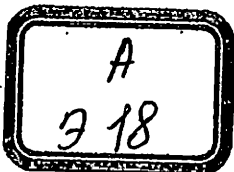


**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**  
**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**



**ЭГАМБЕРДИЕВ ҲОЖИАКБАР САЛОҲИТДИНОВИЧ**

**Кўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости  
сувларини геофилтрация жараёнларини  
математик моделлаштириш**

05.01.07 –Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

**ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

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

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

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

<b>Эгамбердиев Ҳожиакбар Салоҳитдинович</b> Қўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости сувларини геофилтрация жараёнларини математик моделлаштириш.....	3
<b>Эгамбердиев Ҳожиакбар Салоҳитдинович</b> Математическое моделирование процессов геофилтрации подземных вод в многослойных пористых средах .....	21
<b>Egamberdiev Khojiakbar Saloxitdinovich</b> Mathematical modeling of groundwater geofiltration processes in multilayer porous environments .....	39
<b>Эълон қилинган ишлар рўйхати</b> Список опубликованных работ List of published works.....	43

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЭГАМБЕРДИЕВ ҲОЖИАКБАР САЛОҲИТДИНОВИЧ**

**Кўп қатламли ғовак муҳитларда Ер ости  
сувларини геофилтрация жараёнларини  
математик моделлаштириш**

05.01.07 –Математик моделлаштириш. Соғли усуллар ва дастурлар мажмуи

**ТЕХНИКА ФАҢЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси **Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/Т1120 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажрилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) ва «Ziyoue» ахборот-таълим порталида ([www.ziyoue.net](http://www.ziyoue.net)) жойлаштирилган.

- Илмий раҳбар:** Джуманов Жамолжон Худойқулович  
техника фанлари доктори, профессор
- Расмий оппонентлар:** Нурашев Фахридин Муродиллаевич  
техника фанлари доктори, доцент
- Мурадов Фаррух Абдукахарович  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD),
- Етакчи ташкилот:** «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» миаллий тадқиқот университети

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSс.13/30.12.2019.Т.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «15» май да соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин 01/24 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2022 йил «30» июнь кунни тарқатилди.  
(2022 йил «24» май даги 6-рақамли реестр баённомаси).



**М.М.Мусаев**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлар доктори, профессор

**Н.О.Рахимов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
илмий хотиби, техника фанлари доктори

**Ш.А.Садуллаева**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
ҳузуридаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, доцент

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда аҳолини ичимлик суви билан таъминлашда ер ости сув ресурсларини баҳолаш ва улардан оқилона фойдаланиш, дарё оқимини ҳавзаси бўйлаб қайта тақсимланиш, ҳудудий ичимлик суви қонида сув алмашуви қонуниятларини аниқлаш, геофилтрация жараёнларини математик моделлаштириш ва юқори технологияли дастурий воситаларни қўллаш, илмий ҳамда амалий усулларни такомиллаштиришга катта эътибор қаратилмоқда. Ер ости гидросферасида ичимлик сув ресурсларини шаклланиши, кўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости сувларини ҳолатини аниқлаш, сув олиш иншоотларидан самарали фойдаланишда геофилтрация жараёнларини математик моделлаштириш усуллари алоҳида аҳамият берилмоқда. Ривожланган мамлакатларда, хусусан АҚШ, Канада, Франция, Хитой, Голландия, Дания, Япония ва Россия каби давлатларда мураккаб гидрогеологик шароитларнинг геофилтрация жараёнларини бошқаришнинг математик моделларини, алгоритмларини ҳамда дастурий воситаларини ишлаб чиқиш асосий вазифалардан бири ҳисобланади.

Жаҳонда ичимлик сув ресурсларини баҳолаш, ер ости сувларини захирасини ҳисоблаш ва ғовак муҳитли қатламларда юз бераётган ер ости сувларини геофилтрацияси жараёнларни математик моделлаштириш усуллари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий мажмуаларини яратишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, гидрогеологик ҳудудларда ичимлик суви таъминоти учун зарур бўлган ер ости сувларининг миқдори ва сифатини башорат қилиш, сув олиш жараёнини мукаммаллаштириш имкониятини берувчи ер ости гидросфераси хусусиятларини ўрганишни такомиллаштиришга йўналтирилган энг истиқболли усуллар математик моделлаштириш, тажриба-ҳисоблаш асосида масалаларни ечишга катта эътибор берилмоқда. Ер ости сувларининг гидрогеологик тавсифларини ва уларнинг ер усти сувлари билан ўзаро боғлиқлигини ҳисоблаш модели, алгоритмлари ва дастурий мажмуалари асосида техник ечимларни ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланмоқда.

Республикамиз мустақилликга эришганидан буён ичимлик сув ресурсларини баҳолаш, ер ости сувларини захирасини ҳисоблаш ва самарали мониторингини юритиш, кўп қатламли ғовак муҳитларда, яъни мураккаб гидрогеологик шароитларда юз бераётган геофилтрация жараёнларини математик моделлаш ҳамда ахборот технологияларини жорий этиш бўйича кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «...миллий иқтисодий ва маданий жадал ривожлантириш ва юқори ўсиш суръатини таъминлаш, ...геология соҳасида замонавий таълим стандартларини кенг жорий этган ҳолда малакали кадрларни тайёрлаш тизимини йўлга қўйиш

ҳамда илмий тадқиқот натижаларини амалиётга татбиқ этиш»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларнинг муваффақиятли бажарилиши мураккаб гидрогеологик тизимларни ҳолатини кузатиш, таҳлил қилиш ва самарали фойдаланиш, гидросферада турғунмас геофилтрация жараёнининг ахборот таъминоти, математик модели, алгоритми ҳамда дастурий воситаларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 4 майдаги ПҚ-2954-сон «2017-2021 йилларда ер ости сувлари захираларидан оқилона фойдаланишни назорат қилиш ва ҳисобга олишни тартибга солиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори, Вазирлар Маҳкамасининг 2013 йил 19 мартдаги 82-сон «Ўзбекистон Республикасида сувдан фойдаланиш ва сув истеъмоли тартиби тўғрисида»ги Қарори ва 2018-йил 19-февралдаги «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПФ-5349-сон Фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш», V. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ер ости сувлари ресурслари ва гидрогеологик мелиорация тизимини баҳолаш каби масалаларни ечишда геофилтрация жараёнларни математик моделлаштириш усулларини такомиллаштириш, шунингдек, кўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости сувлари геофилтрацияси масалаларини ечиш J.C.Refsgaard, Я.Бэр, J.Reichling, T.Himmelsbach, П.Я.Полубаринова-Кочина, Ж.Фрид, И.К.Гавич, А.А.Самарский, W.Kinzelbach, Л.Лукнер, В.М.Шестаков, В.М.Миرونенко, В.Г.Румынин ва бошқа олимларнинг илмий ишларида ўз аксини топган.

Ўзбекистонда гидрогеологик жараёнларни математик моделлари ва ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишда Ф.Б.Абуталиев, У.У.Умаров, И.Хабибуллаев, А.Нематов, Р.Н.Усмонов, Н.Равшанов, Ж.Джуманов, И.Н.Грачева ва бошқа олимлар салмоқли илмий натижаларга эришган.

Бугунги кунда гидрогеологик жараёнларни ҳудудлар бўйича тақсимланганлик хусусиятларини ва ер ости сувлари ҳолатини мониторинги тартиб элементларини ҳисобга олиниши билан филтрация жараёнларни математик моделлаштириш ҳамда ҳисоблаш тажрибалари асосида ҳар томонлама таҳлил қилиш усулларини интеграцияси муаммолари намоен бўлмоқда. Кўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости сувларининг геофилтрацияси жараёнларини математик моделини яратиш, сув тутувчи

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўъаллафлик ва илмий тадқиқотнинг тармоқли стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

хусусиятлари, физик-механик хоссалари ва узлуксизлик даражасига боғлиқдир. Ер ости суви сатҳи ва ҳолатини, бошланғич маълумотлар асосида жараёнларни математик моделлаштириш, ахборотлар массивини яратиш, натижаларни тизимли таҳлили ҳамда харитографик тасаввурини яратиш усулларига бағишланган илмий-тадқиқотлар етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетда №БВ-Атех-2018 (399+487) «Гидрогеологик жараёнларни уч ўлчамли моделларини тузиш ва икки компонентли муҳитда диффузион жараёнларни сонли моделлаштириш учун амалий дастурлар пакети яратиш» (2018-2019) мавзуларидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** кўп қатламли муҳитларда ўзаро боғлиқликдаги ер ости сувлари геофилтрацияси жараёнларини математик моделларини такомиллаштириш ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

кўп қатламли ғовак муҳитларда гидрогеологик жараёнларни математик моделлаштириш муаммоларининг ҳозирги кундаги ҳолатини таҳлил қилиш;

ер ости сувларини дарё ва канал сувлари ўзаро боғлиқликдаги геофилтрация жараёнлари математик моделлари асосида чегаравий масалани куриш ва уни сонли ечиш;

ер ости ва ер усти сувлари оқимларининг асосий геофилтрация жараёнларини ўзаро боғланганлик ҳолатини ҳисоблаш ва аниқлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

гидрогеологик ҳудудларнинг геофилтрация жараёнларини математик моделлари ва ҳисоблаш алгоритмлари асосида дастурий мажмуа ишлаб чиқиш;

Ўзбекистон Республикасининг алоҳида ҳудудлари учун гидрогеологик жараёнлар математик модели, сонли алгоритмлари ва ҳисоблаш тажрибалари асосида уни ижтимоий –реал масалаларни ечишда тадбиқ этиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида кўп қатламли гидрогеологик ҳудудлардаги тоғ жинслари массиви ва ер ости сувларини биргаликдаги ҳамда ўзаро боғлиқликдаги геофилтрацион жараёнлари қаралган.

**Тадқиқотнинг предмети** ер ости гидросфераси таркибий тузилиш омиллари, шаклланиш шароитларидаги гидрогеологик жараёнларни математик моделлари, ечиш алгоритмлари ва дастурий мажмуалари ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, математик моделлаштириш, сонли усуллар, алгоритмлаш ва дастурлаш, ер ости сув тутувчи қатламларнинг ўтказувчанлик кўрсаткичларини ўрганишда эмперик маълумотларга ишлов бериш усуллари фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

ер ости сувлари оқими жараёнларнинг мувозанат элементларини хусусиятлари ўртасидаги ўзаро боғлиқлик аниқланган, гидрогеологик

шартлар асосида математик модели такомиллаштирилган;

ер ости ва ер усти сувлари оқимларининг асосий геофилтрация жараёнларини сув танқис йилларини ҳисобга олган ҳолда ўзаро боғланганлик ҳолатини ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

кенг миқёсдаги ҳудудларни мураккаб гидрогеологик шароитларида ер ости ва ер усти суви билан ўзаро боғлиқликдаги оқимлар жараёнини ифодаловчи математик модел учун чегаравий масалалар қурилган ва ечиш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:**

кўп қатламли гидрогеологик ҳудудлар тоғ жинслари, ер ости ва ер усти сувларини ўзаро боғлиқликдаги геофилтрация жараёнларини сонли тадқиқ қилиш математик модели ва ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилди;

ер ости сувлари геофилтрацияси, ўзгариш қонуниятлари, табиий шароитларда ҳамда жадал антропоген таъсири остида содир бўлаётган жараёнлар асосий кўрсаткичлари ва тавсилотлари аниқланди;

кўп йиллик табиий ва техноген омиллар таъсирида, сув танқислиги шароитида ер ости сувларини комплекс ишлатилиш бўйича амалий таклифлар ишлаб чиқилди.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги батафсил математик ифодалар ва қатъий белгиланган математик амаллар билан тасдиқланган. Моделнинг адекватлик масаласи объект элементлари фарқини минимумлашувига келтириш билан амалга оширилган, сонли тажриба-ҳисоблаш натижалари ўлчов-қузатув мониторинги маълумотлари билан солиштирилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти гидрогеологик тизимларда математик моделлаштиришни илмий умумлаштириш, ер ости сувлари филтрация жараёнлари қонуниятларини табиий ва антропоген таъсири остида баҳолаш ҳамда ер ости сувлари сизилиш кўрсаткичларини ахборот таъминоти ва ҳисоблаш эксперимент усулларини ривожлантириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ер ости гидросферасида геофилтрация жараёнлари билан биргаликдаги бир ва кўп қатламли ғовакли муҳитларда турли бошланғич ва чегаравий шартлар асосида ер ости суви сатҳи ва босимли суви ҳолатини баҳолашнинг алгоритмлари ва дастурий воситалари ишлаб чиқилганлиги билан тавсифланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Кўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости ва ер усти сувларини биргаликда ва ўзаро боғлиқликдаги геофилтрацияси жараёнларининг математик моделлари асосида:

кўп қатламли гидрогеологик ҳудудлардаги тоғ жинслари массиви ва ер ости сувларини ўзаро боғлиқликдаги геофилтрация жараёнларини математик модели ҳамда ер ости сувлари оқими жараёнларининг мувозанат элементлари ўртасидаги хусусиятлар ўзаро боғлиқликни аниқлаш усуллари «Ғарбий Ўзбекистон дала гидрогеологик станцияси» ва «Қашқадарё гидрогеологик станцияси»да жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси



Давлат геология ва минерал ресурслар Кўмитасининг 2022 йил 10 майдаги 07-39-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқотлар натижалари мураккаб гидрогеологик ва сув танқислиги шароитида маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш масалаларини ечиш имконини берган;

ер ости ва ер усти сувлари оқимларининг асосий геофилтрация жараёнларини ўзаро боғланганлик ҳолати алгоритмлари, кенг миқёсдаги ҳудудларни мураккаб гидрогеологик шароитларида ер ости ва ер усти суви билан ўзаро боғлиқликдаги жараённи математик модели, алгоритми ва дастурий воситалари «Аму-Қашқадарё ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси қошидаги мелниоратив экспедиция» ва «Гидротехника ирригация ХЭЖК» корхоналарида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 21 ноябрдаги 33-8/3538-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши ер ости гидросферасида сув ҳўжалик шароитларининг ўзгариш ҳолати, математик моделларини амалда жорий этиш ҳисобига мониторинг ва самарали бошқарув қарорларини қабул қилиш тизимини шакллантириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур диссертация тадқиқотининг натижалари 4 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола, жумладан, 5 та хорижий ва 5 та республика журналларида чоп этилган ҳамда 3 та ЭХМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг Ўзбекистон Республикаси фани ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мос равишда долзарблигини ва зарурияти асосланган, мақсад ва вазифалар шакллантирилган, тадқиқотнинг объекти ва предмети кўрсатилган, унинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, назарий ва амалий аҳамиятлари очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этиш ҳолатлари, шунингдек, тадқиқот натижаларининг чоп этилганлиги ҳамда диссертация тузилиши ҳақида маълумотлар келтирилган.

**Диссертациянинг «Ер ости сувлари оқими ҳаракатининг гидрогеологик жараёнларини математик моделлари ва адабиётлар шарҳи»** деб номланган биринчи бобда дунёда ва мамлакатимиз миқёсида

сўнги ўн йилликларда гидрогеологик тизимлардаги геофилтрация жараёнларини математик моделлаштириш ҳамда уларни сонли ечиш усуллари бўйича чоп этилган илмий адабиётлар ва мақолалар таҳлили келтирилган. Тадқиқот йўналиш бўйича масалаларининг қўйилиши, модел, алгоритм ва сонли усуллари қўлланиши бўйича гидрогеологик ҳудудларни таълаб олиш, ҳудудни идентификациялаш, геофилтрацияли схемалаш, ғовак муҳитлар ва ер ости сувлари билан ҳосил қилган чегаравий шартлар ва моделлаштириш тизимининг тузилиши ва хусусиятлари таҳлили каби тушунчалар ёритилган.

Илмий адабиётлар шарҳида ғовак муҳитларда қўп қатламли гидрогеологик жараёнларини моделлаштириш масалалари, фундаментал ва амалий тадқиқотлар натижалари, гидрогеологик жараёнларини сонли моделлаштириш, ҳисоблаш математикаси ва оддий дифференциал тенгламаларни ечишда чекли айирмалар схемаси усулларига бағишланган тадқиқотлари ва амалий дастурлар пакети, айниқса, ирригация ва грунт сувларининг текисликдаги оқимини, сизилиш кўрсаткичлари жараёнини таҳлил қилиш ва башоратлаш муаммоларини ҳал қилиш учун ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситаларининг математик моделларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш кўриб чиқилган.

Гидрогеологик-мелиоратив масалаларни ечишда ҳар бир ҳудуднинг ўзгарувчан шарт-шароитига қараб, аниқ бир ҳолат учун суғориладиган майдонлар хусусиятлари, қишлоқ хўжалик экинлари турлари ўзгариши ва уларга мўлжалланган суғориш меъёрлари, суғориш режими, шўрланган ерларни ювиш шарт-шароитларини ҳисобга олиш зарур. Бундан ташқари ирригация тармоқлари, зовур ва заҳкашлар тармоғи, табиий оқар сув тармоқлари ва уларнинг ер ости сувлари билан ўзаро алоқасини, ер ости сувларининг кириб келиши ва чиқиб кетиш миқдорий қийматлари ҳамда сув олиш иншоотларининг лойиҳалари ва уларнинг ҳақиқий сув олиш қийматларини эътиборга олиш кераклиги белгиланади.

Аҳолини ичимлик суви манбаи таъминотида ишлаб чиқилган назарий, технологик, методологик ва дастурий ишланмаларини ишончлилик ҳамда аниқликлар бўйича синовлардан ўтказиш, турли хил қўлланиладиган усуллар асосида гидрогеологик тизимларда гидрогеологик ва муҳандис геологик вазибаларни ҳал этиш учун математик моделларни такомиллаштириш, геофилтрация жараёнларини математик моделлаштиришда табиий геологик ва гидрогеологик шарт шароитларни ҳисобга олиб, ўз навбатида техноген вазиятларни инобатга олувчи махсус масалаларнинг қўйилишига ва ечиш тамойилларига эътибор берилиши лозим.

Диссертациянинг «Китоб-Шаҳрисабз ҳудудида ер ости сувларини геофилтрация жараёнларини математик моделлаштириш» деб номланган иккинчи бобда ўрганилаётган ҳудуддаги ер ости грунт ва босимли сувлари Китоб-Шаҳрисабз ер ости суви конининг гидрогеологик ўрганганлиги, шарт-шароитларни схемалаштириш ҳақида маълумотлар ва унинг ахборот ҳамда математик модели келтирилган. Асосий эътибор, ўрганилаётган гидрогеологик тизимни (майдонни) моделлаштиришда муҳим

босқич геофилтрация схемасига берилган бўлиб, у бошланғич ва чегаравий шартларни, гидросфера параметрларини, баланс элементлари асоси ва филтрланиш режимини танлашнинг миқдорий ўзгаришлари олинди.

Геофилтрация схемаси ер ости суви ҳаракати жараёнини тавсифловчи математик моделни яратишга имкон берди. Уни амалга ошириш учун алгоритмик дастурлаш тилларидан бирида компьютер дастурларини тузиш, ечиш ва компиляция қилишга маъқул хусусиятлар ва усул танланган.

Ер ости сувларини гидрогеологик мелiorатив дренажлаш шарт-шартларига кўра ҳудудларга ажратилишида қўйидаги асосий талаблар инobatга олинди: сув ўтказувчи ва сувга чидамли комплексларнинг литологик-фациол тузилиши ва пайдо бўлиш шартлари; улар билан боғлиқ бўлган ер ости сувларини тўйинтириш таъминоти ва сатҳ тушириш шартлари; қўп қатламли ғовак мухитли комплексларда филтрланиш хусусиятлари; сув ўтказувчанлик хусусиятлари: режалаштирилган геологик чегараларни тақсимлаш (паст ўтказувчан тоғ жинсларининг ўзаро алоқаси); гидрографик тармоқнинг ҳолати ва ер ости сувлари билан ўзаро алоқаси; тектоник тузилиш (ёриқлар, депрессиялар, қўтарилишлар) ҳудуд омилларни ҳисобга олган ҳолда иккита гидродинамик минтақа аниқланди.

Ер ости сувларининг ўзаро муносабатларини асосий кўрсаткичлари, оқим тезлиги, сизилиш омиллари ва сув ресурсларини аниқлаш каби масалалар ёритиб берилган. Китоб-Шаҳрисабз ер ости сув конларида эксплуатация жараёнларнинг бориши, режим кузатувлари натижаларини қайта ишлаш ва таҳлил қилиш, ер ости сувларининг ҳолатини ўрганиш ва уларни ҳимоя қилиш, ер ости сувлари сатҳини ўзгартиришини башорат қилиш, сизилиш жойларини аниқлаш, уларнинг миқдорини ўрганиш, ер ости сувларида дарё суви билан ўзаро алоқа масалари кўриб чиқилган. Шунингдек, ер ости грунт ва босимли сувлари, уларнинг ўзаро боғлиқликлари, сув алмашиниш жараёни ҳамда геофилтрация жараёнларининг математик моделлаштириш келтирилган.

Ер ости грунт сувлари мувозанат тенгламаси, бирор  $G$  соҳада гидрогеологик тизимларнинг геофилтрация жараёнларини математик модели дифференциал тенгламалар тизимига асосланган бўлиб, сув тутувчи қатламларни ўзаро боғловчи ҳамда вақтга боғлиқ ҳудудий текисликдаги ер ости суви оқими динамикасини ифодалайди ва хусусий ҳосилалари параболик турда қўйидаги математик модель кўринишга эга бўлади:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \eta (J - Q_s - f + Q_r - Q_d) \quad (1)$$

қўйидаги кўринишга эга бўлган бошланғич,

$$h(x, y, t)_{t=0} = \phi(x, y); \quad (x, y) \in G; \quad t = t_0; \quad (2)$$

ва чегаравий шартлар,

$$h(x, y, t) = \phi_2(x, y); \quad (x, y) \in \Gamma_1; \quad t > t_0; \quad (3)$$

$$-kh \frac{\partial h}{\partial n} = \phi_3(x, y); \quad (x, y) \in \Gamma_2 \quad t > t_0; \quad (4)$$

$$-kh \frac{\partial h}{\partial n} = \gamma(h_0 - h); \quad (x, y) \in \Gamma_3 \quad t > t_0 \quad (5)$$

бу ерда  $\mu$  - қатламнинг сув бериш қобилияти ёки тўйинганликнинг етишмовчилиги (ўлчовсиз катталиқ);  $x, y$  - текисликдаги координаталар,  $m$ ;  $t$  - вақт, сутка;  $h = h(x, y, t)$  - ер остидан ер юзасига қадар сувнинг сатҳи,  $m$ ;  $k = (x, y)$  - қатламни сув сизилиб ўтказувчанлик коэффициенти, яъни филтрация коэффициенти,  $m/сут$ ;  $\eta$  - моделни ўлчовли кўринишга ўтказиш коэффициенти (тенгликларнинг масса алмашинуви коэффициенти);  $J = J(x, y)$  - ер усти сувларининг сизилиб кириши, яъни ёгин сочинларнинг инфилтрацияси,  $m/сут$ ;  $Q_b$  - сув босиши, яъни грунт сувларининг ер устига чиқиб кетиши;  $\gamma$  - ер ости ва ер усти сувларининг ўзаро боғлиқлигининг гидрогеологик шарты.

(1) тенгламани (2)-(5) бошланғич ва чегаравий шартлар асосида ечиш Ф.Б.Абуталиев, И.И.Измайлов, И.Хабибуллаев каби олимлар томонидан ишлаб чиқилган сонли усуллар ёрдамида, дифференциалдан чекли айирмага ўтиш А.А.Самарский, М.М.Крылов, С.Ф.Аверьянов каби олимлар томонидан ишлаб чиқилган локал бир ўлчовли схемадан фойдаланиб, сонли-айирмали схемалар ва ҳайдаш (прогонка) усуллари кўллаш асосида ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди.

Ер ости сувларини геофилтрациясида грунт сувларининг пастки босимли сувлари билан ўзаро боғлиқлигини Буссинеско тенгласидан фойдаланган ҳолда қуйидагича ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} \mu \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} (k_1 h \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_1 h \frac{\partial h}{\partial y}) - k_s (1 - \frac{H}{h}) + \eta W, \\ \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} (k_2 m \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_2 m \frac{\partial H}{\partial y}) + k_s (1 - \frac{H}{h}) - \eta W_1. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(6) система қуйидаги бошланғич ва чегаравий шартлар асосида ечилади:  
бошланғич шартлар:  $h|_{t=0} = h_0, H|_{t=0} = H_0,$  (7)  
чегаравий шартлар:

$$m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=0} = -(h - h_0), \quad m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=L} = (h - h_0), \quad (8)$$

$$m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=0} = -(h - h_0), \quad m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=L} = (h - h_0), \quad (9)$$

$$m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=0} = -(H - H_0), \quad m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=L} = (H - H_0), \quad (10)$$

$$m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=0} = -(H - H_0), \quad m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=L} = (H - H_0), \quad (11)$$

$$H|_{x=m+0} = h|_{x=m-0}, \quad H|_{y=m+0} = h|_{y=m-0}, \quad (12)$$

$$k_2 m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=m+0} = k_1 m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=m-0}, \quad k_2 m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=m+0} = k_1 m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=m-0}. \quad (16)$$

бу ерда  $h_0, H_0$  – ер ости сув сатҳи ва босимларининг бошланғич қийматлари.

Чегаравий шартлар табиий, гидрологик ва гидрогеологик шарт шароитлардан келиб чиқиб, геофильтрация соҳаси чегарасида ер ости суви сатҳи ёки сув сарфи, ёки бўлмас сув сатҳи ва сарфининг ўзаро муносабатларини аниқловчи I, II, III уч турдаги ифодалар асосида бериледи, юқорида келтирилган моделлар ва уларни амалга оширувчи услублардан фойдаланиб, ер ости сувлари ҳолати ўзгариши, уларнинг ер усти сувлари билан боғлиқлиги ва чучук сувларнинг ўзгариши масалаларини текисликда ва вақт ўзгариши бўйича тадқиқ қилиш мумкин.

Минтақавий миқёсдаги худудлар дарё ўзани бўйлаб ер ости сув оқими ўнлаб километрга чўзилади. Минтақавий ер ости суви шаклланишининг қонуниятлари геологик тузилиши, сув тутувчи қатламларнинг таркибий тузилиши хусусиятлари, ер ости суви оқимининг сув таъминоти ва сувни сарфланиш шарт шароитлари билан аниқланади. Моделлашнинг сифатли бажарилишида ҳисоб жараёнларининг хусусиятлари ва омилларнинг йўналиши табиий ҳолатга мослиги (адекватность), дастурлаш билимини ҳамда мураккаб гидрогеологик шароитлар ҳисобга олинган.

Ночизикли хусусий ҳосилални дифференциал тенгламалар системалари билан ифодаланган (6)-(16) масаланинг ифодаси сонли интеграцияси учун чекли айирмали усулига асосланган рақамли алгоритм ишлаб чиқилди.

Диссертациянинг «Қўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости сувларини геофильтрация жараёнларини сонли ҳисоблаш» деб номланган учинчи бобида ностационар бўлган вазиятлардаги масалаларни таҳлил қилишда сувли тизимнинг ўзгариши имкониятларини ҳисобга олиш, ўрганиш икки ўлчовли фильтрация тенгламаси асосида амалга оширилиш масалалари қаралган. Сув қонида сув олиш иншооти ёрдамида сув олинаётган гидрогеологик масалаларига кўра фильтрланиш жараёнининг ривожланишини кўриб чиқилган.

Бир қатламли ва кўп қатламли ғовак муҳитларда эркин оқимли ер ости сувлари геофильтрацияси жараёни математик моделини сонли ечими ва унинг тамойиллари келтирилган. Сонли ечиш давомида ўзгармас катталикларни киритиш, ошқормас чекли айирмали схемадан фойдаланиш, аппроксимациялаш, алгебраик тенгламалар системасига келтириб олиш, чизикли алгебраик тенгламалар системасини ҳайдаш (прогонка) усули билан ечиш ҳамда  $\alpha$  ва  $Oy$  йўналиши бўйлаб ер ости сув сатҳларининг чегарадаги қийматларини топиш тадқиқотлари амалга оширилган.

Масалаларни чекли-айирмали яқинлашишдан фойдаланиб, алгебраик тенгламалар тизимини ҳосил қиламиз, уни ечиш орқали объектнинг керакли параметрларини ва уларнинг вақт ва йўналишлар бўйича ўзгаришларининг мақбул қийматларини аниқлаймиз. (1)-(5) масалаларни ечиш учун ўлчовсиз

катталикларни киритамиз ва (1) тенгламадаги дифференциал операторларни чекли-айирмали операторларга алмаштириб, бўйлама-кўндаланг йўналиш схемасидан фойдаланиб,  $O_x$  йўналиш бўйича қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{1}{\bar{h}_{i,j}} \frac{(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - (h^2)_{i,j}^n}{0.5\Delta\tau} = \frac{k_{i-0.5,j}(h^2)_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + k_{i+0.5,j}(h^2)_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} + \frac{k_{i,j-0.5}(h^2)_{i,j-1}^n - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})(h^2)_{i,j}^n + k_{i+0.5,j}(h^2)_{i,j+1}^n}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^n. \quad (17)$$

(17) системани сатҳ функциясининг квадратига нисбатан  $h^2 \approx 2\bar{h}h - \bar{h}^2$  каби ёзамиз, ўхшаш ҳадларни ихчамлаганимиздан кейин чекли-айирмани алгебраик тенгламалар системаси кўринишида ифодалаймиз:

$$a_{i,j}h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} - b_{i,j}h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + c_{i,j}h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = -d_{i,j}, \quad (18)$$

бу ерда  $a_{i,j} = \frac{2k_{i-0.5,j}\bar{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2}$ ,  $b_{i,j} = \frac{2(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})\bar{h}_{i,j}}{\Delta x^2} - \frac{4}{\Delta\tau}$ ,  $c_{i,j} = \frac{2k_{i+0.5,j}\bar{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2}$ ,

$$d_{i,j} = \left( \frac{4}{\Delta\tau} - \frac{2(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})\bar{h}_{i,j}}{\Delta y^2} \right) h_{i,j}^n + \frac{2k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2} h_{i,j-1}^n + \frac{2k_{i,j+0.5}\bar{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2} h_{i,j+1}^n - \frac{k_{i-0.5,j}\bar{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})\bar{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\bar{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})\bar{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\bar{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}.$$

Оу йўналишида (18) системани  $\omega_{\Delta x, \Delta y, \Delta\tau}$  тўрда ошқормас схемани қўллаб аппроксимация қиламиз, сатҳ функциясининг квадратига нисбатан ифодадан фойдаланиб ва уни уч диагоналли алгебраик тенгламалар системаси кўринишида қуйидагича ифодалаймиз:

$$\bar{a}_{i,j}h_{i-1,j}^{n+1} - \bar{b}_{i,j}h_{i,j}^{n+1} + \bar{c}_{i,j}h_{i+1,j}^{n+1} = -\bar{d}_{i,j}, \quad (19)$$

бу ерда  $\bar{a}_{i,j} = \frac{2k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2}$ ,  $\bar{b}_{i,j} = \frac{2(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})\bar{h}_{i,j}}{\Delta y^2} - \frac{4}{\Delta\tau}$ ,  $\bar{c}_{i,j} = \frac{2k_{i,j+0.5}\bar{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2}$ ,

$$\bar{d}_{i,j} = \left( \frac{4}{\Delta\tau} - \frac{2(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})\bar{h}_{i,j}}{\Delta x^2} \right) h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{2k_{i-0.5,j}\bar{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2} h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{2k_{i+0.5,j}\bar{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{2k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{k_{i-0.5,j}\bar{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})\bar{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\bar{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})\bar{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\bar{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}},$$

(19) тенгламалар системасини ҳайдаш усулидан фойдаланиб

$$\text{ҳисоблаймиз: } O_x \text{ йўналишида } h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{i+1,j} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{i+1,j}, \quad (20)$$

$$O_y \text{ йўналишида } h_{i,j}^{n+1} = \bar{\alpha}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} + \bar{\beta}_{i,j}, \quad (21)$$

каби рекуррент формулардан фойдаланиб (20) ва (21) ифодаларда  $\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}, \bar{\alpha}_{i,j}, \bar{\beta}_{i,j}$  ларни топиш учун  $i$  ни  $i-1$  га  $j$  ни  $j-1$  га алмаштираемиз:

$$h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{i,j} h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{i,j}, \quad h_{i,j-1}^{n+1} = \bar{\alpha}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} + \bar{\beta}_{i,j}$$

бу ерда  $\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}, \bar{\alpha}_{i,j}, \bar{\beta}_{i,j}$  лар ҳайдаш коэффициентлари, ҳисоб китоблардан сўнг  $O_x, O_y$  йўналишлари бўйича ҳайдаш (прогонка) коэффициентларини топиш учун қуйидаги рекуррент ифодалардан фойдаланамиз:

$$\alpha_i = \frac{c_{i-1,j}}{b_{i-1,j} - a_{i-1,j} \alpha_{i-1,j}}, \quad \beta_i = \frac{d_{i-1,j} + a_{i-1,j} \beta_{i-1,j}}{b_{i-1,j} - a_{i-1,j} \alpha_{i-1,j}}, \quad (22)$$

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\bar{c}_{i,j-1}}{b_{i,j-1} - \bar{a}_{i,j-1} \bar{\alpha}_{i,j-1}}, \quad \bar{\beta}_i = \frac{\bar{d}_{i,j-1} + \bar{a}_{i,j-1} \bar{\beta}_{i,j-1}}{b_{i,j-1} - \bar{a}_{i,j-1} \bar{\alpha}_{i,j-1}}, \quad (23)$$

$$-kh \left. \frac{\partial h}{\partial n} \right|_r = \gamma(h_0 - h) \text{ каби чегаравий шартни фиктив бўлган филтрация}$$

худуди учун ҳар бир йўналишларда чегаравий шартларни қуйидагича қилиб ёзиб оламиз ва ошқормас схемани қўллаб аппроксимация қиламиз:

$$O_x \text{ йўналиши бўйлаб: } \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{k_0 h_0}{2L} k_{i,j} \frac{2\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{\frac{1}{2}} - \bar{h}_{i,j}^2 - 2\bar{h}_{0,j} h_{0,j}^{\frac{1}{2}} + \bar{h}_{0,j}^2}{\Delta x} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{\frac{1}{2}} - h_0), \quad (24)$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=1} = \frac{k_j h_0}{2L} k_{i,j} \frac{2\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{\frac{1}{2}} - \bar{h}_{i,j}^2 - 2\bar{h}_{i,j-1} h_{i,j-1}^{\frac{1}{2}} + \bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta x} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{\frac{1}{2}} - h_0), \quad (25)$$

$$O_y \text{ йўналиши бўйлаб: } \left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{y=0} = -\frac{k_j h_0}{2L} k_{i,j} \frac{2\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} - \bar{h}_{i,j}^2 - 2\bar{h}_{i,0} h_{i,0}^{n+1} + \bar{h}_{i,0}^2}{\Delta y} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{n+1} - h_0), \quad (26)$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{y=1} = \frac{k_0 h_0}{2L} k_{i,j} \frac{\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} - \bar{h}_{i,j}^2 - \bar{h}_{i,j-1} h_{i,j-1}^{n+1} + \bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{n+1} - h_0), \quad (27)$$

Юқорида таъкидланганидек, муаммо чизиқин бўлмаган квази дифференциал тенгламалар ёрдамида тасвирланган, уни итерация усули ёрдамида ечилди. Такрорланувчи жараённинг яқинлашув шартлари қуйидагилардан иборат:

$$\left| (h_{i,j})^{(s+1)} - (h_{i,j})^{(s)} \right| \leq \varepsilon.$$

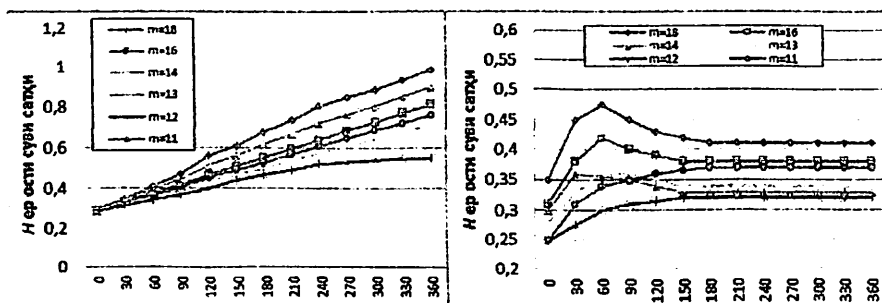
бу ерда  $s$  – итерациялар сони,  $\varepsilon$  – итерацион жараённинг аниқлиги.

Ушбу ёндашувлар ва алгоритмларни амалга оширувчи дастурий восита яратилган, худудий текисликдаги ер ости суви оқимини филтрацияси қирқимдаги ҳолатларни ўз ичига олувчи, сизот сувлари оқимининг чегаравий масалаларини ечишда амалга оширувчи алгоритмлари; бошланғич маълумотларни киритишда графикли интерфейсларидан ва уларни махсус тузилишда сақлашга мўлжалланган дастурлар ишлаб чиқилган.

Диссертациянинг «Китоб-Шахрисабз худудида геофилтрация жараёнларини моделлаштириш хусусиятлари» деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган математик модел, самарали ҳисоблаш алгоритми ва дастурий восита асосида ер ости сувларининг геофилтрация жараёнларини моделлаш, республикаimiz халқ хужалигидаги муҳим соҳалар, яъни Китоб-Шахрисабз ер ости суви кони мисолида тадбиқи амалга оширилди

Дастурий восита Windows операцион тизимдаги Embarcadero RAD Studio XE7 муҳитида Object Pascal (Delphi XE7) дастурлаш тилида ёзилган.

Бир қатор ностационар масалаларда дала тадқиқотлари натижасидан олинган сув баланси модели ва сув йўқотиш коэффициенти бўйича 0,10 дан 0,20 гача ўзгаришидан ҳисоблаш тажрибалари ўтказилиб, ушбу интервалда энг мақбул параметр қийматлари танланди. Тажриба натижасида  $\mu=0.12$  қийматида учта танланган характерли нуқталарда ўтказилган ҳисоблаш тажрибалари минимал даражадаги оғишларни ва вақт фарқи билан сув сатҳи  $H$ -нинг барқарор тебранишини кўрсатди.



1-расм. Тадқиқот натижаси

Тадқиқотларда, 2015-2019 йиллар давомида сув миқдори бўйича ер ости сувларидан намуна олинганда, оқим тезлиги ва ҳаракатланиш йўналишини ва қувватнинг ўзгаришини (заҳираларнинг тугаши ёки тўлдирилиши) аниқлаши учун бир қатор аналитик ва ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди.

Китоб-Шахрисабз сув қонида бир қатор сув алмашинувчи гидрогеологик ҳудудлар аниқлаган: 1) ер ости сувларининг табиий тўйиниши ва оқиб ўтиш ҳудуди; 2) ер ости сувларининг дарё ва каналларга оқиб чиқиб кетиш ҳудуди; 3) дарё ва каналлардан ер ости сувларига сизилиб кириши ва тўйиниш ҳудудлари; 4) ер ости сувларининг ташкил топиши ва тарқалиш ҳудуди; 5) ер ости сувларининг сув олиш иншоотларида олиниш ҳудудлари ва кенг текисликларда парланиш ҳамда транспирация ва ҳақозолар.

Ҳисоблаш тажрибаларига асосан ер ости суви конининг юқори ва ўрта қисмларида ер ости сувларини тўйинтириш ҳудудида бошқарув технологияларни жорий этиб, ресурслардан дарёнинг ўрта оқимида сувдан фойдаланувчиларини сув билан таъминлашни яхшилаш борасида қуйидаги



босқич ва ёндашувлар ишлаб чиқилган ва амалга оширилган.

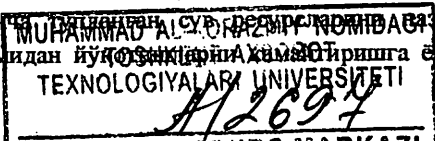
1-босқич а) Китоб-Шахрисабз ер ости сув конини бошқариш хусусиятларини ўрганиш, захиралаш имкониятларини аниқлаш ёки ер ости сувларини интенсив тортиб олиш орқали сув ресурсларини йиғиш имкониятларини яратиш; б) ер ости сувларини тўйиниш ҳудуди ва шарт шароитларини аниқлаш; в) ичимлик ва суғориш учун ер ости сувларидан фойдаланиш ҳамда ер усти сувлари билан биргаликда фойдаланиш учун қулай ҳудудни аниқлаш ва сувни тежаш усулларини аниқлаш.

2-босқич а) Ер ости суви конларининг бир қисмида сув сатҳини пасайтириш, суғориш майдонларидан ер ости сувларини олишни кучайтириш, дарё ва сойлар сувини ташувчи каналлар бўйлаб тарқалган ҳудудларда шимилиш жараёнини интенсивлаштириш. Танқоздарё, Оқдарё ларининг қишки оқимидан фойдаланиб, Китоб-Шахрисабз водийсининг дарё сувлари ер ости сувларини тўйинтириши шарт шароитларини ўрганишдир.

3-босқич. Ҳудуднинг ер ости суви конидан ер ости сувларини тортиб олишни кўпайтириб, сой ва каналларнинг ер усти сувлари билан суғоришдан дарёлар ҳавзасидаги ер усти ва ер ости сувларидан биргаликда фойдаланишга ўтиш. Асосан Оқдарёнинг юқори ва ўрта оқимида сувни тежовчи технологияларни қўллаш. Дарёнинг юқори оқими бўйлаб ўрнатилиши таклиф қилинаётган суғориш тўсиқлари, ҳудудлар ер ости сувларини қайта тиклашга ёрдам бериб, бу уларнинг сифати ва захираларининг сақланишига олиб келади. Дарё ўзани ҳудудида сув сатҳини пастга туширганда, ер ости суви таъминоти дарёнинг қишки оқимини сизилиши учун канал бўйлаб инфилтрация ҳавзалари, суғориш ҳудудлари каби режалаштирилади.

4-босқич. Китоб-Шахрисабз водийсида минтақавий микёсда ер ости сувларини бошқариш мақсадида магистрал каналлар ва кичик дарёларнинг алоҳида ҳавзалари бўйлаб, айрим ҳолларда ер ости сувлари конлари учун (мақсадга эришилганда) мукаммаллаштириш масаласини кўриб чиқиш. Ер ости сувларини суғориш ёки ер усти ва ер ости сувларидан биргаликда фойдаланишда ҳар бир гидрогеологик ҳудудда яроқли сувли қатламларнинг ўтказувчанлигини, ер ости сувларининг чуқурлиги ва сифатини (асосан сатҳ ўзгариши) баҳолаш асосида аниқланиши қуйидаги тартибда бўлиши мумкин: маъмурий туманлар ёки гидрогеологик ҳудудлар; ер ости горизонтларининг ҳудудлари ёки қисмлари. Ички ҳудудларда кенг тарқалган каналлар ва дарёларда чегара шартлари киритилган бўлиб, улар ёзда ер ости сувларини тўйинтириши ва қишда унга сизилиб чиқиши ҳисобга олинган.

Мазкур тадқиқотда таклиф этилаётган ёндашув ёзда суғориш учун кузда ер ости сув ҳавзаларида вақтинча қўрилган сув ресурсларидан фойдаланишда ёрдам тутади. Бу буғланишни, сув оқимидан йўқолишни қамқоғишга ёрдам



беради ва ифлосланишнинг олдини олган ҳолда, ер ости сувларини бошқаришни тавсияси қўйидаги истиқболли режалардан иборатдир.

1-режа. Асосий жараёни кузатишда суғориш учун ер ости сувларини олинишнинг жорий ҳолатларини имитацион модели амалга оширилди. Аҳолини ичимлик суви ва саноатни сув билан таъминлаш мақсадида, шунингдек сув танқисчилигини қоплаш учун ер ости сув ресурслари тежаллиши, ер ости сувларини олиш камида  $1,7 \text{ м}^3/\text{с}$  даражасида амалга оширилади, сув олиш қудуқлар сони 94 та. Модел натижасида ер ости суви сатҳи пасайди ва 60 - 90 чи кунлар орасидаги сув сатҳи фарқи қўйидаги график асосида кўриш мумкин (2-расм).



2-Расм. Ер ости суви сатҳининг ўзгариши ҳудудлари

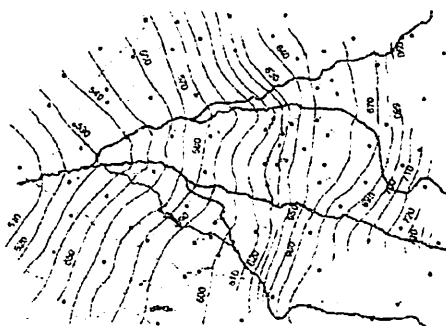
2-режа. Ер усти ва ер ости сувларидан биргаликда фойдаланиш режаси бўлиб, унда тизимнинг юқори қисмида инфльтрация учун ер усти сувларидан фойдаланишни кўпайтиришни ва ўрта оқимида ер ости сувини олиш таклиф қилади. Ёзда ер ости сувларини олиш йиллик ер ости сувларини тўйинтириш даражасида таъминланади. Моделда қудуқлар сони 87 дона, мазкур режа маҳаллий сув олишга қаратилган - дарё ва каналлар ўзанларида шимилтириш учун кўпроқ сув ресурслари берилди. Имитация жараёнида ер ости сувлари сатҳи юқори қисмида нисбатан кўтарилди, қуйи ва ўрта қисмида сув сатҳи тушиши кузатилди, 60 - 90 чи кунлар орасидаги сув сатҳи фарқи харитавий тасаввурлаш асосида амалга оширилди (3-расм)

3-режада ер ости сувларини олиш жорий йиллик тўйинтиришдан 10-12% га ошади ва ўрганилаётган соҳанинг четлари бўйлаб ер ости сувлари сатҳини пасайтириш ва сув босиш ва шўрланишнинг олдини олишга қаратилган. Моделда қудуқлар сони 98 та, сув олиш жараёни қиймати -  $1,95 \text{ м}^3/\text{с}$ . Бундай сув олиш режаси қисман ҳудудий ёки сув олиш иншоотлари ялпи сафарбарлигида сув олишга қаратилган - имитация жараёнида дарё ва каналлар ўзанларида калматация коэффицентлари камайиб, шимилтириш учун дарё ва канал суви сатҳи 0.17 - 0.20 м юқори сув ресурслари берилди.

4-режада ер ости сувлари таъминотини бошқаришда сув олиш иншоотлари асосида қўшимча равишда сувли қатламларда 50 млн  $\text{м}^3/\text{йил}$

қишки оқимнинг тўпланиши бўлиб, ёзда суғориш учун қишда тўпланган сув ресурсларидан фойдаланишни назарда тутати. Ер ости сувлари захираларини интенсив тортиб олишнинг иккинчи йилдан бошлаб ҳар уч йилда икки марта қиш оқимини тўхтатиш орқали узоқ муддатли тартибга солишни назарда тутати. Инфильтрация ҳудудлари бўйлаб моделлаштирилган натижалар имитация жараёнида 2017 йилдан бошлаб режада ер ости сувларини тортиб олиш режими белгиланган бўлса, 2-режада мавсумий ўзгаришлар, 3 ва 4-режада эса узоқ муддатли ўзгаришлар ҳисобга олинди.

Худудда чидамлик сув таъминотини рақамли моделлаштириш натижаларига кўра, 3 қуруқ йил давомида  $10.7 \text{ м}^3/\text{с}$  миқдорда сув қазиб олиниши, ер ости суви сатҳи пасайиши 10 дан 20 м гача бўлган, бу жонзидир ( $C_{\text{млк}} < 0,5 \text{ Н}$ ).



**3-расм. Худуднинг гидрозогипс харитаси**

Шуни таъкидлаш керакки, "модел" башорат қилинган сатҳлар қудуқдаги номукамаллиги сабабли кўшимча депрессияларни ҳисобга олмайди, бу эса тажрибага кўра ҳисобланган деярли 10-15% ни ташкил қилади. Шундай қилиб, қуруқ даврда ер ости сувларини қазиб олишни  $-10 \text{ м}^3/\text{с}$  миқдорда тавсия этилиши мумкин, бу юқори сув йилларида тикланади.

Ер ости сувлари конларининг ҳаракатчанлиги ва қайта тикланадиган захиралари билан боғлиқ хусусиятлари кўрсатилган ҳамда мураккаб тизимлар сифатида конларнинг тузилиши таҳлил қилиниб, уларни ўрганишга тизимли ёндашув тамойиллари тақлиф қилинган. Худудда геофильтрация ва математик моделлар ёрдамида прогноз қилинган гидрогеологик ҳисоб-китобларнинг камчилиги ва етарли эмаслиги сабаблари ўрганилди.

## ХУЛОСА

Тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Куруқ иқлим минтақаларида гидрогеологик жараёнларни моделлаштириш масалаларининг ҳозирги ҳолати таҳлили, моделлаш усулларини ривожланиши ва кўп қатламли ғовак муҳитларда ер ости ва ер усти суви ўзаро алоқаси бўлган масалаларини ечиш усуллари тадқиқ қилинди. Дарё суви оқимининг ўзгариши ва ер ости сувлари билан узвий боғлиқлигини шакллантириш, башорат қилиш ва моделлаштириш услублари ишлаб чиқишнинг етарли даражада долзарблиги аниқланди. Натижада тадқиқот мақсади, вазифалари шаклланиб, ичимлик суви таъминоти учун сув ресурсларидан оқилона фойдаланиш ва бошқариш масалаларни ҳал қилишда ахборот технологияларининг истиқболлари аниқлаб берилди.

2. Табиий жараёнларда сув сизилиши кўрсаткичларига кўпинча битта эмас, балки бир неча омиллар таъсири, гидрогеологик, гидрологик, ирригация ва мелиоратив тадқиқотларнинг махсуслиги ва ўзига хослигини синфлашган гидрогеологик тизимларга жорий қилиш, ностационар бўлган вазиятлардаги масалаларни таҳлил қилиш вақт ўтиши билан сувли тизимнинг ҳолати, сатҳи, ресурс ўзгариши тадқиқ қилинди. Далилий ашёвий маълумотлар дарё ёки каналнинг кенлигини бутун узунлик бўйича ўртача геометрик параметрлари сифатида олиб, уни сув сарфи кўринишида эксперимент ҳисоби натижаси асосида амалга ошириш имконини берди.

3. Ер ости ва ер усти сувларининг ўзаро боғлиқлигини ҳисобга олувчи геофилтрация жараёнларининг дифференциал тенгламалари, математик моделлари, чекли айирмалар усулида сонли ечими, унинг алгоритми ва комплекс дастурлаш воситалари яратилди ҳамда жорий қилинди. Натижада Китоб-Шахрисабз ер ости сув кони мисолида геофилтрация жараёнларини математик модели ишлаб чиқилди. бошланғич ва чегаравий шартлар асосида, ахборот массиви тузилиб, кўп қатламли модель параметрлари аниқланиши, табиий ва техноген камсувлик йиллари таъсиридаги сув танқислиги шароитида ҳудудларни сув таъминотини ошириш ва ҳалқ хўжалигида комплекс фойдаланишнинг истиқболли режалари аниқланди.

4. Китоб-Шахрисабз ер ости суви кони мисолида амалий масалаларни ечиш жараёнида математик моделлаштириш усуллари билан кўп сонли ва турли хил режа асосида ҳисоблаш эксперименти ўтказилди ва таҳлили амалга оширилди. Натижада сув олиш иншоотлари таъсирида ер ости сувларини шаклланиши, геофилтрация жараёнларини моделлаштириш, ахборот ва гидрологик моделлаштириш натижалари 10-12% самара берди.

Ахборотни тақдим этишни турли шаклларида фойдаланиб, ўрганилган соҳани ахборот модели, ҳисоб эксперименти маълумотлари дала ва камерал қайта ишлаш натижалари ҳамда улар кўп қатламли муҳитнинг гидрорежим асосида назорат кузатув параметрлари билан бир-бирларига ҳамоҳанг ва ҳамроҳлиги қайд этилди. Истиқболдаги режада ер ости сувларини олиш ва лойиҳаларини асослаш масалаларини самарали ечишга ва уларни турли ижтимоий-иқтисодий масалалар, техник-технологик, гидрологик, экологик ва бошқалар нуқтаи назаридан ўрганишга имкон берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**ЭГАМБЕРДИЕВ ХОЖИАКБАР САЛОХИТДИНОВИЧ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ГЕОФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В МНОГОСЛОЙНЫХ  
ПОРИСТЫХ СРЕДАХ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Тошкент – 2022**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2019.2.PhD/Т1120

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyoulov» ([www.ziyoulov.net](http://www.ziyoulov.net)).

**Научный руководитель:** Джуманов Жамолжон Худойкулович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Нуралиев Фахридин Муродиллаевич  
доктор технических наук, доцент

Мурадов Фаррух Абдукахарович  
доктор философии по техническим наукам (PhD)

**Ведущая организация:** Национальный исследовательский университет  
«Ташкентский институт инженеров прикладной и  
механизации сельского хозяйства»

Защита диссертации состоится «15» июля 2022 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер №01/2022 (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «30» июля 2022 года.  
(протокол рассылки № 6 от «24» июля 2022 г.)



**М.М.Мусаев**

Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

**Н.О.Рахимов**

Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук

**Ш.А.Садуллаева**

Председитель научного семинара при  
научном совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертация)**

### **Актуальность и востребованность темы диссертации.**

В мире для обеспечения населения питьевой водой, оценке и рациональному использованию ресурсов подземных вод, перераспределению речного стока в бассейне, определению закономерностей водообмена с запасами питьевой воды на региональном уровне большое внимание уделяется математическому моделированию процессов геофильтрации и использованию высокотехнологичного программного обеспечения, а так же совершенствованию научных и практических методов. Поэтому особое внимание уделяется вопросам формирования ресурсов питьевых вод в гидросфере подземных вод, определению процессов геофильтрации подземных вод в многослойных пористых средах, математическому моделированию процессов геофильтрации при рациональном использовании водозаборных сооружений. Одной из основных задач развитых стран, особенно в США, Канаде, Франции, Китае, Нидерландах, Германии, Дании, Японии и России является разработка методов математического моделирования, алгоритмов, программных средств управления геофильтрационными процессами сложных гидрогеологических условий.

Во всем мире проводятся научные исследования для оценки качества питьевой воды, разработки методов математического моделирования, вычислительных алгоритмов и пакетов программ для процессов геофильтрации подземных вод, происходящих в пористых водоносных горизонтах. Наиболее перспективные методы, направленные на совершенствование изучения свойств подземной гидросферы, что позволит прогнозировать количество и качество подземных вод, необходимых для питьевого водоснабжения гидрогеологических районов, совершенствовать процесс водозабора, оперативно определять состояния местности и уделять этому большое внимание. В связи с этим разработка технических решений на основе модели, алгоритмов и программных средств расчета гидрогеологических характеристик подземных вод и их взаимодействия с поверхностными водами весьма актуальна.

За годы независимости проведены масштабные мероприятия по оценке ресурсов питьевой воды, подсчету и эффективному мониторингу запасов подземных вод, математическому моделированию процессов геофильтрации в многопластовых пористых средах, т.е. сложных гидрогеологических условий, внедрению информационных технологий. В новой стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы даны задачи, в том числе «...быстрое развитие национальной экономики и высокие темпы роста, ... создание системы подготовки квалифицированных кадров с широким внедрением современных образовательных стандартов в области геологии и реализации результатов исследований. Успешная реализация этих задач включает мониторинг, анализ и эффективное использование сложных гидрогеологических систем, информационное обеспечение процесса нестабильной геофильтрации в гидросфере, разработку математических

моделей, алгоритмов и программного обеспечения.

Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-2954 от 4 мая 2017 года «О мерах по регулированию контроля и учета рационального использования ресурсов подземных вод в 2017-2021 годах», Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № № 82 от 19 марта 2013 г. Настоящая диссертация направлена на выполнение задач, изложенных в Постановлении «О порядке водопользования и водопотребления» и Постановлении № ПФ-5349 от 19 февраля 2018 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию отрасли информационных технологий и связи» и других нормативных актов, связанных с этой деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики.** Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии республики IV «Развитие информатизации и развитие информационно-коммуникационных технологий» и V «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

**Степень изученности проблемы.** Совершенствованием методов математического моделирования геофильтрационных процессов при решении таких задач, как оценка ресурсов подземных вод и гидрогеологических мелиоративных систем, а также задач геофильтрации подземных вод в многослойных пористых средах занимались ряд ученых: Ю.Ч.Я.Полубаринова-Кочина, Ю.Фрид, И.К.Гавич, А.А.Самарский, В.Кинзельбах, Л.Лукнер, В.М.Шестаков, В.М.Миرونенко, В.Г.Румынин и др. в своих научных работах они рассматривали различные вопросы использования программных средств.

При разработке математических моделей и методов расчета гидрогеологических процессов в Узбекистане Ф.Б.Абуталиев, У.У.Умаров, И.Хабибуллаев, А.Нематов, Р.Н.Усманов, Н.Равшанов, Ж.Джуманов, И.Н.Грачева и другие ученые достигли значительных научных результатов.

Рассмотрены проблемы интеграции методов комплексного анализа гидрогеологических процессов на основе математического моделирования и вычислительных экспериментов с учетом особенностей регионального распространения гидрогеологических процессов и элементов методики мониторинга состояния подземных вод в сегодняшних днях. Создание математической модели процессов геофильтрации подземных вод в многослойных пористых средах зависит от классификации массива горных пород в гидросфере региона, водоудерживающих свойств, физико-механических свойств и степени непрерывности. В связи с этим, недостаточно представлено достигнутые на настоящий момент результаты по исследованию уровня и состояния для принятия решений.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках научных проектов по теме №БВ-Атех-2018 (399+487)



«Разработка пакета приложений для разработки трехмерных моделей гидрогеологических процессов и численного моделирования диффузионных процессов в двухкомпонентной среде» (2018-2019).

**Целью исследования** является совершенствование математической модели взаимосвязанных процессов геофильтрации подземных вод в многослойных средах и разработки алгоритмов.

**Задачи исследования:** анализ современного состояния задач моделирования гидрогеологических процессов в многослойных пористых средах;

построение краевых задач и численные решения их на основе математической модели процессов геофильтрации подземных вод в пористых средах, связанных между собой речными и канальными водами;

разработка алгоритмов определения и расчета положения взаимодействия основных геофильтрационных процессов потоков подземных и поверхностных вод;

разработка программного комплекса на основе математических моделей и вычислительных алгоритмов геофильтрационных процессов гидрогеологических районов;

внедрение разработанных вычислительных экспериментов математических моделей и алгоритмов гидрогеологических процессов при решении социально-реальных задач для отдельных районов Республики Узбекистан.

**Объектом исследования** являются совместные и взаимообусловленные геофильтрационные процессы горных массивов и подземных вод в многослойных гидрогеологических районах.

**Предметом исследования** являются структурные факторы подземной гидросферы, математическое моделирование гидрогеологических процессов в условиях формирования, программные средства и алгоритмы решений.

**Методы исследования.** В ходе исследования использованы системный анализ, математическое моделирование, численные методы, алгоритмизация и программирование, эмперические обработка данных в изучение показателей проницаемость подземных вод.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

определено взаимосвязи между свойствами равновесных элементов процессов течения подземных вод, улучшена математическая модель на основе граничных условий;

разработаны алгоритмы расчета состояния взаимосвязи основных процессов геофильтрации подземных и поверхностных вод в маловодных годах;

построены краевые задачи и разработаны алгоритмы решения математическая модель для процесса взаимосвязанных потоков с подземными и поверхностными водами в сложных гидрогеологических условиях больших территорий.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана математическая модель и вычислительные алгоритмы для

численного исследования взаимосвязанных геофильтрационных процессов горных пород, подземных и поверхностных вод в многослойных гидрогеологических зонах;

выявлены основные показатели и детали процессов, происходящих в естественных условиях и под воздействием интенсивных антропогенных воздействий геофильтрации подземных вод, закономерности изменений;

разработаны практические предложения по комплексному использованию подземных вод в условиях маловодья под влиянием многолетних природных и техногенных факторов.

**Достоверность результатов исследования** представлена подробными математическими выражениями и строго определенными математическими операциями. Проблема адекватности модели объясняется минимизацией различия между элементами объекта, сопоставлением результатов численных экспериментов с данными измерительно-наблюдательного контроля.

**Научная и практическая значимость результатов исследования** объясняется научным обобщением математического моделирования в гидрогеологических системах, оценкой процессов фильтрации подземных вод при естественных и антропогенных воздействиях, разработкой экспериментальных методов информации и расчета утечек подземных вод.

**Внедрение результатов исследований** обосновывается разработанными эффективными алгоритмами и программными средствами по оценке состояния подземных и надземных вод при взаимосвязанных процессах, их геофильтрации в одно и многопристных средах:

математическая модель взаимосвязанных процессов геофильтрации в горных породах и методы определения взаимосвязи свойств между элементами баланса подземных вод внедрены в Западно-Узбекистанской гидрогеологической полевой экспедиции и Кашкадарьинской мелиоративной экспедиции массива горных пород в многослойных гидрогеологических областях и процессы геофильтрации взаимосвязи подземных вод и методы определения взаимосвязи свойств между элементами баланса подземных вод (Справка Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам №07-39 от 10 май 2022 года). Результаты научных исследований позволили решить задачи интеллектуального анализа данных в условиях сложной гидрогеологической и вододефицитной ситуации;

в «Мелиоративная экспедиция при Аму-Кашкадарьинское. Бассейновое управление ирригационных систем» и «Гидротехника ирригация ХЭЖК» алгоритмы взаимосвязанных ситуаций основных процессов геофильтрации потоков подземных и поверхностных вод, математическое моделирование процесса взаимосвязанных потоков с подземными и поверхностными водами в сложных гидрогеологических условиях больших территорий (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/3538 от 21 декабря 2020 года). Применение результатов исследований позволило сформировать систему мониторинга и принятия эффективных управленческих решений за счет внедрения математических моделей изменения состояния водного хозяйства в подземной гидросфере.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 4 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследования опубликованы 24 научные статьи, из этих 10 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе, 5 в зарубежных и 5 в республиканских журналах, а также получены 3 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Математические модели и литературный обзор гидрогеологических процессов движения подземных вод**» представлен анализ научной литературы и статей по математическому моделированию и численным методам геофильтрационных процессов в гидрогеологических системах мира и страны за последнее десятилетие. Исследование охватывает такие понятия, как решение задач, выделение гидрогеологических зон по модели, алгоритмические и численные методы, идентификация площадей, схемы геофильтрации, граничные условия, создаваемые пористыми средами и поверхностными водами, а также анализ структуры и свойств моделирующей системы.

Обзор научной литературы по моделированию многослойных гидрогеологических процессов в пористых средах, результаты фундаментальных и прикладных исследований, численное моделирование гидрогеологических процессов, вычислительная математика и методы конечно-разностных схем при решении простых дифференциальных уравнений, разработка и совершенствование математических моделей рассмотрены вычислительные алгоритмы и программные средства для решения задач анализа и прогнозирования процессов.

При решении гидрогеологических и мелиоративных вопросов в зависимости от изменяющихся условий каждого региона необходимо учитывать особенности орошаемых земель для конкретной ситуации,

изменение видов сельскохозяйственных культур и их норм орошения, режима орошения и засоления. Кроме того, необходимо учитывать оросительные сети, дренажные сети, естественные дренажные сети и их взаимодействие с подземными водами, количественные значения притоков и оттоков подземных вод, а также проектирование водозаборных сооружений и их фактический забор ценности.

Апробация теоретических, технологических, методических и программных разработок по питьевому водоснабжению на надежность и точность, создание математических и имитационных моделей для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач в гидрогеологических системах на основе различных прикладных методов, естественно-геологического и математического моделирования геофильтрации процессов с учетом гидрогеологических условий, в свою очередь, следует обратить внимание на постановку и решение конкретных задач, учитывающих техногенные условия.

Во второй главе диссертации «Математическое моделирование процессов геофильтрации подземных вод **Китаб-Шахрисабзского участка**» приведены сведения о гидрогеологическом изучении подземных и напорных вод **Китаб-Шахрисабзского месторождения подземных вод**, схематические условия и его информационно-математическая модель. Важный шаг в моделировании изучаемой гидрогеологической системы (района) был сделан схеме геофильтрации, в которой получены количественные изменения при выборе начальных и граничных условий, параметров гидросферы, элементной базы баланса и режима фильтрации. Схема геофильтрации позволила создать математическую модель, описывающую процесс движения подземных вод. Для этого в одном из языков алгоритмического программирования выбираются предпочтительные функции и метод создания, решения и компиляции компьютерных программ.

При районировании подземных вод по условиям гидрогеолого-мелиоративного дренажа учитывались следующие основные требования: литолого-фасциальное строение и условия образования проницаемых и водоупорных комплексов; подземные воды и связанные с ними условия выравнивания, фильтрационные свойства в комплексах многослойных пористых сред; свойства водопроницаемости; распределение планируемых геологических границ (взаимодействие слабопроницаемых пород); состояние гидрографической сети и ее взаимодействие с подземными водами; в тектонической структуре (трещины, впадины, поднятия) выделены две гидродинамические зоны с учетом региональных факторов.

Особое внимание уделяется таким вопросам, как ключевые индикаторы взаимодействия с грунтовыми водами, скорость потока, коэффициенты утечки и идентификация водных ресурсов. Рассмотрены процессы разведки подземных вод **Китаб-Шахрисабз**, обработка и анализ результатов режимных наблюдений, изучение и охрана состояния подземных вод, прогнозирование изменения уровней подземных вод, выявление утечек, изучение их объема, вопросы взаимодействия реки с подземными водами.

Также представлено математическое моделирование подземных и напорных вод, их взаимосвязей, процессов водообмена и процессов геофильтрации.

Уравнение баланса подземных вод — математическая модель геофильтрационных процессов гидрогеологических систем в районе  $G$  — базируется на системе дифференциальных уравнений, представляющих динамику стока подземных вод в территориальной плоскости, связывающей водоносные горизонты и зависящей от времени, и имеет следующий вид: математическая модель [6; 146, 104, 2278 б]:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \eta (J - Q_b - f + Q_r - Q_d) \quad (1)$$

начальное условие выглядит следующим образом:

$$h(x, y, t)_{t=0} = \phi_1(x, y); \quad (x, y) \in \Gamma_1; \quad t = t_0; \quad (2)$$

и граничные условия,

$$h(x, y, t) = \phi_2(x, y); \quad (x, y) \in \Gamma_1; \quad t > t_0; \quad (3)$$

$$-kh \frac{\partial h}{\partial n} = \phi_3(x, y); \quad (x, y) \in \Gamma_2; \quad t > t_0; \quad (4)$$

$$-kh \frac{\partial h}{\partial n} = \gamma(h_0 - h); \quad (x, y) \in \Gamma_3; \quad t > t_0 \quad (5)$$

где  $\mu$  — способность слоя отдавать воду или ненасыщаться (безразмерная величина);  $x, y$  — координаты в плоскости, м;  $t$  — время, сутки;  $h = h(x, y, t)$  — уровень воды от земли до поверхности, м;  $k = (x, y)$  — коэффициент проницаемости пласта, т. е. коэффициент фильтрации, м/сут;  $\eta$  — коэффициент преобразования модели в размерный вид (коэффициент массообмена уравнений);  $J = J(x, y, t)$  — инфильтрация поверхностных вод, т. е. инфильтрация осадков, м/сут;  $Q_b$  — затопление, т. е. утечка грунтовых вод;  $\gamma$  — гидрогеологическое состояние взаимозависимости подземных и поверхностных вод.

Уравнение (1) на основе начальных и граничных условий (2) - (5) на основе разработанных численных методов Ф.Б. Абуталиевым, И.И. Измаиловым и И.Хабибуллаевым. Такие ученые, как А.А. Самарский, М.М. Крылов, С.Ф. Аверьянов используя одномерную схему на основе численно разностной схемы и методов прогонки разработали вычислительный алгоритм, реализующий уравнение (1).

При геофильтрации подземных вод и взаимодействие подземных вод с водой низкого давления выражается с помощью уравнения Буссинеско следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \mu \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( k_1 h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_1 h \frac{\partial h}{\partial y} \right) - k_e \left( 1 - \frac{H}{h} \right) + \eta W, \\ \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( k_2 m \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_2 m \frac{\partial H}{\partial y} \right) + k_e \left( 1 - \frac{H}{h} \right) - \eta W_1. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(6) Система решается на основе следующих начальных и граничных

$$\text{условий: начальные условия: } h|_{x=0} = h_0, \quad H|_{x=0} = H_0, \quad (7)$$

граничные условия:

$$m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=0} = -(h - h_0), \quad m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=L} = (h - h_0), \quad (8)$$

$$m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=0} = -(h - h_0), \quad m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=L} = (h - h_0), \quad (9)$$

$$m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=0} = -(H - H_0), \quad m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=L} = (H - H_0). \quad (10)$$

$$m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=0} = -(H - H_0), \quad m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=L} = (H - H_0), \quad (11)$$

$$H|_{x=m+0} = h|_{x=m-0}, \quad H|_{y=m+0} = h|_{y=m-0}, \quad (12)$$

$$k_2 m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=m+0} = k_1 m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=m-0}, \quad k_2 m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=m+0} = k_1 m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=m-0}. \quad (16)$$

где  $h_0, H_0$  - начальные значения уровней и давлений грунтовых вод.

Граничные условия задаются на основе трех видов выражений I, II, III, определяющих зависимость между уровнем грунтовых вод или водопотреблением, или уровнем и водопотреблением на границе области геофильтрации в зависимости от природных, гидрологических и гидрогеологических условий. В условиях вышеперечисленных моделей и их реализации с помощью методов можно изучать изменения состояния подземных вод, их взаимосвязь с поверхностными водами, а также изменение пресных вод в плоскости и во времени.

В региональном масштабе подземные воды текут по руслу реки на десятки километров. Закономерности регионального формирования подземных вод определяются геологическим строением, особенностями строения водоносных горизонтов, водообеспеченностью подземного стока и условиями водопотребления. Качественное выполнение моделирования учитывает особенности расчетных процессов и направленность факторов на естественное состояние (адекватность), программирования знаний и сложные гидрогеологические условия.

Разработан численный алгоритм, основанный на методе конечных разностей, для численного интегрирования выражения задач (6) - (16), представленных системами нелинейных дифференциальных уравнений с удельным произведением.

В третьей главе диссертации «Численный расчет процессов геофильтрации подземных вод в многослойных пористых средах» при анализе задач в нестационарных условиях рассматриваются возможности изменения водной системы, при этом исследование было основано на двумерных уравнениях фильтрации. Развитие процесса фильтрации рассмотрено с точки зрения гидрогеологических вопросов, при которых добыча воды осуществляется с помощью водозаборного сооружения.

Представлено численное решение математической модели процесса геофильтрации свободнотекущих подземных вод в однослойных и многослойных пористых средах и ее принципы. При численном решении проводились исследования по введению переменных, использованию неопределенных разностных схем, аппроксимаций, приведению к системе алгебраических уравнений, решение системы линейных алгебраических уравнений методом прогонки, а также нахождение по направлениях  $Ox$  и  $Oy$  границы значения уровней грунтовых вод.

Используя конечно-разностный подход к задачам, мы создаем систему алгебраических уравнений, решая ее, определяем искомые параметры объекта и оптимальные значения их изменения во времени и направлении. Для решения задач (1) - (5) введем безразмерные величины и, заменив дифференциальные операторы в уравнении (1) на конечно-разностные операторы, используя схему продольно-поперечного направления, получим в  $Ox$  направлении следующее:

$$\frac{1}{\tilde{h}_{i,j}} \frac{(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - (h^2)_{i,j}^n}{0.5\Delta\tau} = \frac{k_{i-0.5,j}(h^2)_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + k_{i+0.5,j}(h^2)_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} + \frac{k_{i,j-0.5}(h^2)_{i,j-1}^n - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})(h^2)_{i,j}^n + k_{i+0.5,j}(h^2)_{i,j+1}^n}{\Delta y^2} + 2\xi_{i,j}\eta W_{i,j}^n. \quad (17)$$

Запишем систему (17) относительно квадрата функции уровня, после сравнения  $h^2 \approx 2\tilde{h}\tilde{h} - \tilde{h}^2$  подобных членов выразим в виде конечно-разностной системы алгебраических уравнений:

$$a_{i,j}\tilde{h}_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - b_{i,j}\tilde{h}_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + c_{i,j}\tilde{h}_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = -d_{i,j}, \quad (18)$$

$$\text{здесь } a_{i,j} = \frac{2k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2}, \quad b_{i,j} = \frac{2(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})\tilde{h}_{i,j}}{\Delta x^2} - \frac{4}{\Delta\tau}, \quad c_{i,j} = \frac{2k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2},$$

$$d_{i,j} = \left( \frac{4}{\Delta\tau} - \frac{2(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})\tilde{h}_{i,j}}{\Delta y^2} \right) \tilde{h}_{i,j}^n + \frac{2k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2} \tilde{h}_{i,j-1}^n + \frac{2k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2} \tilde{h}_{i,j+1}^n - \frac{k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_{i,j}\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}.$$

В направлении  $Oy$  систему (18) аппроксимируем по типу  $\omega_{\Delta x, \Delta y, \Delta\tau}$  по недискретной схеме в сетке, используя выражение для квадрата ступенчатой функции и выражая его в виде системы трех диагональных алгебраических уравнений следующим образом:

$$\bar{a}_{i,j}\tilde{h}_{i,j-1}^{n+1} - \bar{b}_{i,j}\tilde{h}_{i,j}^{n+1} + \bar{c}_{i,j}\tilde{h}_{i,j+1}^{n+1} = -\bar{d}_{i,j}, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \text{здесь } \bar{a}_{i,j} &= \frac{2k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2}, \quad \bar{b}_{i,j} = \frac{2(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5})\bar{h}_{i,j}}{\Delta y^2} - \frac{4}{\Delta \tau}, \quad \bar{c}_{i,j} = \frac{2k_{i,j+0.5}\bar{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2}, \\ \bar{d}_{i,j} &= \left( \frac{4}{\Delta \tau} - \frac{2(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j})\bar{h}_{i,j}}{\Delta x^2} \right) h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{2k_{i-0.5,j}\bar{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2} h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \\ &+ \frac{2k_{i+0.5,j}\bar{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{k_{i-0.5,j}\bar{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j})\bar{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\bar{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} - \\ &- \frac{k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5})\bar{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\bar{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_1 \eta W_{i,j}^{n+1}, \end{aligned}$$

Рассчитаем систему уравнений (19) методом прогонки:  $Ox$  в направлении

$$h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{i+1,j} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{i+1,j}, \quad (20)$$

$$Oy \text{ в направлении } h_{i,j}^{n+1} = \bar{\alpha}_{i,j-1} h_{i,j-1}^{n+1} + \bar{\beta}_{i,j-1}, \quad (21)$$

рекуррентные  $\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}, \bar{\alpha}_{i,j}, \bar{\beta}_{i,j}$  формулы, такие как (20) и (21)  $\bar{\alpha}_{i,j}, \bar{\beta}_{i,j}$  найти ни  $i-1$  га  $j$  ни  $j-1$  Га заменить:

$$h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{i,j} h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{i,j}, \quad h_{i,j-1}^{n+1} = \bar{\alpha}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} + \bar{\beta}_{i,j}$$

здесь  $\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}, \bar{\alpha}_{i,j}, \bar{\beta}_{i,j}$   $s$  коэффициенты прогонки, после расчетов  $Ox, Oy$ . Чтобы найти управляющие коэффициенты в следующих направлениях, мы используем следующие рекурсивные выражения:

$$\alpha_i = \frac{c_{i-1,j}}{b_{i-1,j} - a_{i-1,j} \alpha_{i-1,j}}, \quad \beta_i = \frac{d_{i-1,j} + a_{i-1,j} \beta_{i-1,j}}{b_{i-1,j} - a_{i-1,j} \alpha_{i-1,j}}, \quad (22)$$

$$\bar{\alpha}_j = \frac{\bar{c}_{i,j-1}}{b_{i,j-1} - \bar{a}_{i,j-1} \bar{\alpha}_{i,j-1}}, \quad \bar{\beta}_j = \frac{\bar{d}_{i,j-1} + \bar{a}_{i,j-1} \bar{\beta}_{i,j-1}}{b_{i,j-1} - \bar{a}_{i,j-1} \bar{\alpha}_{i,j-1}}, \quad (23)$$

$-kh \left. \frac{\partial h}{\partial n} \right|_{\Gamma} = \gamma(h_0 - h)$  Для зоны фильтрации, где граничное условие фиктивное,

запишем граничные условия в каждом направлении следующим образом и аппроксимируем по неявной схеме:

$$Ox \text{ по маршруту: } \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{k_0 h_0}{2L} k_{i,j} \frac{2\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \bar{h}_{i,j}^2 - 2\bar{h}_{i,j} h_{0,j}^{n+\frac{1}{2}} + \bar{h}_{0,j}^2}{\Delta x} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - h_0), \quad (24)$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=1} = \frac{k_0 h_0}{2L} k_{i,j} \frac{2\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \bar{h}_{i,j}^2 - 2\bar{h}_{i,j} h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \bar{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - h_0), \quad (25)$$

$$Oy \text{ по маршруту: } \left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{y=0} = -\frac{k_0 h_0}{2L} k_{i,j} \frac{2\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} - \bar{h}_{i,j}^2 - 2\bar{h}_{i,j} h_{i,0}^{n+1} + \bar{h}_{i,0}^2}{\Delta y} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{n+1} - h_0), \quad (26)$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{y=1} = \frac{k_0 h_0}{2L} k_{i,j} \frac{\bar{h}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} - \bar{h}_{i,j}^2 - \bar{h}_{i,j-1} h_{i,j-1}^{n+1} + \bar{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y} = \gamma(h_0 h_{i,j}^{n+1} - h_0). \quad (27)$$

Как было сказано выше, задача описывается с помощью нелинейных



дифференциальных уравнений в частных производных, которые можно решить с помощью итерационного метода. Условия сходимости итерационного процесса:

$$\left| (h_{i,j}^n)^{(s+1)} - (h_{i,j}^n)^{(s)} \right| \leq \varepsilon.$$

где  $s$  - количество итераций,  $\varepsilon$  - точность итерации процесса.

Для реализации этих подходов и алгоритмов разработан программный инструмент, алгоритмы, реализующие фильтрацию потока подземных вод в региональной плоскости для решения краевых задач течения подземных вод, в том числе в условиях сдвига; от графических интерфейсов до ввода исходных данных и программ, предназначенных для их хранения в специальной структуре.

В четвертой главе диссертации «**Особенности моделирования геофильтрационных процессов в Китаб-Шахрисабзском районе**», рассматривается моделирование геофильтрационных процессов подземных вод на основе эффективных алгоритмов расчета и программного обеспечения.

Программное обеспечение написано на языке программирования Object Pascal (Delphi XE7) в среде Embarcadero RAD Studio XE7 в операционной системе Windows.

По ряду нестационарных задач были проведены эксперименты по расчету модели водного баланса и коэффициента водоотдачи от 0,10 до 0,20 в результате натурных исследований и выбраны наиболее оптимальные значения параметров в этом интервале. В результате эксперимента и вычислительные эксперименты, проведенные в трех выбранных характерных точках при значении  $\mu = 0,12$ , показали минимальные отклонения и устойчивые колебания уровня воды  $N$  с разницей во времени.

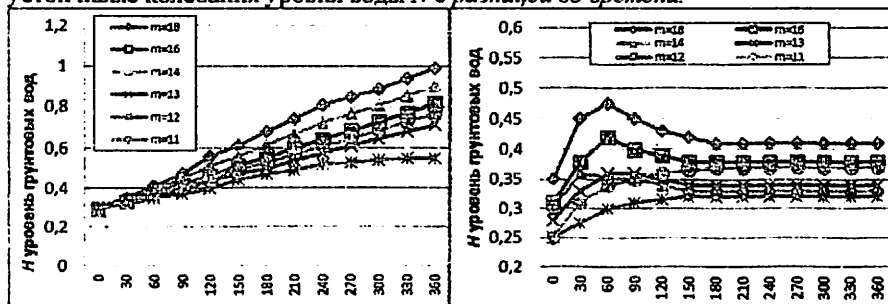


Рис. 1. Результаты исследования

В ходе исследования был проведен ряд аналитических и расчетных экспериментов по определению скорости потока и направления движения и изменения мощности (источение или пополнение запасов) при отборе проб подземных вод по объему воды в разные годы.

На водном поле Китаб-Шахрисабз выделен ряд взаимозаменяемых гидрогеологических зон: 1) зона естественного насыщения и притока

подземных вод; 2) площадь выхода подземных вод в реки и каналы; 3) зоны инфильтрации и насыщения подземных вод из рек и каналов; 4) район образования и распространения подземных вод; 5) площади забора подземных вод на водозаборных сооружениях и на крупных равнинах, испарения и транспирации и др.

Этап 1 а) Изучение особенностей управления Китаб-Шахрисабзским месторождением подземных вод, выявление возможностей запасов или создание возможностей для сбора водных ресурсов за счет интенсивного забора подземных вод; б) определение площади и условий насыщения грунтовых вод; в) выявление районов, пригодных для использования подземных вод для питья и орошения, а также для использования совместно с поверхностными водами, и определение путей водосбережения.

Этап 2 а) Снизить уровень воды в части залежей подземных вод, увеличить забор подземных вод с орошаемых территорий, усилить процесс поглощения на территориях, разбросанных по водоносным рекам и ручьям. Изучение условий, при которых реки Китаб-Шахрисабзской долины насыщают подземные воды, используя зимний сток Танхездарьи, Акдарьи.

Шаг 3. Увеличить забор подземных вод из залежей подземных вод района и перейти от орошения поверхностными водами из ручей и каналов к совместному использованию поверхностных и подземных вод в бассейнах рек. В основном применение водосберегающих технологий в верхнем и среднем течении Акдарьи. Оросительные дамбы, которые предлагаются установить по верхнему течению реки, так как участки способствуют восстановлению грунтовых вод, что приводит к сохранению их качества и запасов. При снижении уровня воды в бассейне реки подача подземных вод планируется в виде инфильтрационных бассейнов, площадок орошения вдоль канала для отвода зимнего стока реки.

Шаг 4. Рассмотреть вопрос улучшения (при достижении цели) залегания подземных вод в ряде случаев по магистральным каналам и отдельным бассейнам малых рек с целью управления подземными водами Китаб-Шахрисабзской долины в региональном масштабе. В случае орошения подземными водами или совмещенного использования поверхностных и подземных вод определение водопроницаемости водоносных горизонтов, глубины и качества подземных вод (преимущественно поверхностное изменение) в каждой гидрогеологической зоне может определяться следующим образом: административные районы или гидрогеологические зоны; участки или части подземных горизонтов. В каналах и реках, распространенных во внутренних районах, введены граничные условия с учетом того, что летом они насыщают грунтовые воды, а зимой инфильтрируют их.

1-план. При наблюдении за основным процессом реализована имитационная модель современного состояния забора подземных вод на орошение. В целях обеспечения населения питьевой и технической водой, а также экономии ресурсов подземных вод для покрытия дефицита воды забор подземных вод осуществляется с расходом не менее  $1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ , количество водозаборных скважин 94. В результате модели уровень грунтовых вод снизился, и разницу в уровне воды между 60 и 90 днями можно увидеть на следующем графике (рис. 2).



**Рис. 2. Области изменения уровня грунтовых вод**

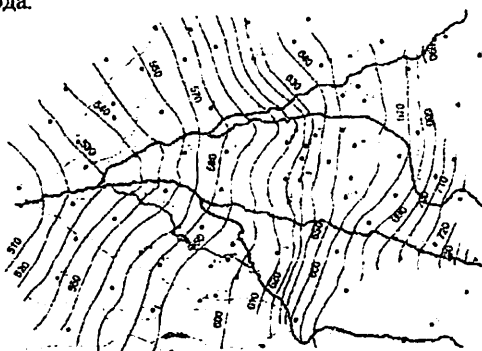
2-план. Имеется план совместного использования поверхностных и подземных вод, в котором предлагается увеличить использование поверхностных вод для инфильтрации в верхней части системы и получения подземных вод в среднем течении.

В процессе имитации уровень грунтовых вод поднялся относительно высоко в верхней части, уровень воды снизился в нижней и средней части, а разница в уровне воды между 60 и 90 днями была основана на картировании (рис. 3).

В Плане 3 забор подземных вод увеличится на 10-12% от текущей годовой насыщенности и направлен на снижение уровня подземных вод по краям изучаемой территории и предотвращение затопления и засоления. Количество скважин в модели 98, себестоимость процесса добычи воды  $1,95 \text{ м}^2/\text{с}$ . Такой план водозабора от части направлен на получение воды при генеральной мобилизации районных или водозаборных сооружений - в процессе имитации коэффициенты обызвествления в реках и каналах уменьшились, а водные ресурсы 0,17 -0,20 м над рекой и каналом уровень был предусмотрен для поглощения.

3 /год зимнего стока в водоносных горизонтах на базе водозаборных сооружений в управлении подземного водоснабжения, что предусматривает использование накопленных в зимний период водных ресурсов для орошения в летний период. Интенсивное изъятие запасов подземных вод предполагает длительное регулирование путем остановки зимнего стока два раза в три года

со второго года. Результаты моделирования по зонам инфильтрации учитывали сезонные изменения в Планах 2 и долгосрочные изменения в Планах 3 и 4, а режим отбора подземных вод был определен в процессе имитации 2017 года.



**Рис. 3. Гидроизогипс области**

По результатам цифрового моделирования устойчивого водоснабжения района допустим забор воды в количестве  $10,7 \text{ м}^3/\text{с}$  за 3 маловодных года, падение уровня грунтовых вод от 10 до 20 м ( $S_{\text{max}} < 0,5 \text{ N}$ ). Следует отметить, что «модельные» прогнозные уровни не учитывают дополнительных депрессий из-за несовершенства скважины, что составляет почти 10-15% рассчитанных опытным путем. Таким образом, в засушливый период можно рекомендовать добычу подземных вод со скоростью  $-10 \text{ м}^3/\text{с}$ , которая восстанавливается в многоводные годы.

Представлены особенности, связанные с подвижностью и возобновляемыми запасами месторождений подземных вод, проанализировано строение месторождений как сложных систем и предложены принципы системного подхода к их изучению. Изучены причины отсутствия и неадекватности прогнозных гидрогеологических расчетов на участке с использованием геофильтрационных и математических моделей.

## **ВЫВОДЫ**

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Проанализировано анализ современного состояния моделирования гидрогеологических процессов в условиях аридного климата, разработка методов моделирования и методов решения задач, связанных с взаимодействием подземных и поверхностных вод в многослойных пористых средах. Выявлена недостаточная актуальность разработки методов формирования, прогнозирования и моделирования изменений речного стока и его интегральной связи с подземными водами. В результате были сформированы цели и задачи исследования, а также определены перспективы

использования информационных технологий в решении задач рационального использования и управления водными ресурсами для питьевого водоснабжения.

2. Влияние не одного, а нескольких факторов на показатели инфильтрации воды в природных процессах, введение в классифицируемые гидрогеологические системы особенностей и специфики гидрогеологических, гидрологических, ирригационных и мелиоративных исследований, анализ проблем в нестационарных условиях, изменение состояния, уровня, ресурсов. На основании фактических данных ширина реки или канала принята за средний геометрический параметр по всей ее длине, что позволяет основываться на результатах экспериментального расчета по водопотреблению.

3. Разработаны и внедрены дифференциальные уравнения процессов геофильтрации, математические модели, численные решения методом конечных разностей, его алгоритмы и средства комплексного программирования с учетом взаимозависимости подземных и поверхностных вод. В результате разработана математическая модель процессов геофильтрации на примере Kitab-Шахрисабзского водохранилища подземных вод, определены перспективные планы.

4. В процессе решения практических задач на примере месторождения подземных вод Kitab-Шахрисабз был проведен вычислительный эксперимент и проанализирован на основе многочисленных и различных планов с использованием методов математического моделирования. В результате формирования подземных вод под воздействием водозаборных сооружений, моделирования процессов геофильтрации, информационно-гидрологического моделирования дали 10-12%.

С помощью различных форм представления информации отмечены информационная модель изучаемой территории, результаты полевой и операторской обработки данных вычислительного эксперимента, их синхронизация и согласованность с управляющими параметрами многослойной среды на основе гидрорежима. Дальнейший план позволил эффективно решать вопросы забора подземных вод и обоснования проектов и проработки их с точки зрения различных вопросов социально-экономического, технико-технологического, гидрологического, экологического и других.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**EGAMBERDIEV KHOJIAKBAR SALOXITDINOVICH**

**MATHEMATICAL MODELING OF GROUNDWATER  
GEOFILTRATION PROCESSES IN MULTILAYER POROUS  
ENVIRONMENT**

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and program complexes

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2022**

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2019.2.PhD/T1120

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziynet» Information and educational portal (www.ziynet.uz.).

**Scientific adviser:** Djumanov Jamoljon Khudoykulovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** Nurallyev Fakhridin Murodillayevich  
Doctor of Technical Sciences, Docent

Muradov Farrux Abdukaxarovich  
PhD in technical sciences


**Leading organization:** "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers" National Research University

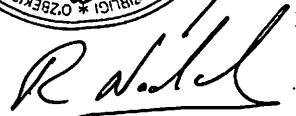
The defense will take place "15" July 2022 at 10<sup>00</sup> at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).


The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No 0149 (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on "30" June 2022 y.  
(Dispatching protocol No. 6 on "24" June 2022 y.).



  
**M.M. Musaev**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

  
**N.O. Rakhimov**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences

  
**Sh.A. Sadullaeva**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Docent

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to improve mathematical models of interconnected groundwater geofiltration processes in multilayer environments and to develop algorithms.

### Research objectives:

analysis of the current state of modeling problems of hydrogeological processes in multilayered porous environments;

construction of boundary value problems and their numerical solution based on a mathematical model of groundwater geofiltration processes in porous media interconnected by river and canal waters;

development of algorithms for determining and calculating the position of the interaction of the main geofiltration processes of groundwater and surface water flows;

development of a software package based on mathematical models and computational algorithms for geofiltration processes in hydrogeological regions;

implementation of the developed computational experiments of mathematical models and algorithms of hydrogeological processes in solving socially real problems for certain regions of the Republic of Uzbekistan.

The research object is the joint and interdependent geofiltration processes of rock massifs and groundwater in multi-layered hydrogeological areas.

The research subject is the structural factors of the underground hydrosphere, the principles of mathematical modeling of hydrogeological processes in the conditions of formation, software tools and algorithms.

The scientific novelty of the research is consisted of what is shown below:

the relationship between the properties of equilibrium elements of groundwater flow processes was determined, the mathematical model was improved based on boundary conditions;

algorithms for calculating the state of the relationship between the main processes of geofiltration of groundwater and surface waters in dry years have been developed;

boundary problems were constructed, an algorithm for solving a mathematical model and a software package for the process of interconnected flows with ground and surface waters in complex hydrogeological conditions of large areas were developed.

**Introduction of research results.** Based on mathematical models of combined and interconnected geofiltration processes of groundwater and surface water in multilayer porous media:



mathematical model of interconnected geofiltration processes of rocks and groundwater in multi-layered hydrogeological zones and methods for determining the relationship between the elements of the balance of groundwater flow processes introduced in the West Uzbekistan hydrogeological field expedition and "Kashkadarya Hydrogeological Station" (Reference of the The State Committee of the Republic of Uzbekistan for Geology and Mineral dated may 10, 2022 № 07-39). The results of scientific research have made it possible to solve the problems of intellectual analysis of data in the context of complex hydrogeological and water shortages;

Algorithms of interconnection of the main geofiltration processes of groundwater and surface water flows, mathematical modeling of the process of interconnection of groundwater and surface water in complex hydrogeological conditions of large-scale areas ITUC " (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated November 21, 2020 № 33-8 / 3538). The application of research results has allowed to form a system of monitoring and effective management decision-making through the implementation of mathematical models, the state of changes in water conditions in the underground hydrosphere .

**Publication of research results.** A total of 24 scientific papers on the topic of the dissertation were published and 10 of them were publications recommended for the main scientific results of doctoral dissertations of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, with 4 publications in foreign and 6 in national journals as well as 2 certificates of registration of the created computer software were received.

**The structure and scope 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 120 pages .

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (1 часть; part 1)**

1. Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Ишанходжаев О.А., Бегимкулов Д., Эгамбердиев Х.С. Численные решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих процессы геофильтрации и геомиграции. // Вестник ТУИТ. -Ташкент. 2018. №4(48). – Б.58-75 (05.00.00; 31)
2. Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Ахралов Ш.С., Эгамбердиев Х.С., Исроилов У.Б. Сув ҳўжалик фаолияти ўзгарган шароитларда ер ости сувлари ҳаракатини математик моделлаш (Зарафшон воҳасининг Дамхўжа сув олиш иншооти мисолида)/ Муҳаммад Ал-Хоразмий Авлодлари илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. –Тошкент. 2019.«Fan va texnologiya» нашриёти 4(10). 132-137 стр. (05.00.00; 10)
3. Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С. Математическое моделирование процессов геофильтрации подземных вод в многослойных средах (на примере Китабо-шахрисабзского месторождения подземных вод)/ ВЕСТНИК ТУИТ. -Ташкент. ТАТУ. 3(51) 2019, -С.87-98 (05.00.00; 31)
4. Djumanov J.X., Ishankhadjaev O.A., Begimqulov D.Q., Egamberdiev Kh., Jumanov J.J. Development Of A Hydrogeological Simulation Model Of Geofiltration Processes In Regional Aquifers Of Fergana Valley. // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-4. (Раёсат қарори №269/8 (30.09.2019 й.) билан ОАК илмий нашрлар рўйхатиغا киритилган журналларга тенглаштирилган).
5. Akhralov Sh.S., Yusupov R.A., Egamberdiev Kh.S., Begimkulov D.K., Jumanov J.J., Sayfullayeva N., Ishankhodjaev O.A. Mathematical Modeling of Hydrogeological Processes on the Base of Geoinformation Technologies. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET). ISSN: 2350-0328. Vol. 7, Issue 2, February 2020. - P.12915-12924
6. Egamberdiev Kh. Eyes and Lenses: A Comparison and Differences// Journal of Multimedia and Information System VOL. 3, NO. 2, June 2016 (pp. 43-46): ISSN 2383-7632 <http://dx.doi.org/10.9717/JMIS.2016.3.2.43> (№ 35; CrossRef)
7. Djumanov J.X., Zayniddinov H.N., Eshmurodov D.E., Egamberdiev Kh. Mathematical Modeling of the Processes Formations of stocks in Low Water

Period (on the example of the Kitab-Shahrisabz aquifer)// International Journal of "Innovate Technology and Exploring Engineering (IJTEEE)" ISSN: 2278-3075. Volume-9, Issue-8, June 2020. – P. 402-408

8. Юсупов Р.А., Ишанходжаев О., Egamberdiev Kh., Ахралов Ш.С. Ер ости сувлари геофилтрация жараёнларини моделлашнинг дас-турий таъминотини ишлаб чиқиш// "ТАТУ хабарлари" Илмий-техника ва ахборот таҳлилий журнали. №3(55), 2020. -Б-34-45 (05.00.00; 31))
9. Sh.Akhralov, R.Yusupov, Egamberdiev Kh., J.Jumanov. Geoinformation Technologies and Methods of Mathematical Modeling in Hydrogeological Research// ИнтерКарто. ИнтерГИС. "Геоинформационные обеспечение устойчивого развития территорий". Материалы Международной конференции. Ташкент(Узбекистан), 1-2 июня, Пятигорск (Россия), Тбилиси (Грузия), 28-29 сентября, 2020. Том 26, часть 2. Москва. Издательство Московского университета - 2020. - P. 240-251 (№ 1; Scopus)
10. Д.С. Яхшибаев, Ҳ.С. Эгамбердиев, Б.Т. Муродиллаев, Н.Б. Хидирова. Китоб-Шахрисабз ер ости суви кони шаклланиш манбаларини математик моделлаштириш асосида тадқиқ қилиш// "ТАТУ хабарлари" Илмий-техника ва ахборот таҳлилий журнали. №3(59), 2021. -Б-104-113 (05.00.00; 31)

## II бўлим (2 часть; part 2)

11. Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С. Мирюсупов З.З., Ахралов Ш.А., Анорбоев Э.А. ва б. К вопросу практического применения «Big DATA» в гидрогеологических исследованиях// Пятая Международная научно-практическая конференция «Big DATA and Advanced Analytics. Big DATA и анализ высокого уровня» Минск, Республика Беларусь-2019. – С.100-110
12. Джуманов Ж.Х., Бегимкулов Д.К., Хушвактов С.Х., Эгамбердиев Х.С. Разработка типовых компьютерных моделей формирования запасов месторождений подземных вод в маловодных период. // "Ахборот ва телекоммуникация технологиялари ривожланиш истиқболлари" Республика илмий-техник конференция материаллари. Қарши-2018.-С. 415-419
13. Джуманов Ж.Х., Эгамбердиев Х.С. Разработка и внедрение устройств автоматизированных измерений параметров подземной гидросферы. // "Математик моделлаштириш, алгоритмлаш ва дастурлашнинг долзарб

- муаммолари” Республика конференцияси материаллари тўплами. Тошкент -2018. – С. 463-464
14. Джуманов Ж.Х., Узаков У.З., Эгамбердиев Х.С. Уч ўлчамли фазовий маълумотлар моделлари ва тузилмалари. “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари ривожланиш истиқболлари” Республика илмий-техник конференция материаллари. Қарши 2018
  15. Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С., Ахралов Ш.С. Программа прогнозирование движения подземных вод. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. –Ташкент. 2019. №DGU 07070.
  16. Джуманов Ж.Х., Муродуллаев Б.Т., Жамолов Х.М. Yer osti suvlari holatini avtomatlashitirilgan o'lchash va kuzatish qurilmalari // “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари ривожланиш истиқболлари” Республика илмий-амалий конференция материаллари. Қарши-2018. - Б. 94-95
  17. Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С. ва б. Многомерный подход к моделированию фильтрационных процессов гидрогеологических систем. «O'zbekiston zamini («Земля Узбекистана»)» илмий-амалий ва инновацион журнал. 2019 йил, 2-сон. Тошкент-2019. - С. 19-26
  18. Джуманов Ж.Х., Ишанходжаев О.А., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С., Муродуллаев Б.Т. Тасвирлардан маълумотларни олиш, қайта ишлаш ва таҳлил қилиш дастури. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисида гувоҳнома –Тошкент. 2021. № DGU 13666.
  19. Эгамбердиев Х.С., Муродуллаев Б. “InfoPath 2010 SharePoint Server 2010” dasturini ta'limda isloh qilish. // “Таълим ва илмий тадқиқотлар самарадорлигини оширишда завоначий ахборот-коммуникация технологияларини ўрни” Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. Қарши-2017. - Б. 400-404
  20. Эгамбердиев Х.С., Ишанходжаев О.А., Ёсинов С.Д., Ирмухамедова Н, Бегимкулов Д.К., Жуманов Ж.Ж., Моделирование гидрогеологических процессов на основе геоинформационных технологий// Materials of the International Online Distance Conference on Modern Informatics and its Teaching Methods (MITM 2020). Andijan, Uzbekistan – 2020. DOI 10.26739/conf20/05/2020 2. -С.275-278

21. Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С., Ахралов Ш.С. Ер ости сувлари харакатини моделлаштириш дастури. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлиги Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисида гувоҳнома. –Тошкент. 2021. № DGU 13441.
22. Egamberdiev Kh., Nurimov P. The art of immersion: the history and development of rapogama. // V Международной научно-практической конференции “Информационные и коммуникационные технологии в образовании и науке”. Сборник материалов. Бирск - 2016.- С. 168-172
23. Egamberdiev Kh., Nurimov P. Chan Koh. The differences between camera lens and the human eye. // Korea 2016 년도 춘계 학술 발표대회 논문집 Korea multimedia societe <http://www.kmms.or.kr/> 131-134 pages
24. Egamberdiev Kh. Concept and development of virtual tour: the history and methods of creating. // “Таълим ва илмий тадқиқотлар самарадорлигини оширишда замонавий ахборот-коммуникация технологияларининг ўрни” Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. Қарши- 2017. –Р. 174-176

**«Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали  
тахририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз  
тилларидаги матнларини мослиги текширилди.**

**Буюртма № 90. Босишга рухсат этилди 04.07.2022.  
Бичими 60x90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Оффсет босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 3,0. Нашриёт босма табағи 2,75.  
Тиражи 30.**

**«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»  
босмахонасида чоп этилди.  
Тошкент ш., Фозилтепа кўчаси, 22 б уй.**