормы ПДК, и почти 100% из них круглый год относятся к категории «очень жесткая» и «пригодная для орошения». Вместе с этим было доказано, что самый высокий уровень общего содержания растворенных твердых веществ (TDS) в составе воды наблюдается преимущественно в весенние и летние месяцы.

6. Высокие концентрации показателей TDS, NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} и ТН способствуют росту среди населения патологических состояний, таких как холелитиаз и уролитиаз.

7. Модель DUA-WQI обеспечивает эффективный и комплексный подход к определению индекса качества подземных вод. Данная модель устраняет недостатки ранее применявшихся WQI-моделей и позволяет более точно оценивать фактическое состояние качества воды. Внедрение веб-калькулятора модели DUA-WQI в практику повысило её эффективность и наглядность; согласно результатам, полученным с использованием моделей DUA и DWA, качество воды во всех контрольных скважинах признано непригодным для питьевого водоснабжения, при этом максимальные уровни загрязнения преимущественно приходятся на весенне-летний период.

8. Новая модель DUA-WQI для комплексной оценки качества подземных вод и её веб-калькулятор, а также карты, созданные на основе анализа результатов индивидуальной и комплексной оценки подземных вод в среде ГИС, были рекомендованы как наиболее надёжный источник для получения объективных выводов о качестве подземных вод на глубине 10-25 м в Амударьинском районе. Полученные результаты позволили определить возможности эффективного применения этих инструментов на практике для охраны здоровья местного населения, в частности для снижения и профилактики заболеваний мочевыделительной системы (уролитиаз) и пищеварительной системы (холелитиаз). Кроме того, они обеспечивают основу для разработки мероприятий по улучшению качества подземных вод, их охране и рациональному использованию.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/2025.27.12.B.01.15 AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

RAJABOVA NILUFAR DAVLATBOY KIZI

**DETERMINATION OF THE QUALITY INDEX OF GROUNDWATER AND
ITS ASSESSMENT BASED ON GIS (A CASE STUDY OF THE AMUDARYA
DISTRICT)**

03.00.10-Ecology

**DISSERTATION ABSTRACT
of the doctor of philosophy (PhD) of biological sciences**

Tashkent – 2026

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) on Biological Sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under No. B2025.2.PhD/B1510.

The dissertation was carried out at the National University of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, and English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.nuu.uz) and at the Information and educational portal “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Sherimbetov Vafabay Khalilullaevich**
PhD in Biological Sciences, associate professor

Official opponents: **Alimjanova Kholisxon Alimjanovna**
Doctor of Biological Sciences, professor
Rakhmonov Ikrom Abdukarimovich
PhD in Biological Sciences, associate professor

Leading organization: **Tashkent State Agrarian University**

The defense of the dissertation will be held at “10⁰⁰” on “27” february 2025 year at the scientific council meeting No. DSc.03/2025.27.12.B.01.15 at the National University of Uzbekistan (at the address: 100174, Tashkent city, Almazar district, Student’s town, University st., 4, Building of the Faculty of Ecology at the National University of Uzbekistan, 2nd floor. Room 203. Phone: +99871-227-15-44).

The dissertation is available at the Information Resource Center of the National University of Uzbekistan (registration number 15). (at the address: 100174, Tashkent city, Almazar district, Student’s town, University st., 4, Phone: +99871-246-67-72).

The abstract from the thesis is distributed “13” february 2026.
(Protocol at the register No. 3 on february “13” 2026).

Kh.S. Eshova
Chairwoman of the Scientific Council
for the awarding of the scientific degree,
Doctor of Biological Sciences, professor.

J.A. Mirzaev
Scientific Secretary of the Scientific
Council for the awarding of the scientific degree,
PhD in Biological Sciences,
associate professor.

Z.A. Jabbarov
Chairman of the Scientific Seminar under the
Scientific Council for the awarding of the
scientific degree, Doctor of Biological
Sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to determine the quality index of groundwater used as drinking water in the territory of the Amudarya district and to assess it based on GIS.

The object of the research was groundwater used as drinking water formed at a depth of 10-25 m in the Amudarya district.

Scientific novelty of the research:

for the first time, the “Dynamic Unweighted Average Water Quality Index (DUA-WQI)” model was developed to assess the quality of groundwater for drinking purposes;

the transition from an approach based on individual indicators to a system based on an integral index for evaluating groundwater quality has been scientifically substantiated;

the seasonal dynamics of groundwater quality indicators in the Amudarya district, as well as their relationship with surface water infiltration and anthropogenic loads, have been scientifically proven;

based on the main physicochemical parameters of groundwater in the study area, water quality indices were determined using the DUA-WQI, DWA, and CCME models, and the suitability for drinking purposes was comprehensively assessed;

electronic maps reflecting groundwater quality indicators and the scientific foundations for targeted water use were developed based on geoinformation (GIS) technologies.

The implementation of research results. Based on the results of the dissertation work on the topic “Determination of the quality index of groundwater and its assessment based on GIS (A Case Study of the Amudarya District)”:

the new DUA-WQI model, its automated online calculator, and digital maps describing groundwater quality created using GIS have been practically implemented in the Ministry of Ecology, Environmental Protection, and Climate Change of the Republic of Karakalpakstan (Reference No. 02/18-3279 of the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Karakalpakstan dated September 17, 2025). As a result, this enabled the ministry to monitor groundwater salinization processes, identify environmentally hazardous zones based on quality indicators, and develop practical measures aimed at ensuring ecological safety;

the results obtained from individual and integrated assessment methods of groundwater quality in the Amudarya District, the digital maps, and the dynamics of indicators posing health risks or contributing to the development of various diseases have been implemented at the Committee of Sanitary-Epidemiological Wellbeing and Public Health under the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan (Reference No. 02-16/8777 of the Committee of Sanitary-Epidemiological Wellbeing and Public Health under the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan dated September 10, 2025). This has enabled the assurance of drinking water safety, the development of preventive and planned measures in areas not meeting hygiene standards, the reduction of the risk of seasonal drinking water contamination, and the prevention of

disease spread through groundwater.

The Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 105 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-bo'lim (I часть; I part)

1. Rajabova N.D., Sherimbetov, V.Kh. Ecological condition of groundwater-dependent ecosystems and benefits of bioremediation analysis // Xorazm Ma'mun akademiyasi axborotnomasi. – Xiva, 2023. - №12 (1). – B. 49-51. (03.00.00; №12).
2. Rajabova N.D., Sherimbetov V.Kh. Assessment of groundwater quality by nitrate anions. // International Journal of Virology and Molecular Biology. – USA, 2024. №13(6), - P. 102-104. (03.00.00; №12).
3. Rajabova N.D., Sherimbetov V.X. Yer osti suvlarining sifati va ulardan oqilona foydalanishni tartibga soluvchi me'yoriy hujjatlar tahlili // O'zbekiston agrar fani xabarnomasi. – Toshkent, 2024. - №5 (17). - B. 133-136. (03.00.00; №8).
4. Rajabova N.D. Assessment of groundwater quality: historical and fundamental approaches // O'zbekiston agrar fani xabarnomasi. – Toshkent, 2025. №1 (19). - B. 188-191. (03.00.00; №8).
5. Rajabova N.D. Assessment of groundwater quality based on copper ion concentration // Xorazm Ma'mun akademiyasi axborotnomasi. – Xiva, 2025. №2 (1). – B. 51-56. (03.00.00; №12).
6. Rajabova N.D, Sherimbetov V.Kh. Monitoring and assessment of tap water and groundwater quality by total dissolved solids (TDS) ranges // O'zbekiston agrar fani xabarnomasi. – Toshkent, 2025. №1 (19), - B. 183-187. (03.00.00; №8).
7. Rajabova N.D., Sherimbetov V.Kh., Sadiq R., Farouk Aboukila A. An Assessment of Collector-Drainage Water and Groundwater - An Application of CCME WQI Model. // Journal: Water. – Switzerland, 2025. №17(15), 2191. <https://doi.org/10.3390/w17152191> (03.00.00; Scopus Q1).
8. Rajabova N.D., Sherimbetov V.Kh. Evaluation of groundwater quality using WQI models and its application to plants vulnerable to ecological stress. // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – Russian Federation, 2025. №21(3), - P. 23-35. (03.00.00; №15).

II-bo'lim (II часть; part II)

9. Rajabova N.D., Sherimbetov V. Kh. Assessment of general melted solids quantities of groundwater on a basis of the World Health Organization (WHO) standard for total dissolved solids (TDS) // Журнал: Актуальные проблемы современной науки. – Москва, 2023. №4 (133). – С. 29-35.
10. Rajabova N.D., Sherimbetov V. Kh. Assessment of groundwater on a basis of analysis of correlation matrices. // Periodica journal of modern philosophy, social sciences and humanities. – Poland, 2023. №18, - P. 17-20.
11. Rajabova, N.D., Sherimbetov V.Kh. Evaluation of groundwater on a basis of pH values & analysis of correlation coefficients. / In Formation of Psychology and Pedagogy as Interdisciplinary Sciences. – Italy, 2023. 2(17), - P. 31-34.

12. Rajabova N.D., Sherimbetov V. Kh. Assessment of groundwater on a basis of analysis of the correlation matrices. / Scientific Approach to the Modern Education System. – France, 2023. 2(16), - P.16-19.

13. Rajabova N.D. Water quality assessment: historical and contemporary approaches / Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2024. - С. 766-769.

14. Rajabova N.D., Sherimbetov V.Kh. The influence of TDS levels in groundwater and village water supply on human health. /Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: материалы XIX Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2024. - С. 769-773.

15. Rajabova N.D. Iqlim o'zgarishi sharoitida yer osti ichimlik suvlarining ahamiyati. / Atrof-muhit muammolarini hal qilishda tabiatga asoslangan yechimlar: Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to'plami. – Toshkent, 2024. - B. 93-97.

16. Rajabova N.D., Aboukila A.F., Toshev S., Obasuyi G.E. Appraisal of groundwater status applying the CCME WQI model. / E3S Web of Conferences. – India, 2025. 648, 02001. (Scopus).

17. Rajabova N.D., Sherimbetov V.Kh. Influence of natural and anthropogenic stressors on the dynamics of groundwater quality in the context of climate change. / “Global iqlim o'zgarishi sharoitida bog'dorchilikni rivojlantirishning barqaror innovatsion texnologiyalari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. - Toshkent, 2025. - B. 78-79.

Avtoreferat «O‘zMU xabarlari» jurnali tahririyatida
tahrirdan o‘tkazildi.