

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.41/30.04.2021.Т.131.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ**

УСТЕМИРОВ ШОХРУХ РУСТАМ ЎҒЛИ

**СУВ ОМБОРЛАРИ СУВ БАЛАНСНИ ГИДРАВЛИК
ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ
(ҚОРАСУВ СУВ ОМБОРИ МИСОЛИДА)**

05.09.07-Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2025

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

Contents of the Doctoral (PhD) Dissertation Abstract

Устемиров Шохрух Рустам ўғли

Сув омборлари сув балансини гидравлик ҳисоблаш усулларини
такомиллаштириш (Қорасув сув омбори мисолида)..... 3

Устемиров Шохрух Рустам угли

Совершенствование гидравлических методов расчета водного
баланса водохранилищ (на примере Карасувского
водохранилища)..... 19

Ustemirov Shokhrukh Rustam ugli

Improving hydraulic methods for calculating the water balance of
reservoirs (on the example of the Karasuv reservoir)..... 35

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 38

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.41/30.04.2021.Т.131.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ**

УСТЕМИРОВ ШОХРУХ РУСТАМ ЎҒЛИ

**СУВ ОМБОРЛАРИ СУВ БАЛАНСНИ ГИДРАВЛИК
ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ
(ҚОРАСУВ СУВ ОМБОРИ МИСОЛИДА)**

05.09.07-Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2025

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2025.3.PhD/T5806 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (www.ismiti.uz) ва "ZiyoNet" ахборот-таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Махмудов Илхомжон Эрназарович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Сейтов Айбек Жумабоевич
техника фанлари доктори, профессор

Гапшаров Фуркат Ахматович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

**Тошкент архитектура қурилиш
университети**

Диссертация ҳимояси Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги Илмий даражалар берувчи DSc.41/30.04.2021.T.131.01 рақамли илмий кенгашнинг «01» 11 2025 йил соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100187, Тошкент, Қорасув-4 мавзеси, 11 уй. Тел: 994344328, e-mail: ismiti@minwater.uz).

Диссертация билан Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институти библиотекасида танишиш мумкин (8 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100187, Тошкент, Қорасув-4 мавзеси, 11 уй. Тел: 994344328).

Диссертация автореферати 2025 йил «3» 10 куни тарқатилди.

(2025 йил «9» 10 даги 8 рақамли реестр баённомаси).



Гловацкий О.Я.
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

У.А.Садиев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, (PhD)

М.Р.Икрамова
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори PhD диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сув омборларидан хавфсиз ва самарали фойдаланиш, иншоотларнинг эксплуатацион ишончлилиги ошириш, сув омборлари сув балансини гидравлик ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда, жумладан АҚШ, Австралия, Бразилия, Испания, Германия, Жанубий Корея, Япония, Хитой, Россия ва бошқа давлатларда “Сув омборлари, сел-сув омборлари объектларининг хавфсизлигини таъминлаш, сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган сизот ва ер ости сувлари улушини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш белгиланган”¹. Бу борада, жумладан сув ресурсларини оқилона бошқариш ва улардан самарали фойдаланишда инновацион технологияларни қўллаш, сув хўжалиги объектларида сувдан фойдаланиш самарадорлигини ошириш, сув омборлари техник ҳолатларини баҳолашга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда дарёлар оқимини ростлаш асосида сув омборларидан хавфсиз ва самарали фойдаланиш, иншоотларнинг эксплуатацион ишончлилиги ва хавфсизлигини таъминлаш, сув омборига келиб қўшиладиган беқарор фильтрация оқимининг уч ўлчовли фазовий гидравлик моделини такомиллаштириш ҳамда фойдаланиш муддатларини узайтиришга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, сув омборлари сув балансини гидравлик ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш, сув балансидаги асосий ташкил этувчилар сизот ва ер ости сувлари улушини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланмоқда. Шу билан бирга, сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини ҳисоблашнинг гидравлик моделини такомиллаштириш, сув омборларда сизот ва ер ости сувлари улушини аниқлашнинг гидродинамик ва гидрокимёвий усулларини такомиллаштириш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда сув омборлари тўғони ва ундаги гидротехника иншоотлар хавфсизлиги, ишончлилик ҳолатини баҳолаш ва хизмат муддатларини узайтириш бўйича технологик усуллари ишлаб чиқиш, сув баланс ҳисобларини такомиллаштириш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2022 йил 28 январдаги “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси” тўғрисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПФ-60-сон Фармонида “Сув ресурсларини бошқариш тизимини тубдан ислоҳ қилиш ва сувни иқтисод қилиш бўйича алоҳида давлат дастурини амалга ошириш”² бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, ер ости сув оқимлари динамикасини миқдорий баҳолашга қаратилган илмий ва

¹ <https://review.uz/oz/post/>

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони.

амалий аҳамиятга эга бўлган усулларни ишлаб чиқиш бўйича илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикасининг 1999 йил 20 августда қабул қилинган “Гидротехника иншоотлари хавфсизлиги тўғрисида”ги Қонуни, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сонли, 2020 йил 10 июлдаги “Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-6024-сонли Фармонлари, 2022 йил 1 мартдаги “Қуёи бўғинда сув ресурсларини бошқаришни такомиллаштириш ҳамда сув истеъмолчилари орасидаги муносабатларни тартибга солиш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-145-сонли, 2019 йил 9 октябрдаги “Сув ресурсларини бошқариш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4486-сонли Қарорлари, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2022 йил 19 апрелдаги “Қуёи бўғинда сув ресурсларини бошқариш самарадорлигини ошириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги 196-сонли Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар фан ва технологиялар ривожланишининг V. “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф муҳит муҳофазаси” устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сув омборлари жойлашган ҳудудларнинг гидрологик ва гидрогеологик шароитларини тадқиқ қилиш усулublари Ю.М.Матарзин, К.К.Эдельштейн, А.И.Чеботарев, А.Тенсли, А.М.Догановский, Ю.Б.Виноградов, С.П.Китаев, М.Я.Прыткова, И.И.Назаров, Ю.Д.Гаврилюк, Е.П.Матвеев, Г.А.Геворкян, В.Н.Жамогорцяи, М.Р.Бакиев, Ғ.У.Юсупов ва бошқ. ишларида яхши ўрганилган.

Сув омборларида геодезик ўлчов ишларини ташкил этиш ва деформация жараёнларини моделлаштириш ва ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш борасида етарли ишлар амалга оширилган. Жумладан, Al-Ansari N., Adamo N., Sissakian V., Knutsson S., Laue J., Скрипников В.А., Бугакова Т.Ю., Басаргин А.А., Каленицкий А.И., Bayrak T., Мустафин М.Г., Грищенкова Е.Н., Юнес Ж.А., Хиллер Б., Ямбаев Х.К, Мазуров Б.Т., Salih S.A., Al-Tarif A.S.M., Soysan A., Soysan M., Кобелева Н.Н., Хорошилов В.С. каби олимларнинг ишларида геодезик ўлчов ишларини амалга ошириш услublари ва тўғон деформацияланиш ҳолатини баҳолаш усуллари ишлаб чиқилган. Очик сув ҳавзаларини тўйинтирувчи сизот сувлари ва ер ости сув оқимлари параметрларини ҳисоблаш усуллари Б.И.Куделин, Г.Н.Каменский, Ф.А.Макаренко, С.А.Аверьянов, А.Т.Иванов, Л.С.Балашов, А.Н.Павлов, В.В.Пиотрович ва ҳ.к. ишларида яхши ўрганилган.

Шу билан бирга, сув ҳавзаларининг сув баланс режимидаги ер ости сув оқимлари динамикасини миқдорий баҳолашнинг: гидродинамик, сув баланс, гидрокимёвий кўринишдаги усул ва услубларини такомиллаштириш билан боғлиқ масалаларга етарлича эътибор қаратилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институтининг НД-5/2021-2022 “Қорасув сув омборини ҳажмини махсус аппаратлар ёрдамида аниқлаш”, НД-3/2023 “Республика бўйича кичик сув заҳираларини барпо қилиш имконияти мавжуд ҳудудларни аниқлаш ҳамда илмий асосланган тавсия ва хулосалар тайёрлаш”, НД-2/2024 “Қорасув сув омбори эксплуатациясининг янги таҳрирдаги тартиб қоидаларини ишлаб чиқиш” лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади сув омборларининг сув балансидаги сизот ва ер ости сувлари компонентларини гидравлик ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

сув омборлари сув балансини ҳисоблаш усулларига бағишланган илмий-тадқиқот ишлари ва фонд материалларини ретроспектив таҳлил қилиш;

Қорасув сув омбори мисолида очиқ сув ҳавзаларининг сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган сизот ва ер ости сувлари улушини аниқлашнинг гидродинамик ва гидрокимёвий усулларини экспериментал тадқиқотлар асосида такомиллаштириш;

Буссинеск – Фархгеймер тенгламалари асосида сув омборига келиб кўшиладиган беқарор фильтрация оқимининг уч ўлчовли фазовий гидравлик моделини такомиллаштириш;

Гиринский функцияси ва Хагеннинг гидродинамик мезони асосида вертикал кўп қатламли, квази бир жинсли гидрогеологик пласт бўйича Қорасув сув омборига келиб кўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизиқли гидравлик ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш;

Фурье усули асосида Қорасув сув омборига келиб кўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизиқли гидравлик моделини такомиллаштириш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида Самарқанд вилоятидаги Қорасув сув омбори танлаб олинган.

Тадқиқотнинг предмети сув ҳавзаларининг сув баланс режимидаги ер ости сув оқимлари динамикасини миқдорий баҳолаш усуллари такомиллаштирилади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқотлар жараёнида сув омборларининг сув балансини ҳисоблашнинг назарий услублари, экспериментал тадқиқотларининг умумий қабул қилинган усуллари, математик моделлаштириш ва уларни сонли ечиш усулларидан фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

Қорасув сув омбори мисолида, очик сув ҳавзаларининг сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган турли генезисга эга ер ости сув қатламларидаги сизот ҳамда ер ости сувлари улушини аниқлашнинг гидродинамик ва гидрокимёвий усуллари такомиллаштирилган;

Буссинеск – Фархгеймер тенгламалари ҳамда Гиринский функцияси асосида сув омборига келиб қўшиладиган беқарор фильтрация оқимининг уч ўлчовли фазовий гидравлик модели такомиллаштирилган;

вертикал кўп қатламли, квази бир жинсли гидрогеологик пласт бўйича сув ўтказиш қатламининг квази чизикли ҳамда квази бир жинсли ҳоли учун Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини гидравлик ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

ер ости сув қатлами бир жинсли ҳамда пласт вертикал бўйича гетероген деган фараз асосида Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизикли гидравлик модели такомиллаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

экспериментал тадқиқотлар асосида Қорасув сув омбори мисолида очик сув ҳавзаларининг сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган сизот ва ер ости сувлари улушини аниқлашнинг гидродинамик ва гидрокимёвий усуллари такомиллаштирилган;

сув омборларининг сув балансидаги сизот ва ер ости сувлари компонентларини гидравлик ҳисоблаш усуллари такомиллаштирилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги назарий ечимларни ишлаб чиқишда умум қабул қилинган физик қонуниятлар ва синовдан ўтган математик усулларга асосланганлиги, олинган назарий натижаларни амалда ўтказилган тадқиқотлар натижалари билан солиштирилганлиги ҳамда бошқа олимлар томонидан олинган натижалар билан таққослаб текширилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти Буссинеск – Фархгеймер тенгламалари асосида сув омборига келиб қўшиладиган беқарор фильтрация оқимининг уч ўлчовли фазовий гидравлик модели такомиллаштирилганлиги, Гиринский функцияси ва Хагеннинг гидродинамик мезони асосида вертикал кўп қатламли, квази бир жинсли гидрогеологик пласт бўйича Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизикли гидравлик ҳисоблаш усули ишлаб чиқилганлиги ҳамда Фурье усули асосида Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизикли гидравлик модели такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти Қорасув сув омбори мисолида очик сув ҳавзаларининг сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган сизот ва ер ости сувлари улушини аниқлашнинг гидродинамик

ва гидрохимёвий усуллари экспериментал тадқиқотлар асосида такомиллаштирилганлиги ҳамда сув омборларининг сув балансидаги сизот ва ер ости сувлари компонентларини гидравлик ҳисоблаш усуллари такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сув омборлари сув балансини гидравлик ҳисоблаш усуллари такомиллаштириш бўйича олинган натижалар асосида:

сув омборларининг сув балансидаги сизот ва ер ости сувлари компонентларини гидравлик ҳисоблаш усули Зарафшон ИТХБ фаолиятига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2025 йил 24 июлдаги 04/19-1088-сон маълумотномаси). Натижада, сув омборларининг сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган сизот ва ер ости сувлари улушини баҳолаш имконини берган;

сув омборига келиб қўшиладиган беқарор фильтрация оқимининг уч ўлчовли фазовий гидравлик модели Зарафшон ИТХБ фаолиятига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2025 йил 24 июлдаги 04/19-1088-сон маълумотномаси). Натижада, сув омборининг сув баланси режимини мониторинг қилиш тизими такомиллаштирилган;

Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизиқли гидравлик модели ҳисоблаш усули Мирзапой ИТБ фаолиятига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2025 йил 24 июлдаги 04/19-1088-сон маълумотномаси). Натижада, сув омборидан фойдаланиш самарадорлиги ошиб, вегетация даврида 5-7 фоиз сув ресурсларини тежаш имконияти яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг натижалари 7 та халқаро ва 2 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 15 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 2 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 112 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, тадқиқот объекти ва предмети тўғрисида маълумотлар келтириб ўтилган. Бажарилган тадқиқотларнинг Республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор

йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалар баён этилган. Олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти ёритиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Ер ости ва сизот сувлари ҳисобига тўйинадиган республика ва жаҳондаги сув омборлар тўғрисида умумий маълумотлар ҳамда сув омборларини тўйинтирувчи фильтрация оқимларини ҳисоблаш усуллари**нинг ретроспектив таҳлиллари”

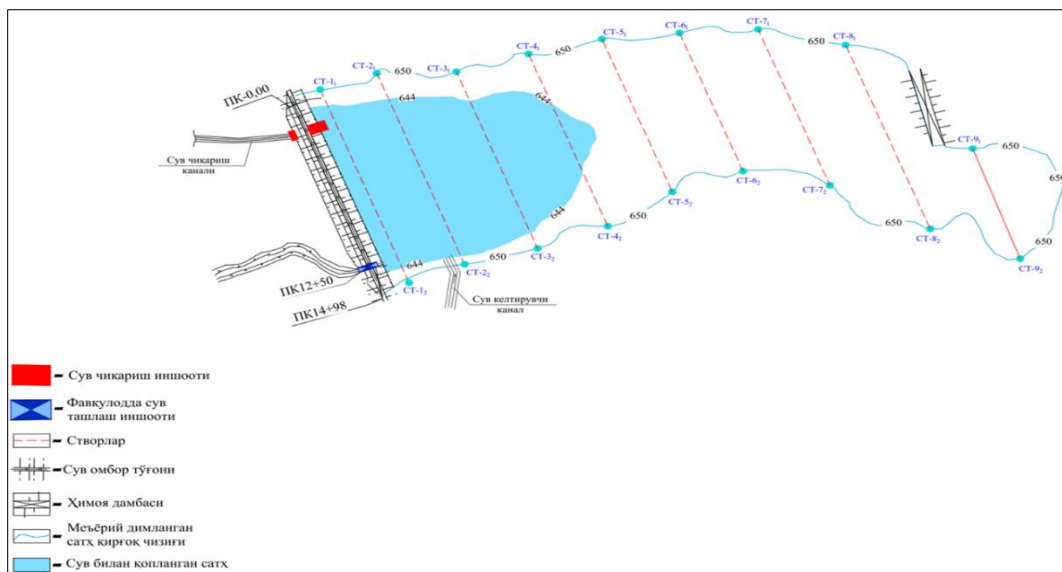
деб номланган биринчи бобида сув омборлари сув балансини ҳисоблаш ва такомиллаштириш, очиқ сув ҳавзаларини тўйинтирувчи сизот сувлари ва ер ости сув оқимлари параметрларини ҳисоблаш усулларининг таҳлили, сув омборларининг сув балансини гидрогеологик, гидродинамик, сув баланс, гидрокимёвий, физик, гидрологик усуллари ишлаб чиқиш ва такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқот ишларининг ретроспектив таҳлиллари амалга оширилган. Жумладан, Ю.М.Матарзин, К.К.Эдельштейн, А.И.Чеботарев, А.Тенсли, А.М.Догановский, Ю.Б.Виноградов, С.П.Китаев, М.Я.Прыткова, И.И.Назаров, Ю.Д.Гаврилюк, Е.П.Матвеев, Г.А.Геворкян, В.Н.Жамогорцян, М.Р.Бакиев, Ғ.У.Юсупов ва бошқ. ишларида сув омборлари жойлашган ҳудудларнинг гидрологик ва гидрогеологик шароитлари тадқиқ қилиш усулблари яхши ўрганилган.

Вольфцун И.Б., Гвелесиани Л.Г. Имальцелб Н.П., Ибад-Заде Ю.А., Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Зверев И.С., Рябченко В.А., Дворников А.Ю., Крейман К.Д., Рянжин С.В., Медведев М.Ю., Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н., Arheimer V., Olsson J., Kennon F.W., Moriasi D.N., Gitau M.W., Rai N., Daggupati P. каби олимларнинг ишларида ер ости сув оқимлари динамикасини миқдорий баҳолашнинг: гидродинамик, сув баланс, гидрокимёвий кўринишдаги эмпирик ва ярим эмпирик усуллар яхши ўрганилган.

Шу билан бир қаторда сув ҳавзаларида гидрологик ва гидрогеологик шароитларига мос равишда ер ости сувлари оқими асинхрон кўринишида ҳаракатланади. Асинхронлик сув оқимлари мураккаб гидродинамик қонуниятлар асосида юз беради. Мавжуд усуллар эса эмпирик ёки ярим эмпирик ифодаларга асосланган. Ушбу ифодалар орқали юқорида қайд этилган мураккаб гидродинамик жараёнларни тўлиқ ифодалаш имконияти чегараланган. Шу сабабли сув омборларининг сув балансидаги сизот ва ер ости сувлари компонентларини гидравлик ҳисоблаш усулларининг такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этади.

Диссертациянинг **“Қорасув сув омбори косасидаги седиментация ҳолати, сув сиғимини аниқлашнинг экспериментал тадқиқотлари”** деб номланган иккинчи бобида сув омборининг гидрологик режими ва морфометрик параметрлари таҳлил қилинган. Сув омборнинг амалдаги сув сиғимини аниқлаш ҳамда сизот ва ер ости сувлари билан тўйиниш

режимларини тадқиқ қилиш мақсадида сув омборнинг тегишли қирқимларда GPS қурилмали SONTEK S5 русумли доплер-профилограф ёрдамида сув омборнинг гидрологик ва морфометрик параметрлари экспериментал топилган (1-расм).

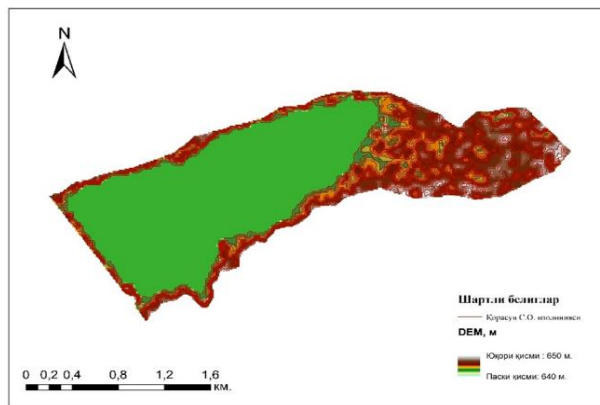


1-расм. Сув омбори косасида лойқа-чўкиндиларни ўлчаш тадқиқотлари олиб борилган ҳисобий қирқимлар

Сув омбори косасининг ҳажмини ва сув сатҳи майдонини аниқлашда геоахборот технологиялари (ГАТ) дан фойдаланилди. Жумладан, Сув омбори косасининг ҳажмини ва сув сатҳи майдонини аниқлашда ГАТ технологияларни ўзида мужассам қилган ArcGIS дастурий таъминотининг ArcMAP ва QGIS ҳамда Google Earth Pro дастурий таъминотларидан фойдаланилди (2 ва 3-расмлар).

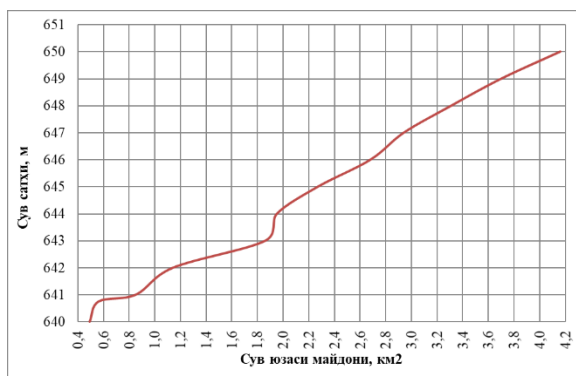


2-расм. Сув омборининг изолиниялари келтирилган харитаси

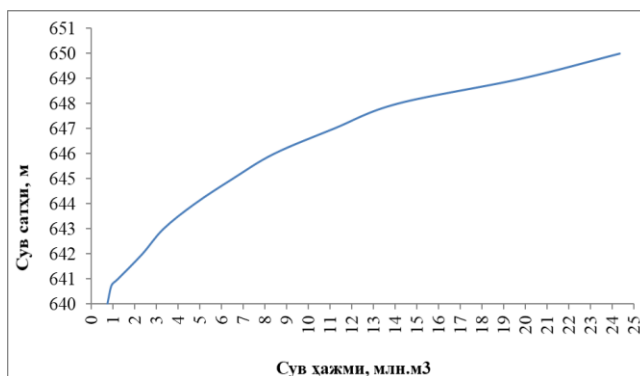


3-расм. Сув омбори ҳудудининг сатҳлар (баландлик) тасвири

Тадқиқот ўтказиш услубига асосан, кейинги босқичда сув омбори сифимини ҳисоблаш жараёни олиб борилди. Бунинг учун танлаб олинган баландлик тасвиридан фойдаланилди. ГАТ технологияси дастурларидан ва Storage Capacity инструментидан фойдаланиб сув омбори косаси чуқурлиги бўйича ҳар бир сатҳлардаги сув сифими ҳисобланди (4-5-расмлар).

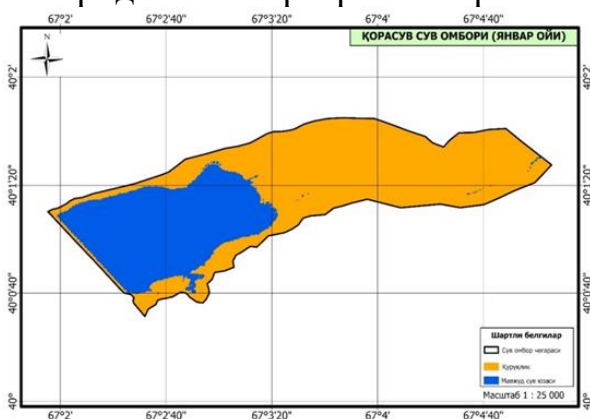


4-расм. Сув омбори сув сатҳини сув юзасига боғлиқлик графиги

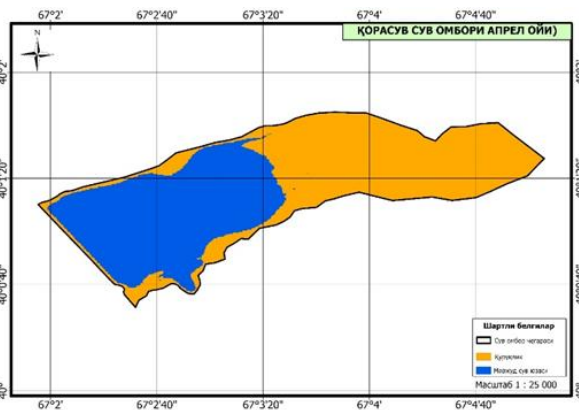


5-расм. Сув омбори сув сатҳини сув ҳажмига боғлиқлик графиги

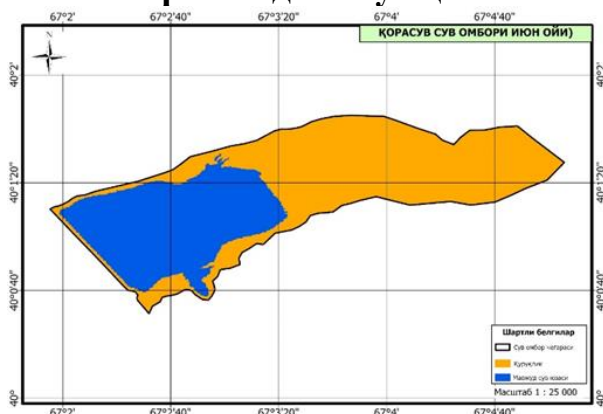
Сув омбори косасидаги сув юзасидан бўладиган буғланиш миқдорини аниқлаш мақсадида, ҳар ойда сув омбори косасидаги сув ҳажми юзасини аниқлаш учун ГАТ технологияларидан фойдаланилди. 6,7,8,9-расмларда сув омбори косасидаги сув ҳажми юзасини январь, апрель, июнь ва август ойларидagi тасвирлари келтирилган.



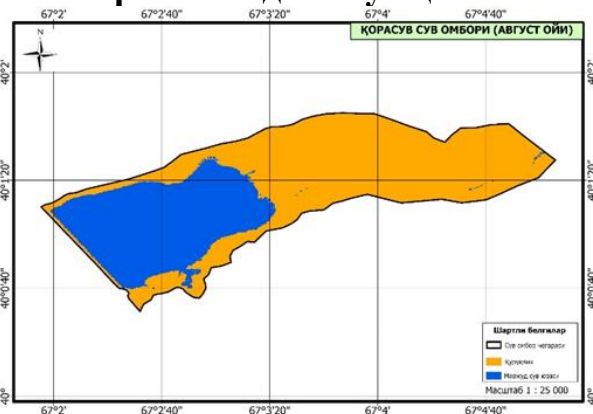
6-расм. Сув омбори косасининг январь ойидаги сув ҳажми



7-расм. Сув омбори косасининг апрель ойидаги сув ҳажми



8-расм. Сув омбори косасининг июнь ойидаги сув ҳажми



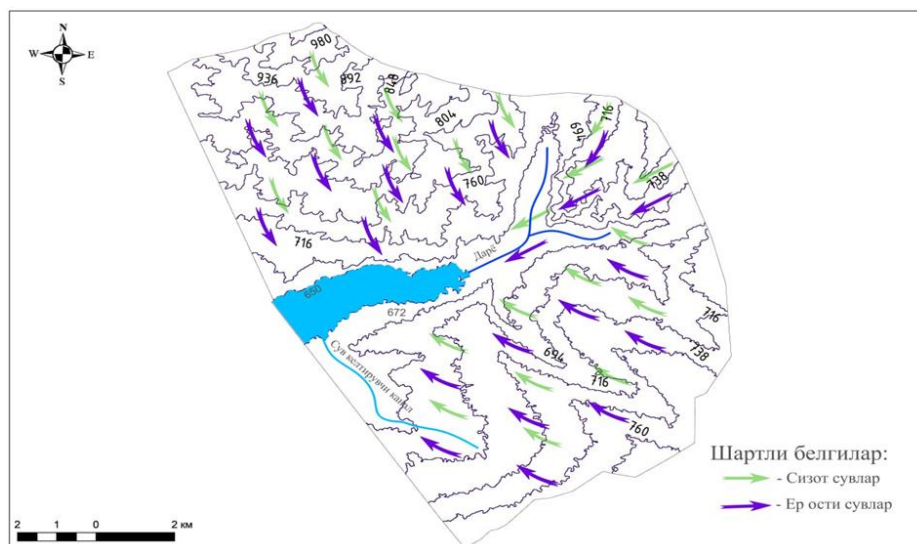
9-расм. Сув омбори косасининг август ойидаги сув ҳажми

Сув омбори косасининг ҳажмини ГАТ технологиялари орқали аниқлашда олинган натижаларга кўра, ҳозирги кунда сув омборининг меъёрий димланган сув сатҳи белгисидаги умумий сув ҳажми 24,36 млн.м³ ни ташкил этади. Ўлик сув сатҳи белгисидаги сув сифими 0,93 млн.м³ га тенг.

Сув омбори косасининг меъёрий димланган сув сатҳи белгисида сув юзаси майдони 4,16 км² га тенг. Сув омбори косасининг ўлик сув сатҳи белгисида сув юзаси майдони 0,56 км² га тенг. Сув омбори ҳажмини аниқлаш учун олиб борилган экспериментал тадқиқот натижалари ва ГАТ технологиялари орқали аниқлаштирилган натижалари таққосланди. Таққослаш хатолиги ўртача 6 фоизни ташкил этди. Сув омбори косасидаги сув юзасидан бўладиган ойлик буғланишлар миқдорининг амалиётда кенг қўлланилиб келинаётган услублар орқали олинган натижалари ГАТ технологиялари асосида аниқлаштирилган натижалар билан таққосланди. Таққослаш хатолиги ўртача 4-5 фоизни ташкил этди.

Диссертациянинг “Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация сувларининг гидравлик ҳисоблаш усуллари” деб номланган учинчи бобида сув омборига келиб қўшиладиган сизот ва ер ости сувлари миқдорларини ҳисоблашнинг гидравлик усуллари такомиллаштирилган. Жумладан, диссертация доирасида сизот (грунт) сувлари ва ер ости сувларини умумий кўринишда сув балансидаги иккита компонент сифатида ҳисобга олинган. Ер ости сувлари оқимининг чегаралари сифатида геоморфологик элементларини (фильтрация ва инфилтрация оқимларининг ҳамда сув ўтказмас қатламлар ва сув омбори контурлари) аниқлаш заруриятини шакллантирди. Баъзи ҳолларда ушбу чегаравий шартлар гидродинамик характерга эга бўлиб, босимли ва босимсиз фильтрация оқимларининг ҳамда чучук ва минерализацияланган ер ости сувлари туташган контурларни аниқлаш керак бўлади.

Қорасув сув омбори косасида тўпланадиган ер ости сувларининг асосий манбалари ҳудуднинг юқори гидрогеологик қирқимида қор ва суяқ атмосфера ёғинлари ҳисобига шаклланадиган сув ресурслари ҳисобланади (10-расм).

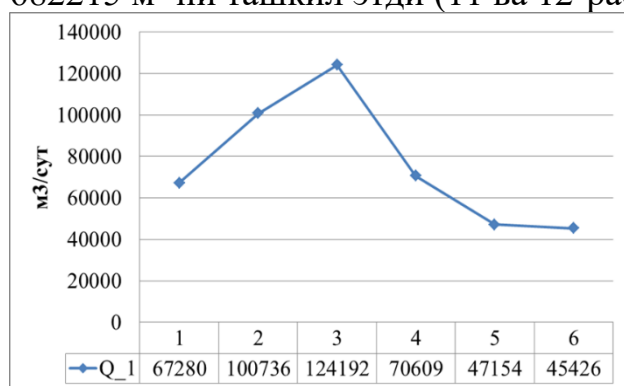


10-расм. Сув омбор ҳудудида шаклланадиган инфилтрация ва фильтрация оқимлари векторлари.

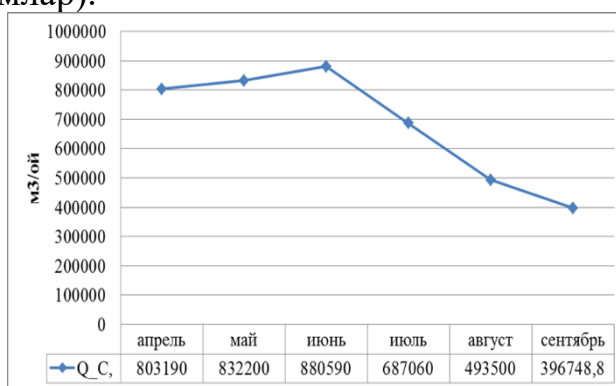
Назарий ва экспериментал тадқиқотлар натижаларига кўра, Қорасув дарёси ва унинг ирмоқлари ҳудуднинг тўртламчи қатламини 15-20 метр чуқурликда ювиб, юқори карбоннинг оҳақтош қатламини кесиб ўтади.

Сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқими гидрокарбонат-кальций-магний таркибли бўлиб, минерализацияси 1 г/л дан 4,3 г/л гача ўзгаради. Сув омборининг чап ва ўнг қирғоқларида эксплуатация қилиб келинаётган сув қудуқларидан олинган сув намуналарининг кимёвий таҳлилларига кўра чап соҳилдаги ер ости сувларининг минерализацияси 1-1,4 г/л, ўнг қирғоғида шаклланадиган ер ости сувлари минерализацияси эса 1,8-4,3 г/л интервалида ўзгаради.

Диссертация доирасида амалга оширилган экспериментал тадқиқотлар асосида напорли (фильтрация) ҳамда напорсиз (инфильтрация) сув оқимларини сув омборига келиб қўшилиш параметрлари аниқланди. Вегетация даврида сув омборга ўртача 1 суткада тахминан келиб қўшилган напорли фильтрация оқимлари 75899,5 м³/сут ни ташкил этади. Вегетация даврида сув омборга ўртача бир ойда келиб қўшилган сизот сувлари 682215 м³ ни ташкил этди (11 ва 12-расмлар).



11-расм. Қорасув сув омборига ўртача бир суткада тахминан келиб қўшилган напорли фильтрация оқимлари ҳажми



12-расм. Қорасув сув омборига бир ойда ўртача келиб қўшиладиган сизот сувларининг тахминий ҳажми графиги

Назарий ва экспериментал тадқиқотлар асосида вегетация даврида (6 ой давомида) сув омборига келиб қўшилган напорли фильтрация оқимлари ўртача 13,5 млн.м³, напорсиз (сизот сувлари) фильтрация оқимларининг ўртача миқдори 4,1 млн.м³ эканлиги аниқланди.

Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган ер ости сувлари динамикасининг гидравлик модели ишлаб чиқилди. Бунинг учун Буссинеск – Фархгеймер тенгламасидан фойдаландик:

$$\left[\frac{\partial}{\partial x} \int_0^H \frac{\partial \varphi}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^H \frac{\partial \varphi}{\partial y} dz \right] + \varepsilon = m_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

$$\varphi(x, y, z, t) = -kh(x, y, z, t) \quad (2)$$

Бу ерда: $\varphi(x, y, z, t)$ - фильтрация тезлиги потенциали, $h(x, y, z, t)$ – напор, ε – ер ости сувлари оқимининг тўйиниш модули, m_0 – эркин ғоваклик коэффиценти, H – ер ости сув қатлами қалинлиги.

Фильтрация тезлиги потенциали ифодасини (2) ҳаракат тенгламасига (1) олиб бориб қўйиб қуйидаги кўринишдаги тенгламага эга бўлдик:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial y} dz + \varepsilon = m_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3)$$

Энди (3) тенгламага асосланиб гидравлик моделлаштиришни амалга оширдик. Бунинг учун ер ости сувлари ҳаракатининг гидравлик назариясида кенг қўлланиладиган Гиринский функциясига ўхшаш қуйидаги кўринишдаги функция киритилган:

$$Q_{ep} = -Hg \int_0^H k(z)(h-z)dz \quad (4)$$

бу ерда: $k(z)$ – фильтрация коэффиценти, мураккаб гетероген сув қатламларида фильтрация коэффиценти ер ости сув қатлами баландлиги (калинлиги) бўйича ўзгарувчан бўлади.

$$Hg = \frac{L^3}{\rho\nu^2} \left(-\frac{dP}{dx}\right) - \text{Хаген ўхшашлик мезони}$$

бу ерда: L – сув омбори қирғоқ узунлиги (МДС). ρ – ер ости сувлари зичлиги, ν – кинематик ёпишқоқлик, P – ер ости сув қатламидаги босим.

Хаген ўхшашлик мезони – ер ости сувлари напорининг ишқаланиш ёпишқоқлигига нисбатини беради. Яъни гидродинамик босим кучларининг ишқаланиш кучларига нисбатини ифодалайди. Гиринский функциясини қўллашимиздан мақсад сув омбори жойлашган ҳудуд кўп қатламли сув пластларидан иборат бўлиб, ушбу қатламларда напорли фильтрация оқими ва фильтрация коэффицентларини ўрталаштириш ҳисобланади.

Сув омбори жойлашган ҳудуднинг гидрогеологик қирқимидаги кўп сонли қатламларни шартли равишда бир жинсли қатлам сифатида қараб, (4) функция тегишли аргументлари бўйича интегралланди:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial x^2} &= -Hg \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h K(z) \frac{\partial h}{\partial x} dz \\ \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial y^2} &= -Hg \frac{\partial}{\partial y} \int_0^h K(z) \frac{\partial h}{\partial y} dz \\ \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial t} &= -Hg \int_0^h K(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Энди (5) тенгламалар тизимига (1) ва (2) тенгламаларни (3) олиб бориб кўйиб, қуйидагига эга бўлдик:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = -\left(\frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial y^2}\right) + \varepsilon \quad (6)$$

(5) тенгламалар тизимидаги учинчи тенгламани бўлақлаб интегралладик (Фурье усули):

$$\begin{aligned} -Hg \int_0^H K(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz &= -Hg \left[\frac{\partial h}{\partial t} \left(\int_0^z K(z/\partial z) \right) \Big|_0^H - \int_0^H \frac{\partial^2 h}{\partial z \partial t} \left(\int_0^z K(z/\partial z) \right) dz \right] \Rightarrow \\ -Hg \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz &= -Hg \left[\frac{\partial h}{\partial t} \left(\int_0^z k(z) dz \right) \Big|_0^H - \frac{\partial^2 h}{\partial t \partial t} \left(\int_0^z \int_0^z k(z) (dz)^2 \right) \Big|_0^H + \right. \\ &\left. + \int_0^H \frac{\partial^2 h}{\partial x^2 \partial t} \left(\int_0^z \int_0^z k(z) (dz)^2 \right) dz \right] \quad (7) \end{aligned}$$

ёки

$$-Hg \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz = -Hg \sum (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial z^n} W^{n+1} \Big|_{z=h} \quad (8)$$

бу ерда: W – интеграллаш оператори;

$$\left. \begin{aligned} n=0 \text{ да } W=1 \\ n=1 \text{ да } W=\int_0^z k(z) dz \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Энди гидравлик моделлаштириш шартларидан келиб чиқиб иккита ҳолни таҳлил қилдик:

1-ҳол. Ер ости сув қатлами вертикал бўйича бир жинсли. Ушбу ҳолда $k(z)=const$ бўлади. У ҳолда $n = 0,1$ учун қуйидаги ифодага эга бўлдик:

$$\frac{\partial Q_{ep}}{\partial t} = -H_g \cdot k \left[H \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{H^2}{2} \frac{\partial^2 H}{\partial z \partial t} \right] \quad (10)$$

$z=H$ деб, қуйидаги тенгламага эга бўлдик:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = -k \cdot H_g \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_{z=h} + \varepsilon \quad (11)$$

(11) тенглamani t аргумент бўйича дифференциаллаб, $\frac{\partial^2 H}{\partial z \partial t}$ қийматни (10) ифодага олиб бориб қўйиб қуйидаги натижа олинади:

$$\frac{\partial Q(t,x)_{ep}}{\partial t} = H_g \cdot k \cdot H \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\mu H^2}{2} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad (12)$$

Тегишли математик амаллардан сўнг (12) тенглама ечимига эга бўлдик:

$$Q(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int_0^t e^{\omega_n^2(t-\tau)} \cdot \varphi_n(\tau) d\tau \right) \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (13)$$

2-ҳол: Пласт вертикал бўйича гетероген. Ушбу ҳолда фильтрация коэффициенти ва интеграллаш коэффициенти қуйидаги ифодалар орқали ифодаланади:

$$k(z) = k_0 + \alpha z ; w = \int_0^z (k_0 + \alpha z) dz = k_0 z + 0,5 \alpha z^2 \quad (14)$$

$\alpha = const$

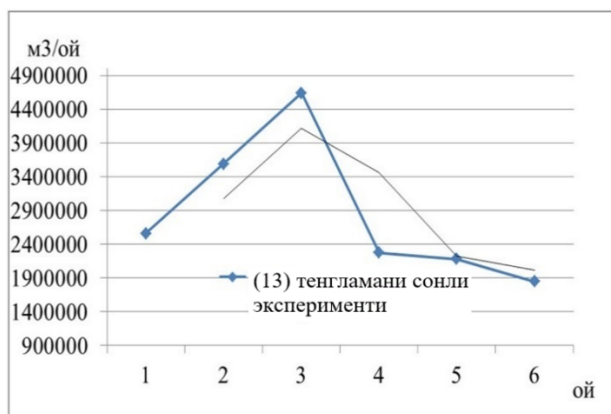
У ҳолда (8), (11) ва (14) тенглалар ёрдамида қуйидаги тенглама олинади:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -W \frac{\partial H}{\partial t} - m_o \cdot H_g \cdot \frac{w^2}{k} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad (15)$$

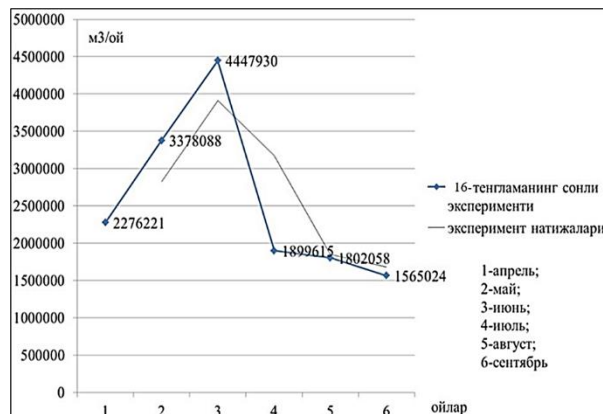
Тегишли математик амаллардан сўнг, қуйидаги шаклдаги хусусий ечимга эга бўлдик:

$$Q(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^t e^{w_n^2(t-i)} \cdot \left(-\frac{2\bar{\alpha}\varepsilon}{l} \int_0^l \sin \frac{\pi n}{l} x dx \right) d\tau \right] \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (16)$$

(13) ва (16) тенглаларнинг сонли экспериментлари 13-14-расмларда график кўринишида келтирилган.



13-расм. (13) тенглamani сонли ечими ва эксперимент натижаларини таққослаш графиги



14-расм. (16) тенглamani сонли ечими ва эксперимент натижаларини таққослаш графиги

Х У Л О С А

“Сув омборлари сув балансини гидравлик ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш (Қорасув сув омбори мисолида)” мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Илмий-тадқиқот ишларининг ретроспектив таҳлилларидан қуйидагини хулоса қилиш мумкин, сув ҳавзаларида, унинг маълум бир участкаларининг иқлимий, гидрологик ва гидрогеологик шароитларига мос равишда ер ости сувлари оқими асинхрон кўринишида ҳаракатланади. Асинхронлик сув оқимлари хусусиятлари билан боғлиқ мураккаб гидродинамик жараёнларни янада мураккаблаштиради. Мавжуд усуллар эса эмпирик ёки ярим эмпирик ифодаларга асосланган. Ушбу ифодалар орқали юқорида қайд этилган мураккаб гидродинамик жараёнларни тўлиқ ифодалаш имконияти мавжуд эмас.

2. Очiq сув ҳавзаларини тўйинтирувчи сизот сувлари ва ер ости сув оқимлари параметрларини ҳисоблаш усулларини конкрет объект: Қорасув сув омбори мисолида такомиллаштирилди. Жумладан, очiq сув ҳавзаларининг сув балансидаги асосий компонент ҳисобланган сизот ва ер ости сувлари улушини ҳисоблаш усуллари такомиллаштирилган.

3. Сув омборини тўйинтиришнинг асосий манбалари ҳисобланган Қорасув дарёси, тўйинтирувчи каналдан ва атмосфера ёғинлари туфайли ҳосил бўладиган сизот сувлари ҳисобига сув омборига тахминан 10-15 фоиз фильтрация сувлари келиб қўшилиши мумкин. Шу билан бир қаторда, гидрогеологик маълумотлар таҳлилларига кўра, сув омбори жойлашган ҳудудда оҳактошли ва тошкўмир жинсли (C_{1-2}) сув қатламлари мавжуд бўлиб, напор градиенти бўйлаб кўп жойларда сув омборига келиб туташган. Ер ости сув қатламлари ҳисобига сув омборида тахминан 25-30 фоиз тўйиниш рўй беради. Сув омбори ҳамда унинг сув манбаларининг гидрологик маълумотлари таҳлилларига кўра сув омбори косасида напорли ва напорсиз фильтрация оқимларининг интенсив қуйилиши рўй бераётганлигидан далолат беради.

4. Экспериментал тадқиқотлар натижаларига кўра, Қорасув дарёси ва унинг ирмоқлари ҳудуднинг тўртламчи қатламини 15-20 метр чуқурликда ювиб, юқори карбоннинг оҳактош қатламини кесиб ўтади. Сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқими гидрокарбонат-кальций-магний таркибли бўлиб, минерализацияси 1 г/л дан 4,3 г/л гача ўзгаради. Сув омборининг чап ва ўнг қирғоқларида эксплуатация қилиб келинаётган сув қудуқларидан олинган сув намуналарининг кимёвий таҳлилларига кўра чап соҳилдаги ер ости сувларининг минерализацияси 1-1,4 г/л, ўнг қирғоғида шаклландиган ер ости сувлари минерализацияси эса 1,8-4,3 г/л интервалида ўзгаради.

5. Ер ости карбон сувлари таркиби, ер усти сувларининг кимёвий таркибидан ионлар таркиби (HCO_3 , Mg^{2+} ва Ca^{2+}) нинг кўплиги билан фарқли бўлади. Юқори карбондаги напорли ер ости сувларининг сув омборига келиб

қўшилишини HCO_3 ва Ca^{2+} ионлар индикатори орқали аниқлаш мумкин. Қиш ва эрта баҳор ойларида юқорида қайд этилган индикаторлар концентрацияси кичик бўлиб, ёз ва куз ойларида концентрацияси ўсиб боради. Бундай ҳолат қиш ва эрта баҳор ойларида атмосфера ёғинлари (асосан қорлар ва музликлар) ҳисобидаги чучук сувлар орқали геологик қирқимдаги минераллашган тоғ жинсларини катта ювилиши натижасида HCO_3 ва Ca^{2+} ионлар индикатори кичик бўлади. Яъни, ушбу мавсумда тоғ жинслари қатламидаги сув массасининг интенсив алмашинуви юз беради. Ёз ва куз ойларида эса минераллашган ёмғир ва сел сувлари ҳисобига худуддаги геологик қирқимнинг минераллашган тоғ жинслари ювилади. Натижада эса ион индикаторлари даражаси ўсиб боради.

6. Экспериментал тадқиқотлар асосида вегетация даврида (6 ой давомида) сув омборига келиб қўшилган напорли фильтрация оқимлари ўртача $13,5 \text{ млн.м}^3$, напорсиз (сизот сувлари) фильтрация оқимларининг ўртача миқдори $4,1 \text{ млн.м}^3$ эканлиги аниқланди.

7. Сув омборига келиб қўшилиши мумкин бўлган ер ости сувларининг гидравлик ҳисобларига кўра, Қорасув сув омборининг асосий сув манбалари ҳисобланган Қорасув дарёси ва Эски туятортар каналидан сув олувчи Абдуалим сув келтирувчи канали сув ресурсларидан ташқари ер ости сувларининг сув омборини тўйинишидаги улуши сезиларли эканлигини кўрсатди. Яъни, сув омборида вегетация даврида шаклланадиган сув ҳажмининг $14,2$ фоизи ер ости сувлари ҳисобига шаклланади. Шу жумладан, сув омбордаги сув ресурсларини шаклланишида напорли фильтрация оқимларининг улуши $10,8$ фоиз, напорсиз фильтрация оқимларининг (сизот сувлари) улуши $3,4$ фоизни ташкил этади.

8. Буссинеск – Фархгеймер тенгламалари асосида сув омборига келиб тушаётган беқарор фильтрация оқимининг уч ўлчовли фазовий гидравлик модели такомиллаштирилди.

9. Гиринский функцияси ва Хагеннинг гидродинамик мезони асосида вертикал кўп қатламли, квази бир жинсли гидрогеологик пласт бўйича Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизиқли гидравлик модели ишлаб чиқилди.

10. Фурье усули асосида Қорасув сув омборига келиб қўшиладиган напорли ва напорсиз фильтрация оқимларини квазичизиқли гидравлик моделининг сонли эксперименти амалга оширилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.41/30.04.2021.Т.131.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ИНСТИТУТЕ ИРРИГАЦИИ И ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И
ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ**

УСТЕМИРОВ ШОХРУХ РУСТАМ УГЛИ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОХРАНИЛИЩ
(НА ПРИМЕРЕ КАРАСУВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

05.09.07–Гидравлика и инженерная гидрология

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

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2025.3.PhD/T5806

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте ирригации и водных проблем.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу (www.ismiti.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Махмудов Илхомжон Эрназарович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Сейтов Айбек Жумабоевич
доктор технических наук, профессор

Гашпаров Фуркат Ахматович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ташкентский архитектурно-строительный университет


Защита диссертации состоится «01» 11 2025 года в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.41/30.04.2021.T.131.01 при Научно-исследовательском институте ирригации и водных проблем (Адрес: 100187, г. Ташкент, Карасув-4, дом 11. Тел: 994344328, e-mail: ismiti@minwater.uz).


С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем (регистрационный номер № 8). (Адрес: 100187, г. Ташкент, Карасув-4, дом 11. Тел: 994344328.

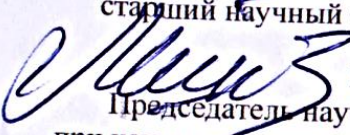
Автореферат диссертации разослан «9» 10 2025 года.

(реестр протокол рассылки № 8 от «9» 10 2025 года).



**О.Я. Гловацкий**
Председатель научного совета
по присуждению ученых
степеней, д.т.н., профессор

**У.А. Садиев**
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
старший научный сотрудник, PhD

**М.Р. Икрамова**
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое значение придается вопросам безопасного и эффективного использования водохранилищ, повышения эксплуатационной надежности сооружений, совершенствования методов гидравлического расчета водного баланса водохранилищ. В настоящее время в развитых странах, в том числе в США, Австралии, Бразилии, Испании, Германии, Южной Корее, Японии, Китае, России и других, «в целях обеспечения безопасности водохранилищ и паводковых зон установлена разработка методов оценки доли грунтовых и подземных вод, являющихся основной составляющей водного баланса»¹. В этой связи особое внимание уделяется рациональному управлению и применению инновационных технологий для их эффективного использования, повышения эффективности использования воды на водохозяйственных объектах, оценки технического состояния водохранилищ.

В мире ведутся научные исследования, направленные на обеспечение безопасного и эффективного использования водохранилищ на основе регулирования стока рек, обеспечение эксплуатационной надежности и безопасности сооружений, совершенствование трехмерной пространственной гидравлической модели неустановившегося фильтрационного потока, поступающего в водохранилище, и продление срока службы водохранилища. В этом направлении, среди прочего, приоритетными считаются исследования по совершенствованию методов гидравлического расчета водного баланса водохранилищ, разработка методов оценки основных составляющих водного баланса, доли грунтовых и подземных вод. При этом актуальными задачами являются совершенствование гидравлической модели расчета напорных и безнапорных фильтрационных потоков, поступающих в водохранилища, а также совершенствование гидродинамических и гидрохимических методов определения доли грунтовых и подземных вод в водохранилищах.

В нашей республике реализуются широкомасштабные меры по разработке технологических методов оценки состояния безопасности и надёжности плотин водохранилищ и расположенных на них гидротехнических сооружений, продлению сроков их эксплуатации, а также совершенствованию расчётов водного баланса, что позволило достичь определённых результатов. В Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы» определены важные задачи по «коренной реформе системы управления водными ресурсами и реализации отдельной государственной программы по экономии воды»². В решении этих задач особое значение имеет проведение научно-исследовательских работ по разработке методов количественной оценки динамики подземных водных потоков, обладающих научной и практической значимостью.

¹ <https://review.uz/oz/post/>

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года за № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Диссертационное исследование в определённой мере способствует реализации задач, установленных Законом Республики Узбекистан от 20 августа 1999 года «О безопасности гидротехнических сооружений», Указы Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», от 10 июля 2020 года № УП-6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы», Постановлении от 1 марта 2022 года № ПП-145 «О мерах по совершенствованию управления водными ресурсами на нижнем звене и регулированию отношений между водопользователями», от 9 октября 2019 года № ПП-4486 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 19 апреля 2022 года № 196 «О дополнительных мерах по повышению эффективности управления водными ресурсами на нижнем звене», а также другими нормативно-правовыми документами, регулирующими данную сферу деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий V. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

Степень изученности проблемы. Методики исследования гидрологических и гидрогеологических условий районов размещения водохранилищ достаточно хорошо изучены в работах Ю.М. Матарзина, К.К. Эдельштейна, А.И. Чеботарёва, А. Тенсли, А.М. Догановского, Ю.Б. Виноградова, С.П. Китаева, М.Я. Прытковой, И.И. Назарова, Ю.Д. Гаврилюка, Е.П. Матвеева, Г.А. Геворкяна, В.Н. Жамогорцяна, М.Р. Бакиева, Ф.У. Юсупова и др.

В области организации геодезических измерений на водохранилищах, разработки методов моделирования и расчёта деформационных процессов также выполнено достаточное количество исследований. В частности, в трудах Al-Ansari N., Adamo N., Sissakian V., Knutsson S., Laue J., Скрипникова В.А., Бугаковой Т.Ю., Басаргина А.А., Каленицкого А.И., Bayrak T., Мустафина М.Г., Грищенко Е.Н., Юнеса Ж.А., Хиллера Б., Ямбаева Х.К., Мазурова Б.Т., Salih S.A., Al-Tarif A.S.M., Soycan A., Soycan M., Кобелевой Н.Н., Хорошилова В.С. разработаны методики проведения геодезических измерений и методы оценки деформационного состояния плотин. Методы расчёта параметров грунтовых и подземных водных потоков, питающих открытые водоёмы, хорошо изучены в работах Б.И. Куделина, Г.Н. Каменского, Ф.А. Макаренко, С.А. Аверьянова, А.Т. Иванова, Л.С. Балашова, А.Н. Павлова, В.В. Пиотровича и др.

Вместе с тем, вопросам совершенствования методов и методик количественной оценки динамики подземных водных потоков в режиме водного баланса водоёмов: в гидродинамическом, воднобалансовом и гидрохимическом аспектах уделено недостаточно внимания.

Связь темы диссертации с планом научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем НД-5/2021-2022 «Определение объёма Карасувского водохранилища с помощью специальных приборов», НД-3/2023 «Выявление площадей с возможностью строительства малых водохранилищ на территории республики и подготовка научно-обоснованных рекомендаций и заключений», НД-2/2024 «Разработка новой редакции Правил эксплуатации Карасувского водохранилища».

Целью исследований является совершенствование методов гидравлического расчета водного баланса водохранилищ и компонентов подземных вод.

Задачи исследований:

ретроспективный анализ научно-исследовательских работ и фондовых материалов, посвященных методам расчета водного баланса водохранилищ;

на основе экспериментальных исследований совершенствование гидродинамических и гидрохимических методов определения доли грунтовых и подземных вод, являющихся основной составляющей водного баланса открытых водоемов на примере Карасувского водохранилища;

совершенствование трехмерной пространственной гидравлической модели неустойчивого фильтрационного потока, поступающего в водохранилище, на основе уравнений Буссинеска-Форхгеймера;

разработка квазилинейного метода гидравлического расчета напорного и безнапорного фильтрационного потока, поступающего в Карасувское водохранилище, на основе функции Гиринского и гидродинамического критерия Хагена;

совершенствование квазилинейной гидравлической модели напорного и безнапорного фильтрационного потока, поступающего в Карасувское водохранилище, на основе метода Фурье.

Объектом исследований выбрано Карасувское водохранилище Самаркандской области.

Предметом исследований является совершенствование методов количественной оценки динамики потоков подземных вод в водном балансе водных объектов.

Методы исследований. В ходе исследований использовались теоретические методы расчета водного баланса водохранилищ, общепринятые методы экспериментальных исследований, математическое моделирование и методы их численного решения.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

на примере Карасувского водохранилища усовершенствованы гидродинамические и гидрохимические методы определения доли грунтовых и подземных вод в подземных водоносных горизонтах различного генезиса, являющихся основными составляющими водного баланса открытых водоемов;

усовершенствована трехмерная пространственная гидравлическая модель неустойчивого фильтрационного потока, поступающего в водохранилище, на основе уравнений Буссинеска-Форхгеймера и функции Гирина;

для квазилинейного и квазиоднородного состояния водопрпускного слоя на вертикальной многослойной, квазиоднородной гидрогеологической слое разработана методика гидравлического расчета напорного и безнапорного фильтрационного потока, поступающих в Карасувское водохранилище;

на основе предположения об однородности подземного водоносного горизонта и его вертикальной неоднородности усовершенствована квазилинейная гидравлическая модель напорных и безнапорных фильтрационных потоков, поступающих в Карасувское водохранилище.

Практические результаты исследований заключаются в следующем:

на основе экспериментальных исследований на примере Карасувского водохранилища экспериментально обоснованы гидродинамические и гидрохимические методы учета фильтрационных и подземных вод, являющихся основными составляющими водного баланса открытых водоемов;

усовершенствованы методы гидравлического расчета составляющих водного баланса водохранилищ и подземных вод.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследований объясняется тем, что разработка теоретических решений базируется на общепринятых физических законах и апробированных математических методах, сопоставлением полученных теоретических результатов с результатами практически проведенных исследований, а также сопоставлением результатов, полученных другими учеными.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов исследований обусловлена усовершенствованием трёхмерной пространственной гидравлической модели нестационарного фильтрационного потока, поступающего в водохранилище, на основе уравнений Буссинеска-Форхгеймера, разработкой квазилинейного гидравлического метода расчёта напорных и безнапорных фильтрационных потоков, поступающих в Карасувское водохранилище по вертикальному многослойному квазиоднородному гидрогеологическому слою, основанного на функции Гирина и гидродинамическом критерии Хагена, а также усовершенствованием квазилинейной гидравлической модели напорных и безнапорных фильтрационных потоков, поступающих в Карасувское водохранилище, основанной на методе Фурье.

Практическая значимость результатов исследований обусловлена экспериментальным обоснованием гидродинамических и гидрохимических методов определения доли грунтовых и подземных вод, являющихся основными компонентами водного баланса открытых водоёмов, на примере Карасувского водохранилища, и совершенствованием методов

гидравлического расчёта компонентов грунтовых и подземных вод в водном балансе водохранилищ.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных результатов по совершенствованию методики гидравлического расчета водного баланса водохранилищ:

методика гидравлического расчета доли фильтрационных и грунтовых вод в водном балансе водохранилищ, внедрен в деятельность Зарафшанского БУИС (справка Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан от 24 июля 2025 г. № 04/19-1088). В результате проведенных работ удалось оценить долю фильтрационных и грунтовых вод, являющихся основными составляющими водного баланса водохранилищ;

трехмерная пространственная гидравлическая модель неустановившегося фильтрационного потока, поступающего в водохранилище, внедрен в деятельность Зарафшанского БУИС (справка Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан от 24 июля 2025 г. № 04/19-1088). В результате усовершенствована система мониторинга водного баланса водохранилища;

метод расчета квазилинейной гидравлической модели напорных и безнапорных фильтрационных потоков, поступающих в Карасувское водохранилище, внедрен в деятельность Мирзапайского УИС (справка Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан от 24 июля 2025 г. № 04/19-1088). В результате повысилась эффективность использования водохранилища, появилась возможность сэкономить 5-7% водных ресурсов в вегетационный период.

Апробация результатов исследований. Результаты диссертационной работы обсуждались на 7 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 6 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных к публикации Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора философии (PhD), в том числе 2 - в республиканских и 4 - в зарубежных журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 112 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость темы диссертации, приводятся сведения о целях и задачах исследования, объекте и предмете исследования. Указывается соответствие проведенного исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, описываются научная новизна и практические результаты исследования. Раскрыта теоретическая и практическая значимость

полученных результатов, приводятся сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структура диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Общие сведения о водохранилищах республики и мира, питаемых за счёт подземных и грунтовых вод, а также ретроспективный анализ методов расчёта фильтрационных потоков, питающих водохранилища»** проведён анализ методов расчёта и совершенствования водного баланса водохранилищ, методов определения параметров грунтовых и подземных водных потоков, питающих открытые водоёмы, а также ретроспективный обзор научных исследований, направленных на разработку и совершенствование гидрогеологических, гидродинамических, воднобалансовых, гидрохимических, физических и гидрологических методов расчёта водного баланса водохранилищ. В частности, в трудах Ю.М. Матарзина, К.К. Эдельштейна, А.И. Чеботарёва, А. Тенсли, А.М. Догановского, Ю.Б. Виноградова, С.П. Китаева, М.Я. Прытковой, И.И. Назарова, Ю.Д. Гаврилюка, Е.П. Матвеева, Г.А. Геворкяна, В.Н. Жамогорцяна и др. подробно исследованы методики изучения гидрологических и гидрогеологических условий районов размещения водохранилищ.

В работах И.Б. Вольфцуна, Л.Г. Гвелесиани, Н.П. Имальцелба, Ю.А. Ибад-Заде, С.А. Кондратьева, С.Д. Голосова, И.С. Зверева, В.А. Рябченко, А.Ю. Дворникова, К.Д. Креймана, С.В. Рянжина, М.Ю. Медведева, В.В. Меншуткина, Л.А. Руховца, Н.Н. Филатова, а также Arheimer B., Olsson J., Kennon F.W., Moriasi D.N., Gitau M.W., Pai N., Daggupati P. достаточно хорошо изучены эмпирические и полуэмпирические методы количественной оценки динамики подземных водных потоков в гидродинамическом, водобалансовом и гидрохимическом аспектах.

Вместе с тем подземные водные потоки в зависимости от гидрологических и гидрогеологических условий водоёмов протекают в асинхронной форме. Асинхронность водных потоков проявляется на основе сложных гидродинамических закономерностей. Однако существующие методы основаны на эмпирических или полуэмпирических выражениях, возможности которых по полному описанию указанных сложных гидродинамических процессов ограничены. В связи с этим, совершенствование методов гидравлического расчёта компонентов грунтовых и подземных вод в водном балансе водохранилищ в зоне воздействия напорных подземных вод приобретает важное значение.

Во второй главе диссертации под названием **«Состояние седиментации в чаше Карасувского водохранилища, экспериментальные исследования по определению его ёмкости»** проведён анализ гидрологического режима и морфометрических параметров водохранилища. С целью определения фактической ёмкости водохранилища, а также исследования режимов его питания грунтовыми и подземными водами, на соответствующих разрезах водохранилища с использованием доплеровского профилографа SONTEK S5 с GPS-устройством были получены экспериментальные данные гидрологических и морфометрических

параметров водохранилища (рис. 1).

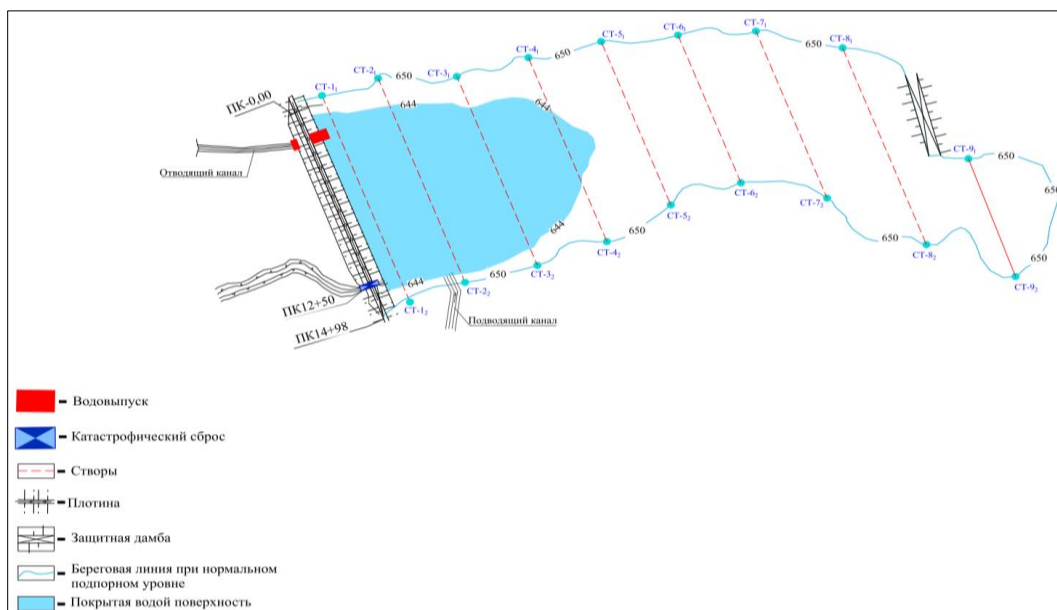


Рисунок 1. Расчетные разрезы, где проводились исследования по измерению мутности и осадков в бассейне водохранилища.

При определении объёма чаши водохранилища и площади водной поверхности использовались геоинформационные технологии (ГИС). В частности, для расчёта объёма чаши водохранилища и площади водной поверхности применялись программные продукты ArcGIS (модуль ArcMAP), QGIS, а также программное обеспечение Google Earth Pro, интегрирующие в себе возможности ГИС-технологий (рис. 2 и 3).

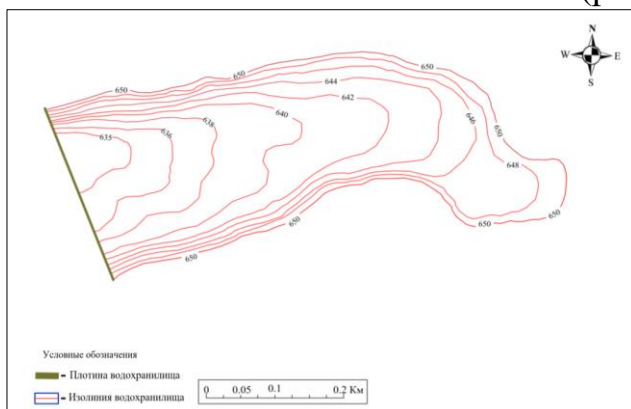


Рисунок 2. Карта изолиний водохранилища.

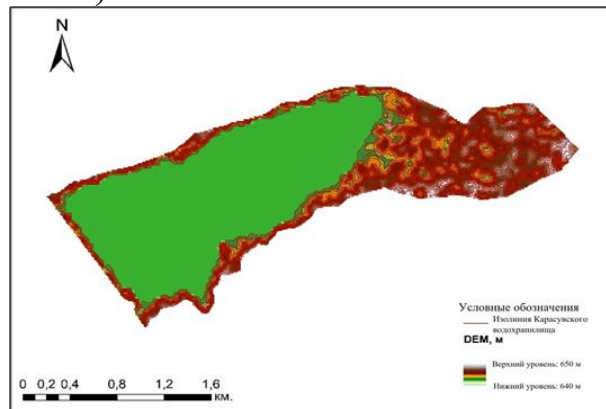


Рисунок 3. Уровни (высотные отметки) изображения водохранилища

В соответствии с методикой проведения исследования на следующем этапе был осуществлён процесс расчёта ёмкости водохранилища. Для этого использовалось выбранное изображение рельефа высот. С применением программных средств ГИС-технологий и инструмента *Storage Capacity* была рассчитана ёмкость воды на каждом уровне глубины чаши водохранилища (рис. 4-5).

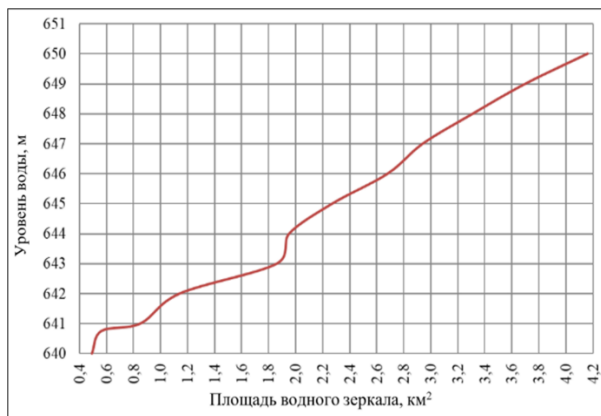


Рисунок 4. График зависимости уровня воды в водохранилище от поверхности воды

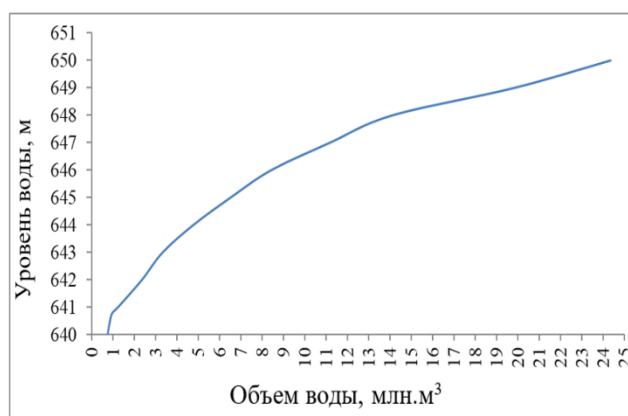


Рисунок 5. График зависимости уровня воды в водохранилище от объёма воды

Для определения объёма испарения с поверхности воды в чаше водохранилища были использованы технологии GAT для ежемесячного определения объёма воды в чаше водохранилища. На рисунках 6,7,8,9 представлены изображения объёма воды в чаше водохранилища в январе, апреле, июне и августе месяцах.

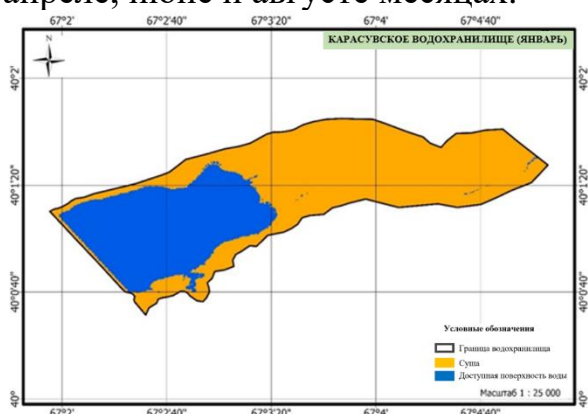


Рисунок 6. Объём воды в чаше водохранилища в январе

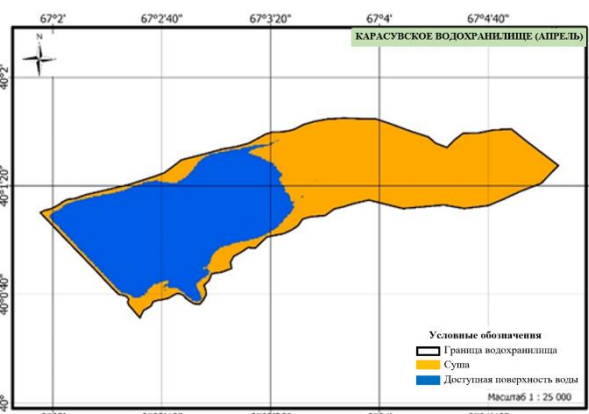


Рисунок 7. Объём воды в чаше водохранилища в апреле.

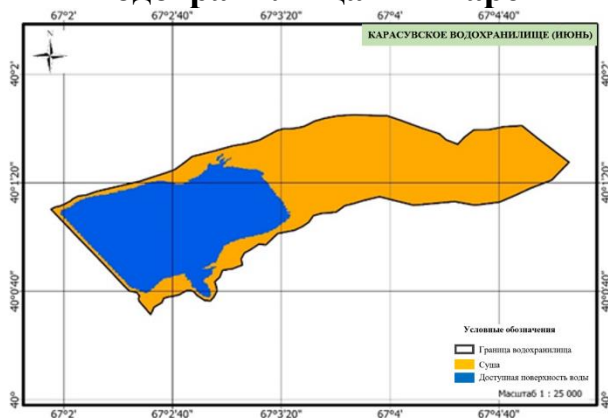


Рисунок 8. Объём воды в чаше водохранилища в июне

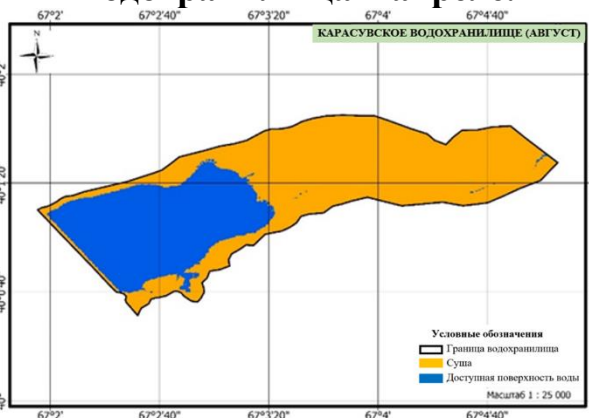


Рисунок 9. Объём воды в чаше водохранилища в августе

Согласно результатам, полученным с применением ГИС-технологий при определении объёма чаши водохранилища, в настоящее время общий объём воды при отметке нормального подпертого уровня составляет 28

24,36 млн.м³. Ёмкость водохранилища при отметке мёртвого уровня равна 0,93 млн.м³. Площадь водной поверхности чаши водохранилища при нормальном подпертом уровне составляет 4,16 км², а при мёртвом уровне 0,56 км². Экспериментальные результаты по определению объёма водохранилища были сопоставлены с результатами, уточнёнными посредством ГИС-технологий. Средняя погрешность сопоставления составила 6 %. Результаты определения месячного объёма испарений с водной поверхности чаши водохранилища, полученные по методикам, широко применяемым на практике, были сопоставлены с результатами, уточнёнными с использованием ГИС-технологий. Средняя погрешность сопоставления составила 4–5 %.

В третьей главе диссертации под названием «Гидравлические методы расчёта напорных и безнапорных фильтрационных вод, поступающих в Карасувское водохранилище», усовершенствованы гидравлические методы расчёта количества грунтовых и подземных вод, поступающих в водохранилище. В частности, в рамках диссертационного исследования грунтовые и подземные воды рассмотрены в целом как два компонента водного баланса. При этом возникла необходимость определения границ потока подземных вод как геоморфологических элементов (фильтрационные и инфильтрационные потоки, а также водоупорные слои и контуры водохранилища). В ряде случаев данные граничные условия носят гидродинамический характер, и требуется определение контуров сопряжения напорных и безнапорных фильтрационных потоков, а также пресных и минерализованных подземных вод.

Основными источниками формирования подземных вод, аккумулируемых в чаше Карасувского водохранилища, являются водные ресурсы, образующиеся в верхнем гидрогеологическом разрезе территории за счёт снега и жидких атмосферных осадков (рис. 10).

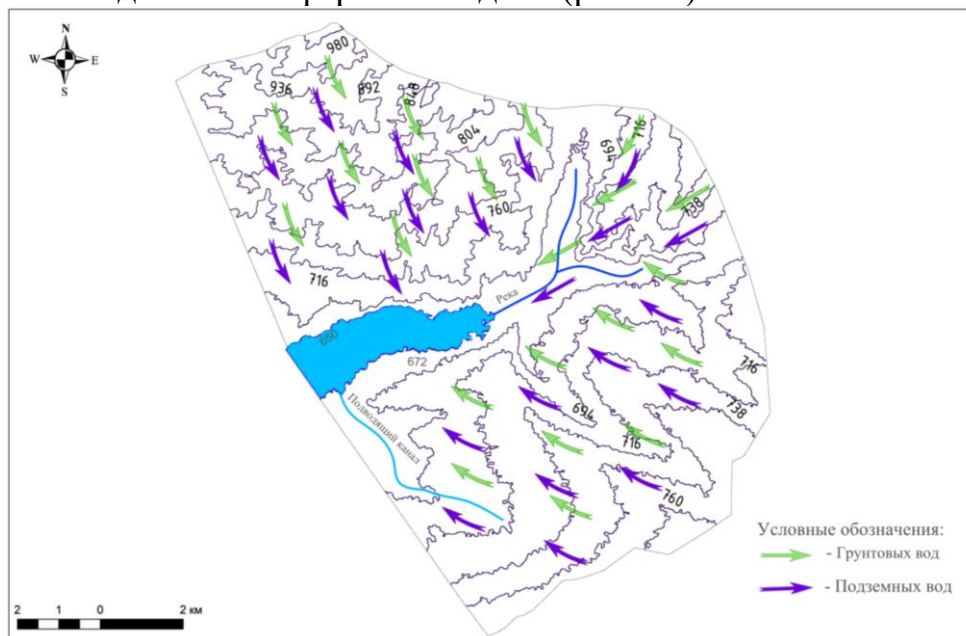


Рисунок 10. Векторы инфильтрационных и фильтрационных потоков, сформированных в зоне водохранилища.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено, что река Карасу и её притоки размывают четвертичные отложения территории на глубину 15–20 метров, пересекают верхний карбонатный известняковый слой.

Напорные и безнапорные фильтрационные потоки, поступающие в водохранилище, относятся к гидрокарбонатно-кальциево-магниевому типу, при этом их минерализация изменяется от 1 г/л до 4,3 г/л. Согласно химическим анализам проб воды, отобранных из эксплуатационных скважин, расположенных на левом и правом берегах водохранилища, минерализация подземных вод на левом берегу составляет 1–1,4 г/л, а на правом берегу варьируется в пределах 1,8–4,3 г/л.

На основе экспериментальных исследований, проведённых в рамках диссертационной работы, определены параметры поступления в водохранилище напорных (фильтрационных) и безнапорных (инфильтрационных) водных потоков. В вегетационный период суточный объём напорных фильтрационных притоков в водохранилище составил примерно 75 899,5 м³/сут. В тот же период среднемесячный объём инфильтрационной воды в водохранилище составил 682215 м³ (рис. 11 и 12).

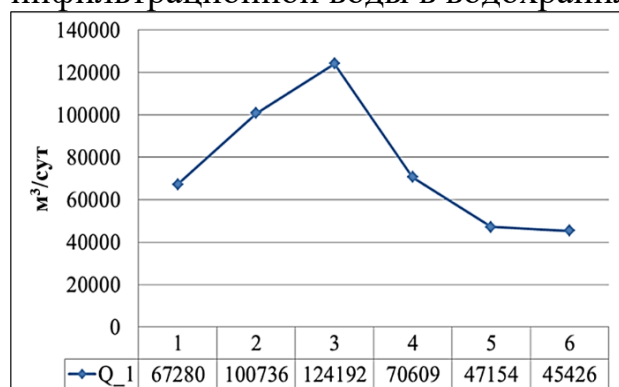


Рисунок 11. Примерный суточный объём напорных фильтрационных притоков в Карасувское водохранилище

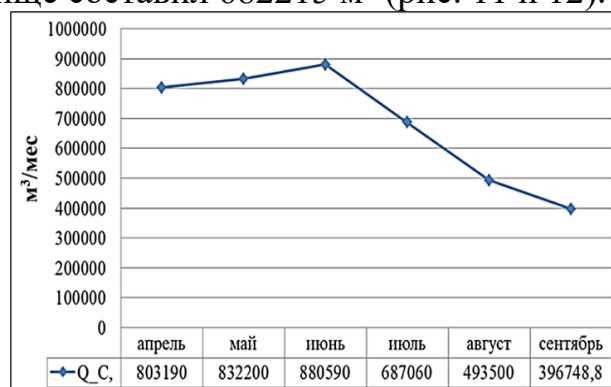


Рисунок 12. График расчетного объёма инфильтрационной воды, поступающей в Карасувское водохранилище в среднем за месяц

На основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что в вегетационный период (в течение 6 месяцев) средний объём напорных фильтрационных притоков в водохранилище составлял 13,5 млн.м³, а среднее количество безнапорных (грунтовых) фильтрационных притоков 4,1 млн.м³. Была разработана гидравлическая модель динамики подземных вод, поступающих в Карасувское водохранилище. Для этого использовалось уравнение Буссинеска – Форхгеймера:

$$\left[\frac{\partial}{\partial x} \int_0^H \frac{\partial \varphi}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^H \frac{\partial \varphi}{\partial y} dz \right] + \varepsilon = m_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

$$\varphi(x, y, z, t) = -kh(x, y, z, t) \quad (2)$$

здесь: $\varphi(x, y, z, t)$ - потенциал скорости фильтрации, $h(x, y, z, t)$ - напор, ε - модуль насыщения потока подземных вод, m_0 - коэффициент свободной пористости, H - мощность (толщина) слоя подземных вод.

Подставив выражение потенциала скорости фильтрации (2) в уравнение движения (1), получаем уравнение следующего вида:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial z} dz + \varepsilon = m_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3)$$

Теперь на основе уравнения (3) осуществлено гидравлическое моделирование. Для этого вводится следующая функция, аналогичная функции Гиринаго, которая широко применялась в гидравлической теории движения подземных вод:

$$Q_{ep} = -Hg \int_0^H k(z)(h-z)dz \quad (4)$$

здесь: $k(z)$ - коэффициент фильтрации; в сложных гетерогенных водоносных слоях коэффициент фильтрации изменяется по высоте (мощности) подземного водоносного пласта.

$$Hg = \frac{L^3}{\rho\nu^2} \left(-\frac{dP}{dx}\right) - \text{Критерий подобия Хагена}$$

здесь: L - длина береговой линии водохранилища (НПУ), ρ - плотность подземных вод, ν - кинематическая вязкость, P - давление в подземном водоносном слое.

Критерий подобия Хагена отражает отношение напора подземных вод к силам вязкого трения, то есть выражает отношение гидродинамических сил давления к силам трения. Применение функции Гиринаго обусловлено тем, что район расположения водохранилища состоит из многослойных водоносных пластов, и цель заключается в усреднении параметров напорного фильтрационного потока и коэффициентов фильтрации в данных пластах.

Принимая многочисленные слои гидрогеологического разреза района расположения водохранилища условно за однородный слой, интегрируем функцию (4) по соответствующим аргументам:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial x^2} &= -Hg \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h K(z) \frac{\partial h}{\partial x} dz \\ \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial y^2} &= -Hg \frac{\partial}{\partial y} \int_0^h K(z) \frac{\partial h}{\partial y} dz \\ \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial t} &= -Hg \int_0^h K(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Теперь, подставляя уравнения (1) и (2) в систему уравнений (5) и (3), получаем следующее:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = -\left(\frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q_{ep}}{\partial y^2}\right) + \varepsilon \quad (6)$$

Третье уравнение системы (5) проинтегрируем по частям (методом Фурье):

$$\begin{aligned} -Hg \int_0^H K(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz &= -Hg \left[\frac{\partial h}{\partial t} \left(\int_0^z K(z/\partial z) \right) \Big|_0^H - \int_0^H \frac{\partial^2 h}{\partial z \partial t} \left(\int_0^z K(z/\partial z) \right) dz \right] \Rightarrow \\ -Hg \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz &= -Hg \left[\frac{\partial h}{\partial t} \left(\int_0^z k(z) dz \right) \Big|_0^H - \frac{\partial^2 h}{\partial t \partial t} \left(\int_0^z \int_0^z k(z) (dz)^2 \right) \Big|_0^H + \right. \\ &\left. + \int_0^H \frac{\partial^2 h}{\partial x^2 \partial t} \left(\int_0^z \int_0^z k(z) (dz)^2 \right) dz \right] \quad (7) \end{aligned}$$

или

$$-Hg \int_0^H k(z) \frac{\partial h}{\partial t} dz = -Hg \sum (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial z^n} W^{n+1} \Big|_{z=h} \quad (8)$$

здесь: W — оператор интегрирования;

$$\left. \begin{array}{l} n=0 \text{ да } W=1 \\ n=1 \text{ да } W=\int_0^z k(z)dz \end{array} \right\} \quad (9)$$

Далее, исходя из условий гидравлического моделирования, были проанализированы два случая:

Случай 1. Подземный водоносный слой однороден по вертикали. В этом случае $k(z) = \text{const}$. Тогда для $n = \overline{0,1}$ получаем следующее выражение:

$$\frac{\partial Q_{\text{ep}}}{\partial t} = -H_g \cdot k \left[H \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{H^2}{2} \frac{\partial^2 H}{\partial z \partial t} \right] \quad (10)$$

Обозначив через $z=H$, получено следующее уравнение:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = -k \cdot H_g \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_{z=h} + \varepsilon \quad (11)$$

Продифференцировав уравнение (11) по аргументу t , подставив значение $\frac{\partial^2 H}{\partial z \partial t}$ в выражение (10), получаем следующий результат:

$$\frac{\partial Q(t,x)_{\text{ep}}}{\partial t} = H_g \cdot k \cdot H \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\mu H^2}{2} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad (12)$$

В результате соответствующих математических преобразований было получено решение уравнения (12):

$$Q(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int_0^t e^{\omega_n^2(t-\tau)} \cdot \varphi_n(\tau) d\tau \right) \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (13)$$

Случай 2. Пласт является гетерогенным по вертикали. В этом случае коэффициент фильтрации и коэффициент интегрирования выражаются следующими соотношениями:

$$k(z) = k_0 + \alpha z ; w = \int_0^z (k_0 + \alpha z) dz = k_0 z + 0,5 \alpha z^2 \quad (14)$$

$\alpha = \text{const}$

В этом случае с использованием уравнений (8), (11) и (14) получаем следующее уравнение: $\frac{\partial Q}{\partial t} = -W \frac{\partial H}{\partial t} - m_o \cdot H_g \cdot \frac{w^2}{k} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$ (15)

В результате соответствующих математических преобразований получаем частное решение в следующем виде:

$$Q(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^t e^{w_n^2(t-i)} \cdot \left(-\frac{2\alpha\varepsilon}{l} \int_0^l \sin \frac{\pi n}{l} x dx \right) d\tau \right] \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (16)$$

Численные эксперименты уравнений (13) и (16) представлены в графическом виде на рис. 13,14.

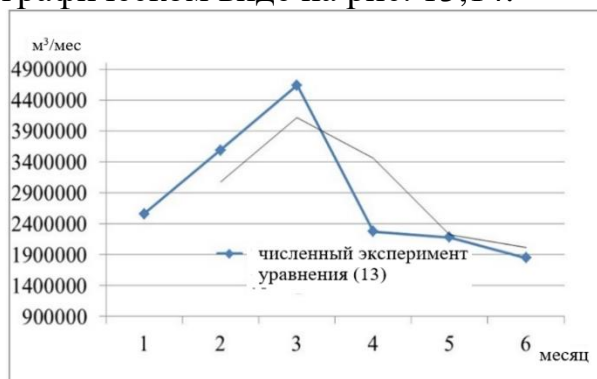


Рисунок 13. Численное решение уравнения (13) и сравнительный график экспериментальных результатов

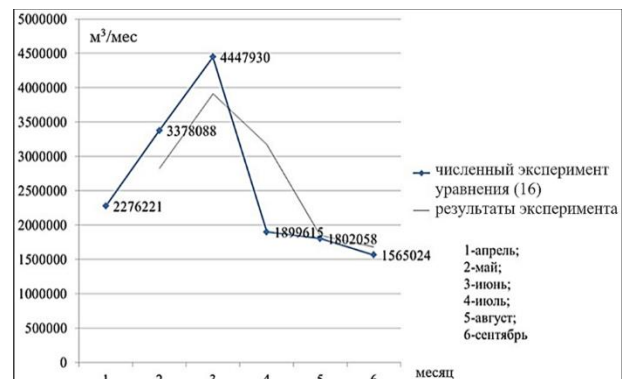


Рисунок 14. Численное решение уравнения (16) и сравнительный график экспериментальных результатов

ВЫВОДЫ

На основании исследований, выполненных по докторской диссертации (PhD) на тему «**Совершенствование гидравлических методов расчета водного баланса водохранилищ (на примере Карасувского водохранилища)**» представлены следующие выводы:

1. На основе ретроспективного анализа научно-исследовательских работ сделан вывод о том, что подземные водные потоки в водоёмах, в зависимости от климатических, гидрологических и гидрогеологических условий их отдельных участков, протекают в асинхронной форме. Асинхронность усложняет гидродинамические процессы, связанные с особенностями водных потоков. Существующие методы основаны на эмпирических или полуэмпирических выражениях, которые не позволяют в полной мере описать указанные сложные гидродинамические процессы.

2. Методы расчёта параметров грунтовых и подземных водных потоков, питающих открытые водоёмы, были усовершенствованы на примере конкретного объекта - Карасувского водохранилища. В частности, были доработаны методы определения доли грунтовых и подземных вод, являющихся основными компонентами водного баланса открытых водоёмов.

3. Основными источниками питания водохранилища являются река Карасу, питающий канал, а также грунтовые воды, формирующиеся за счёт атмосферных осадков. По оценкам, в водохранилище может поступать около 10–15 % фильтрационных вод. Вместе с тем анализ гидрогеологических данных показывает, что в районе расположения водохранилища имеются известняковые и угленосные водоносные пласты (C_{1-2}), которые во многих местах примыкают к водохранилищу по градиенту напора. За счёт этих подземных водных пластов водохранилище питается примерно на 25-30 %. Анализ гидрологических данных по водохранилищу и его источникам питания свидетельствует о интенсивном поступлении в чашу водохранилища как напорных, так и безнапорных фильтрационных потоков.

4. По результатам экспериментальных исследований установлено, что река Карасу и её притоки размывают четвертичные отложения территории на глубину 15–20 м и пересекают верхний известняковый слой карбона. Напорные и безнапорные фильтрационные притоки, поступающие в водохранилище, относятся к гидрокарбонатно-кальциево-магниевому типу, их минерализация изменяется от 1 до 4,3 г/л. По результатам химического анализа проб воды, отобранных из эксплуатационных скважин на левом и правом берегах водохранилища, минерализация подземных вод на левом берегу составлял 1–1,4 г/л, а на правом берегу 1,8–4,3 г/л.

5. Состав подземных карбонатных вод отличается от химического состава поверхностных вод повышенным содержанием ионов (HCO_3 , Mg^{2+} и Ca^{2+}). Поступление напорных подземных вод верхнего карбона в водохранилище можно выявить по индикатору ионов HCO_3 и Ca^{2+} . В зимне-весенний период концентрация указанных индикаторов невелика, тогда как в летне-осенний период она возрастает. Это объясняется тем, что

зимой и ранней весной благодаря атмосферным осадкам (в основном снег и ледники) происходит интенсивное вымывание минерализованных горных пород геологического разреза пресными водами, вследствие чего концентрация индикаторов HCO_3^- и Ca^{2+} снижается. Таким образом, в данный сезон наблюдается интенсивный водообмен в толще горных пород. Летом и осенью, напротив, за счёт минерализованных дождевых и селевых вод вымываются минерализованные горные породы геологического разреза, что приводит к росту концентрации ионных индикаторов.

6. На основе экспериментальных исследований установлено, что в вегетационный период (в течение 6 месяцев) в водохранилище поступает в среднем 13,5 млн.м³ напорных фильтрационных притоков и 4,1 млн.м³ безнапорных (грунтовых) фильтрационных притоков.

7. По результатам гидравлических расчётов подземных вод, поступающих в водохранилище, установлено, что помимо основных источников питания Карасувского водохранилища - реки Карасу и канала Абдуалим, питаемого от канала Эски Туятортар, доля подземных вод в питание водохранилища является значительным. В частности, вегетационный объём водохранилища формируется на 14,2 % за счёт подземных вод, в том числе доля напорных фильтрационных притоков составляет 10,8 %, а доля безнапорных фильтрационных притоков (грунтовых вод) - 3,4 %.

8. На основе уравнений Буссинеска – Форхгеймера усовершенствована трёхмерная пространственная гидравлическая модель неустановившегося фильтрационного притока в водохранилище.

9. На основе функции Гиринского и гидродинамического критерия Хагена разработана квазилинейная гидравлическая модель напорных и безнапорных фильтрационных притоков в Карасувское водохранилище для вертикально многослойного, квазиоднородного гидрогеологического пласта.

10. С использованием метода Фурье проведён численный эксперимент квазилинейной гидравлической модели напорных и безнапорных фильтрационных притоков в Карасувское водохранилище.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES
DSC.41/30.04.2021.T.131.01 AT THE SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF IRRIGATION AND WATER PROBLEMS**

**SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF IRRIGATION AND WATER
PROBLEMS**

USTEMIROV SHOKHRUKH RUSTAM UGLI

**IMPROVING HYDRAULIC METHODS FOR CALCULATING THE
WATER BALANCE OF RESERVOIRS
(ON THE EXAMPLE OF THE KARASUV RESERVOIR)**

05.09.07 – Hydraulics and engineering hydrology

**Dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Tashkent – 2025

The theme of doctoral dissertation (PhD) on technical science was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan with registration number of B2025.3.PhD/T5806

The dissertation has been prepared at the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on website (www.ismiti.uz) and information-educational portal Ziyonet at the address (www.ziyonet.uz).

Scientific advisor: **Makhmudov Ilkhomjon Ernazarovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Seytov Aybek Jumaboevich**
doctor of technical sciences, professor

Gapparov Furkat Akhmatovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent University of Architecture and Civil Engineering**

The defense of the thesis will be held "02" 11 2025 at 14⁰⁰ hours at the meeting of the Scientific council DSc.41/30.04.2021.T.131.01 at the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems. (Address: 100187, Tashkent, Qorasuv 4, 11. Tel: 994344328; e-mail: ismiti@minwater.uz).

The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Center of the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems (registered with № 8) at the address: 100187, Tashkent, Qorasuv 4, 11. Tel: 994344328.

Abstract of dissertation was sent « 9 » 10 2025.

(register of the distribution protocol № 8 from « 9 » 10 2025).



O.Y. Glovatskiy
O.Y. Glovatskiy
Chairman of the scientific council awarding
scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

U.A. Sadiev
U.A. Sadiev
Scientific secretary of the scientific council awarding
scientific degrees, senior scientific researcher,
PhD on technical sciences

M.R. Ikramova
M.R. Ikramova
Chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to improve the methods of hydraulic calculation of the water balance of reservoirs and the components of groundwater.

The object of the research Karasuv reservoir of Samarkand region was selected.

The scientific novelty of the research are:

using the Karasuv Reservoir as an example, hydrodynamic and hydrochemical methods for determining the share of groundwater and underground water in underground aquifers of various origins, which are the main components of the water balance of open water bodies, have been improved;

a three-dimensional spatial hydraulic model of an unstable filtration flow entering a reservoir has been improved based on the Boussinesq-Forchheimer equations and the Girinsky function;

for a quasi-linear and quasi-homogeneous state of the water-permeable layer on a vertical multi-layer, quasi-homogeneous hydrogeological layer, a method for hydraulic calculation of pressure and gravity seepage flow entering the Karasuv reservoir has been developed;

based on the assumption of the homogeneity of the underground aquifer and its vertical heterogeneity, a quasi-linear hydraulic model of pressure and gravity seepage flows entering the Karasuv Reservoir has been improved.

Implementation of research results. Based on the obtained results on improving the methodology for hydraulic calculation of the water balance of reservoirs:

the methodology for hydraulic calculation of the share of seepage and groundwater in the water balance of reservoirs has been implemented in the activities of the Zarafshan ISBM (reference of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated July 24, 2025, No. 04/19-1088). As a result of the work carried out, it was possible to estimate the share of groundwater and underground water, which are the main components of the water balance of reservoirs;

a three-dimensional spatial hydraulic model of an unsteady filtration flow entering a reservoir has been implemented in the activities of the Zarafshan ISBM (reference of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated July 24, 2025, No. 04/19-1088). As a result, the reservoir water balance monitoring system has been improved;

the method for calculating a quasi-linear hydraulic model of pressure and gravity filtration flows entering the Karasuv reservoir has been implemented in the Mirzapay ISM (reference of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated July 24, 2025, No. 04/19-1088). As a result, the efficiency of reservoir use has increased, and it has become possible to save 5-7% of water resources during the growing season.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 112 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. I.E.Makhmudov., U.T. Jovliev., Sh.M.Musaev., Sh.Ustemirov. The Current State Of Irrigation Networks And Their Use In The Water Sector Of The Republic Of Uzbekistan / Journal of Positive School Psychology/ 2022, Vol. 6, No. 5, 2947-2950. <http://journalppw.com>. SJR 0.54.

2. I.E.Makhmudov., J.J.Narziev., Sh.R.Ustemirov. Socio-Economic Situation In The Water Management Of The Republic Of Uzbekistan And The Regulatory-Legal And Economical Frameworks For The Implementing Of Water-Saving Technologies/ Journal of Positive School Psychology/ 2022, Vol. 6, No. 5, 2951-2955. <http://journalppw.com>. SJR 0.54.

3. I.Makhmudov., J.Narziev., Sh.Ustemirov. Hydraulic model of non-stationary filtration of an earth dam body. / Journal of Engineering and Technology (JET) ISSN(P):2250-2394 ISSN(E): Applied Vol. 12, Issue 2, Dec 2022, P. 27-34; PAPER ID: JETDEC20225. (05.00.00; №31).

4. Махмудов И.Э., Нарзиев Ж.Ж., Тохиров И.Х., Улугбеков Б.Б., Устемиров Ш.Р., Неъматов Д.Б. “Оценка безопасности и надежности плотин водохранилищ” - Научный журнал: «Univsum: технические науки». Выпуск: 3 (108) част 2. Москва 2023 – С. 5-6. (02.00.00; №1).

5. Махмудов И.Э., Нарзиев Ж.Ж., Улугбеков Б.Б., Устемиров Ш., Неъматов Д., Омондуллохонов Ф., Ражабов А.Х. “Исследования надежности водохранилищных сооружений” - «Меъморчилик ва қурилиш муаммолари» илмий техник журнал – Самарқанд: СамДАҚИ, - 2023 №1 (2-қисм) Б. 24-26. (05.00.00; №14).

6. Устемиров Ш.Р. “Сув омборига келиб қўшиладиган напорли филтрация ва напорсиз филтрация (сизот сувлар) оқимлари ҳажмини гидравлик ҳисоби” - «Меъморчилик ва қурилиш муаммолари» илмий техник журнал – Самарқанд: СамДАҚИ, - 2025 №2 Б. 100-106. (05.00.00; №14).

II бўлим (II часть; II part)

7. Makhmudov Ikhom, Narziev Jasurbek, Uktam Jovliev, Ulugbekov Bobur, Odiljon Sayliev, Shoxruh Ustemirov, Davlat Nematov. Mathematical model of ground deformation of a reservoir dam body. / III International Scientific and Theoretical Conference “Formation of innovative potential of world science” - Tel Aviv, State of Israel. 19 avg. 2022. P. 149-155.

8. Махмудов И.Э., Нарзиев Ж.Ж., Улугбеков Б.Б., Тохиров И.Х., Устемиров Ш.Р., Неъматов Д.Б., Омондуллохонов Ф. “Сув омбори тўғони ва ундаги гидротехника иншоотларидан ишончли ва хавфсиз фойдаланиш бўйича илмий асосланган меъёрлар” / Илм-Фан ва ишлаб чиқариш интеграцияси: муаммо ва ечимлари-2023 мавзусида халқаро илм.-амал. Анжуман // Наманган: НамМТИ, 1-том. - 2023. – Б. 41-43.

9. Нарзиев Ж.Ж., Тохиров И.Х., Улугбеков Б.Б., Устемиров Ш.Р., Неъматов Д.Б. “Сув омборлари фойдали ҳажмини ошириш бўйича чора-тадбирлар” / Сув ресурслари ва гидротехника иншоотларидаги муаммолар ва уларнинг ечимлари мавзусида илм.-амал. анжуман // Қарши: ҚИ ва АИ, - 2023. – Б. 217-221.

10. Махмудов И.Э., Нарзиев Ж.Ж., Улугбеков Б.Б., Устемиров Ш.Р., Неъматов Д.Б., Омондуллохонов Ф. “Сув омборлари фойдали ҳажмини аниқлаш ва самарали фойдаланишни ташкил этиш” / Замонавий инновацион тадқиқотларнинг долзарб муаммолари ва ривожланиш тенденциялари: ечимлар ва истиқболлар мавзусида илм.-тех. анжуман // Жиззах: ЎзМу Жиззах филиали, 1-қисм. - 2023. – Б. 340-345.

11. Б.И.Бобоёров, Ш.М.Мусаев, А.Б.Абдурахмонов, Б.Т.Қурбанбоев, Д.Б.Неъматов, Ш.Р.Устемиров. “Совершенствование научно-технологических методов строительства малых водохранилищ в условиях изменения климата” / “Янги Ўзбекистон: илм қалдирғочлари - 2024” талабаларнинг III халқаро анжумани // Жиззах: ЖизПИ, 1-қисм. – 2024. – Б. 375-380.

12. Ж.Нарзиев, Б.Улугбеков, Ш.Устемиров, Д.Неъматов. “Қорасув сув омбори техник ҳолатининг таҳлили” / “Глобаллашув даврида фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг ўзаро ҳамкорлиги масалалари” мавзусида халқаро илмий-амалий конференция // Жиззах: ЖизПИ, - 2024. – Б. 1036-1040.

13. Ж.Нарзиев, Б.Улугбеков, Ш.Устемиров, Д.Неъматов, А.Абдурахмонов “Сув омборларда ўтказилган илмий-техник дала тадқиқотлари (Новқа сув омбори мисолида)” / “Глобаллашув даврида фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг ўзаро ҳамкорлиги масалалари” мавзусида халқаро илмий-амалий конференция // Жиззах: ЖизПИ, - 2024. – Б. 1027-1032.

14. Ж.Нарзиев, Б.Улугбеков, Ш.Устемиров, Д.Неъматов, А.Абдурахмонов “Сув омборларда сув муҳофазаси фаолиятини такомиллаштириш бўйича чора тадбирларни ишлаб чиқиш (Оқбулоқ сув омбори мисолида)” / “Олий таълимни рақамлаштириш муҳитида инновацион технологиялар: муаммо ва ечимлар-2024” мавзусида халқаро илмий-амалий конференция // Жиззах: ЖизПИ, 2-қисм. – 2024. – Б. 1043-1047.

15. Устемиров Ш.Р., Улугбеков Б.Б. “Геоинформационный анализ Карасувского водохранилища” / “Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований” Сборник статей по материалам LXXXVIII международной научно-практической конференции // Новосибирск. Июнь 2025 г. № 6(79). – С. 31-37.

Автореферат “Irrigatsiya va Melioratsiya” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилган ва унинг ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнларини мослиги текширилган (28.08.2025 й.).



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 06.10.2025.
Bichimi 60x84 ¹/₁₆, “Times New Roman”
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 2,5. Adadi: 100. Buyurtma: №.144
Tel: (99) 832 99 79; (77) 300 99 09
Guvohnoma reestr № 10-3279
“IMPRESS MEDIA” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko‘chasi, 6-uy.