

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.27/30.12.2019.G.47.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

**ГАФУРОВ АКМАЛ АКРАМОВИЧ**

**ҚАШҚАДАРЁ ҲАВЗАСИ СУВ РЕСУРСЛАРИ МОНИТОРИНГИ ВА  
УНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШДА ГЕОАХБОРОТ ТИЗИМЛАРИДАН  
ФОЙДАЛАНИШ**

**11.00.03-Қуруқлик гидрологияси. Сув ресурслари. Гидрокимё**

**ГЕОГРАФИЯ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

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

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

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

**Гафуров Акмал Акрамович**

Қашқадарё ҳавзаси сув ресурслари мониторинги ва уни оптимал бошқаришда  
геоахборот тизимларидан фойдаланиш.....3

**Гафуров Акмал Акрамович**

Использование геоинформационных систем в мониторинге и оптимальном  
управлении водными ресурсами бассейна реки Кашкадарья.....21

**Gafurov Akmal Akramovich**

Using geoinformation systems on monitoring and optimal management of water  
resources of the Kashkadarya River Basin.....39

**Эълон қилинган илмий ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....43

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.27/30.12.2019.G.47.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

**ГАФУРОВ АКМАЛ АКРАМОВИЧ**

**ҚАШҚАДАРЁ ҲАВЗАСИ СУВ РЕСУРСЛАРИ МОНИТОРИНГИ ВА  
УНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШДА ГЕОАХБОРОТ ТИЗИМЛАРИДАН  
ФОЙДАЛАНИШ**

**11.00.03-Қуруқлик гидрологияси. Сув ресурслари. Гидрокимё**

**ГЕОГРАФИЯ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

**География фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.2.PhD/Gr133 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати учта тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.nigmi.uz) ва «Ziyonet» Ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Ахмедова Тамара Абдурахимовна**  
техника фанлари номзоди, катта илмий ходим

**Расмий оппонентлар:**

**Мурадов Шухрат Одилевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Умирзақов Гулом Ўнгарбоевич**  
қишлоқ хўжалиги фанлари бўйича фалсафа доктори

**Етакчи ташкилот:**

**“Тошкент Ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти”  
Миллий тадқиқот университети**

Диссертация ҳимояси Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги Илмий даражалар берувчи DSc.27/30.12.2019.G.47.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «30» ноябре соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100052, Тошкент ш., Бодомзор йўли 1-тор кўчаси, 72. Тел.: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319, E-mail: info@nigmi.uz).

Диссертация билан Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтининг Илмий-техник кутубхонасида танишиш мумкин (№ 218 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100052, Тошкент ш., Бодомзор йўли 1-тор кўчаси, 72. Тел.: +998 71 2358516, факс: +998 71 2371319.

Диссертация автореферати 2022 йил «18» ноябре кун тарқатилди.  
(2022 йил «18» ноябре даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).



**Б.М.Холматжанов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси, г.ф.д.

**Б.Э.Нишонов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н.

**Х.Эгамбердиев**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, г.ф.д.

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Глобал иқлим ўзгариши Ерда сув айланишига таъсир қилиб, сув ресурсларининг вақт ва ҳудуд бўйича нотекис тақсимланишини янада кучайтирмоқда. Бу борада Бутунжаҳон метеорология ташкилоти «2050 йилга бориб 5 миллиардга яқин одам йилига камида бир ой сувдан етарли даражада фойдалана олмайди. Умуман олганда, глобал иссиқ Ердаги сув айланишини кучайтирмоқда, 2000 йилдан бери сув тошқини билан боғлиқ офатлар 134 фоизга, қурғоқчиликлар сони ва давомийлиги эса ҳудди шу даврда 29 фоизга ўсди»<sup>1</sup>, деб таъкидлайди. Бу ҳолат сув ресурслари мониторинги ва уларни оптимал бошқаришда инновацион технологияларидан фойдаланиш, дарё оқимини прогнозлашга қаратилган тадқиқотларни олиб боришни тақазо этади.

Жаҳонда мазкур йўналишдаги тадқиқотларга, жумладан, сув ресурсларини иқлимий омиллар ва қор қоплами маълумотлари асосида прогнозлаш, дарё ҳавзасидаги сув ресурслари мониторингини олиб бориш, қурғоқчилик ва сув тошқини хавфларини олдиндан аниқлашга алоҳида аҳамият берилмоқда. Шунингдек, ҳозирги кунда, дунё миқёсида дарёларнинг сув захираси ҳисобланувчи қор қоплами ва унинг қалинлигини аниқлаш, қор қоплами ва иқлимий маълумотлар асосида ўрта ва узоқ муддатли гидрологик прогнозлаш усуллари тақомиллаштириш, шу асосда, сув ресурслари мониторинги ва уни оптимал бошқариш сифатини яхшилаш долзарб ҳисобланади.

Республикамизнинг турли иқтисодиёт тармоқларида, хусусан, сув ресурслари мониторингини олиб боришда инновацион технологиялар, замонавий географик ахборот тизимларидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда ва бу борада сезиларли натижаларга эришилмоқда. Жумладан, Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясининг “Сув ресурсларини прогнозлаш ва интеграциялашган ҳолда бошқариш, сув ресурсларини ҳисобга олиш ва ҳисоботини юритиш ҳамда сув истеъмоли меъёрларини белгилаш тизимини тақомиллаштириш” бандида «Сув ресурсларини геоахборот тизим асосида прогноз қилишни ишлаб чиқиш ва босқичма-босқич жорий қилиш»<sup>2</sup> 2021-2022 йилларда амалга ошириладиган чора-тадбирлар йўл харитасига киритилган. Бу борада республикамизда сув ресурслари мониторинги ҳамда уни оптимал бошқаришда геоахборот тизимлари, масофадан зондлаш имкониятларидан фойдаланишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги ПФ-60-сон, 2020 йил 10 июлдаги “Ўзбекистон

<sup>1</sup> World Meteorological Organization. 2021 State of Climate Services: Water.

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 10 июлдаги ПФ-6024-сон «Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясини тасдиқлаш тўғрисида» ги Фармони

Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-6024-сон Фармонлари, 2020 йил 17 ноябрдаги “Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати фаолиятини янада такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4896-сон, 2021 йил 24 февралдаги “Ўзбекистон Республикасида сув ресурсларини бошқариш ва ирригация секторини ривожлантиришнинг 2021-2023 йилларга мўлжалланган стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПҚ-5005-сон Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот иши республика фан ва технологиялар ривожланишининг «V. Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси» устувор йўналишига мувофиқ ҳолда бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Сув ресурслари мониторинги, уларни баҳолашда масофадан зондлаш, дарё оқимини турли муддатларга прогнозлаш масалаларини ўрганишга қаратилган тадқиқотлар D.Ficklin, Y.Luo, E.Luedeling, M.Zhang, W.Bastiaanssen, E.Noordman, H.Pelgrum, G.Davids, B.Thoreson, R.Allen, C.Zhang, S.P.Meyer, T.Salem, J.Labadie, H.Assaf, M.Saadeh, P.S.Fortes, A.E.Platonov, L.S.Pereira, M.Schlüter, N.Rüger, D.Hirsch, C.Pahl-Wostl, Y.Chemin, M.Hassan, R.Bohovic, U.K.Awan, B.Tischbein, C.Martius, M.Hafeez, G.Menz, F.Thonfeld каби олимлар томонидан олиб борилган.

Собиқ Иттифоқ ва МДҲ мамлакатлари олимларидан В.Г.Глушков, М.А.Великанов, Б.Д.Зайков, М.И.Львович, В.Д.Комаров, Н.Л.Фролова, Ю.М.Георгиевский, Л.С.Кучмент, В.Н.Демидов кабиларнинг тадқиқотлари дарё ҳавзасидаги оқимнинг шаклланиши, гидрологик ҳисоблашлар ва прогнозлар, гидрологик жараёнларни математик моделлаштириш каби масалаларни ўрганишга қаратилган.

Ўзбекистонда мазкур йўналишдаги илк тадқиқотлар Э.М.Ольдекоп, Л.К.Давидов, М.И.Геткер, В.Л.Шульц, О.Н.Щеглова, Ю.М.Денисов, Г.Е.Глазирин, А.Г.Коновалов ва бошқалар томонидан олиб борилган. Ҳозирги кунда мазкур муаммога бағишланган тадқиқотлар А.В.Пак, Ф.Ҳ.Ҳикматов, Э.И.Чембарисов, Н.Агальцева, М.А.Петров, Ш.О.Муродов, Л.М.Карандаева, Ғ.Юнусов, Ғ.Ў.Умирзоқов ва бошқа олимлар томонидан давом эттирилмоқда.

Юқорида келтирилган тадқиқотларда Қашқадарё ҳавзасида қор қопламини мониторинг қилиш масалалари географик ахборот тизимлари (ГАТ) ва масофадан зондлаш маълумотлари асосида етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини мониторинг қилишни ривожлантириш ва ҳавзадаги қор қопламини масофадан зондлаш ва унинг қалинлигини ҳисоблашда математик моделлаштириш усули қўлланилганлиги ҳамда иқлим таъсирини инobatга олган ҳолда қор қопламини маълумотлари асосида гидрологик прогнозлар амалга оширилганлиги билан юқоридаги тадқиқотлардан фарқ қилади.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти (ГМИТИ) илмий-тадқиқот ишлари режасининг ПЗ-20170929254 «Иқлим ўзгариши шароитида қишлоқ хўжалигининг барқарор ривожланиши учун мослашув стратегиясини ишлаб чиқишда Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини мониторинги ва геоахборот тизими (ГАТ)ни шакллантириш» (2018-2020 йй.), ПЗ-20170928233 «Фавқулодда вазиятлар вазирлиги ахборот таъминотини ва сув ресурсларини баҳолаш учун масофавий ва ер усти маълумотлари асосида Ўзбекистондаги сув омборлари ҳолатини комплекс мониторинг тизимини ишлаб чиқиш» (2018-2020 йй.), ПЗ-203132020 «Дарёлар оқимининг узок муддатли прогнозлари сифатини яхшилаш учун математик моделлар, масофадан зондлаш тармоғи маълумотлари ва ердан кузатишлар ёрдамида Ўзбекистоннинг тоғли ҳудудларида қор захираларининг шаклланиш динамикасини баҳоловчи дастурий таъминот яратиш» (2022-2025 йй.) мавзуларидаги амалий тадқиқотлар лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** Қашқадарё ҳавзаси сув ресурслари мониторинги ва уни оптимал бошқаришда инновацион технологиялар асосида гидрологик прогнозлаш усулларини такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

Қашқадарё ҳавзасида жойлашган гидрологик постлар ва метеорологик станцияларда кузатилган маълумотлар асосида иқлимий ва гидрологик маълумотларнинг электрон базасини яратиш;

Қашқадарё ҳавзасида қор захирасини ГАТ ва масофадан зондлаш усуллари асосида баҳолаш;

дарё ҳавзасида қор қоплами қалинлигини ҳисоблаш ва унинг математик моделини ишлаб чиқиш;

инновацион технологиялар ёрдамида ҳавзада қор қоплами ҳолати ва динамикасини ўрганиш;

Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини оптимал бошқариш мақсадида табиий режимли дарёлар оқимини прогнозлаш усулларини такомиллаштириш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Қашқадарё ҳавзасининг тоғли ҳудудларида жойлашган табиий гидрологик режимга эга бўлган дарёлар танланган.

**Тадқиқотнинг предмети** Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини мониторинг қилиш, масофадан зондлаш маълумотлари, дарё ҳавзасидаги қор қопламлари маълумотларини статистик баҳолаш, сув ресурсларини оптимал бошқаришда гидрологик прогнозлаш усулларини такомиллаштириш масалалари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертацияда тадқиқотлар географик ахборот тизимлари ва масофадан зондлаш усулларида кенг фойдаланиб бажарилган. Шунингдек, ишда замонавий гидрологик ҳисоблашлар ва прогнозлаш усуллари қўлланилган, жумладан, гидрологик ҳисоблашлар ва статистик таҳлиллар замонавий гидрологик тадқиқотларда кенг

қўлланилаётган R дастурлаш тилида бажарилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

Қашқадарё ҳавзасига тушаётган ёғингарчиликнинг суyoқ (ёмғир) ҳолатдан қаттиқ (қор) ҳолатга ўтиш ҳароратини аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

Қашқадарё ҳавзасида қор қоплами қалинлигини аниқлашнинг эмпирик ифодаси ва унинг SNOWMELT математик модели ишлаб чиқилган;

масофадан зондлаш маълумотлари асосида қор қоплами майдони ва индексини ҳисоблаш алгоритми яратилган;

Қашқадарё ҳавзаси учун масофадан зондлаш орқали олинган қор қоплами маълумотлари асосида дарё оқимини прогнозлаш усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

метеорологик маълумотлар (ҳаво ҳарорати ва ёғин миқдори) асосида дарё ҳавзасида мавжуд қор захирасини миқдорий баҳоловчи математик модел ишлаб чиқилган;

ГАТ технологиялари ва математик модел ёрдамида Қашқадарё ва Ўрадарё ҳавзаларида қор захираси (қор қоплами ва унинг қалинлиги, қорнинг сувлилик эквиваленти)нинг кунлик рақамли хариталари яратилган;

замонавий гидрологик тадқиқотларда кенг қўлланилаётган R дастурлаш тилида қор қоплами майдони ва индексини ҳисоблаш алгоритми яратилган;

Қашқадарё ҳавзаси асосий ирмоқлари (Яккабоғдарё, Оқсув ва Ўрадарё)нинг ойлик ва вегетация даври оқими прогнозлари ишлаб чиқилган;

Қашқадарё ҳавзасидаги дарё оқимини узоқ мудатга прогнозлаш усулидан амалиётда фойдаланиш бўйича услубий тавсиялар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Диссертация ишини бажариш жараёнида Ерни масофадан зондлаш маълумотлари (Modis, SRTM, Landsat), Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази (Ўзгидромет)да амалга оширилган стандарт гидрометеорологик кузатиш маълумотларидан ҳамда тармоқ илмий тадқиқот институтлари, хусусан, Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти (ГМИТИ), Халқаро сув муаммолари институти (IWMI) ҳамда “Давлатсувназорат” агентлигининг ахборот маркази материалларидан фойдаланилганлиги, шунингдек, уларни қайта ишлашда умумий қабул қилинган тадқиқот усуллари, жумладан, математик моделлаштириш усуллари қўлланилганлиги, уларнинг мазкур тадқиқот йўналишидаги бошқа муаллифларнинг натижалари билан мосликлари ва тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилинганлиги билан белгиланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти дарё ҳавзасидаги сув ресурсларини оптимал бошқаришда масофадан зондлаш ва ГАТ имкониятларидан фойдаланиш орқали дарё оқимини ўрта ҳамда узоқ муддатли прогнозлашда математик моделдан фойдаланилиши билан изоҳланади.



Натижаларнинг амалий аҳамияти тадқиқотда олинган асосий хулоса ва тавсиялар Ўзбекистон Республикаси сув хўжалиги вазирлигининг ишлаб чиқариш ташкилотларида, гидротехника иншоотлари, жумладан, сув омборларини лойиҳалаш, қуриш ва мавжудларини самарали эксплуатация қилиш, қишлоқ хўжалиги экинларидан юқори ҳосил олиш мақсадида экин турларини тўғри танлаш ва жойлаштиришга қаратилган мақбул чора-тадбирлар режасини ўз вақтида қабул қилишда қўллаш, шунингдек, ишда қўлланилган услубий ёндашувларнинг республика олий таълим тизимининг тегишли йўналишлари ва мутахассисликларида амалий гидрология фанларини ўқитиш жараёнида замонавий технологиялар асосида билим олишга хизмат қилиши билан белгиланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини мониторинги ва уни оптимал бошқаришда ГАТ технологиялардан фойдаланиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

Қашқадарё ҳавзасидаги ёғингарчиликнинг суяқ (ёмғир) ҳолатдан қаттиқ (қор) ҳолатга ўтиш ҳароратини аниқлаш усулидан Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказида дарё оқимини узоқ муддатли прогнозлашда дарё ҳавзасидаги ёғин турини аниқлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказининг 2022 йил 16 июндаги 01-15/703-сон маълумотномаси). Натижада, ёғин турига қараб дарё оқимини узоқ муддатли прогнози аниқлигини оширишга эришилган;

дарё ҳавзасида қор қоплами қалинлигини аниқловчи SNOWMELT математик моделидан Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказида Қашқадарё ҳавзасидаги қор захираларини ҳисоблашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказининг 2022 йил 16 июндаги 01-15/703-сон маълумотномаси). Натижада, дарё ҳавзасидаги қор қоплами қалинлигини масофадан аниқлаш имконияти яратилган;

масофадан зондлаш маълумотлари асосида қор қоплами майдони ва индексини ҳисоблаш алгоритмидан Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказида Қашқадарё ҳавзасида қор қоплами индексини ҳисоблашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказининг 2022 йил 16 июндаги 01-15/703-сон маълумотномаси). Натижада, Қашқадарё ҳавзаси учун гидрологик прогнозлашда қор қоплами индексидан фойдаланиш имконини берган;

қор қоплами маълумотлари асосида ишлаб чиқилган дарё оқимини прогнозлаш усули ҳамда тавсия этилган формулалардан Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказида Қашқадарё дарёси оқимини узоқ муддатли прогнозлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказининг 2022 йил 16 июндаги 01-15/703-сон маълумотномаси). Натижада, Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини оптимал бошқариш бўйича чора-тадбирлар режасига аниқлик киритиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот ишининг

натижалари 7 та халқаро ва 1 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда муҳокама қилинган.

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

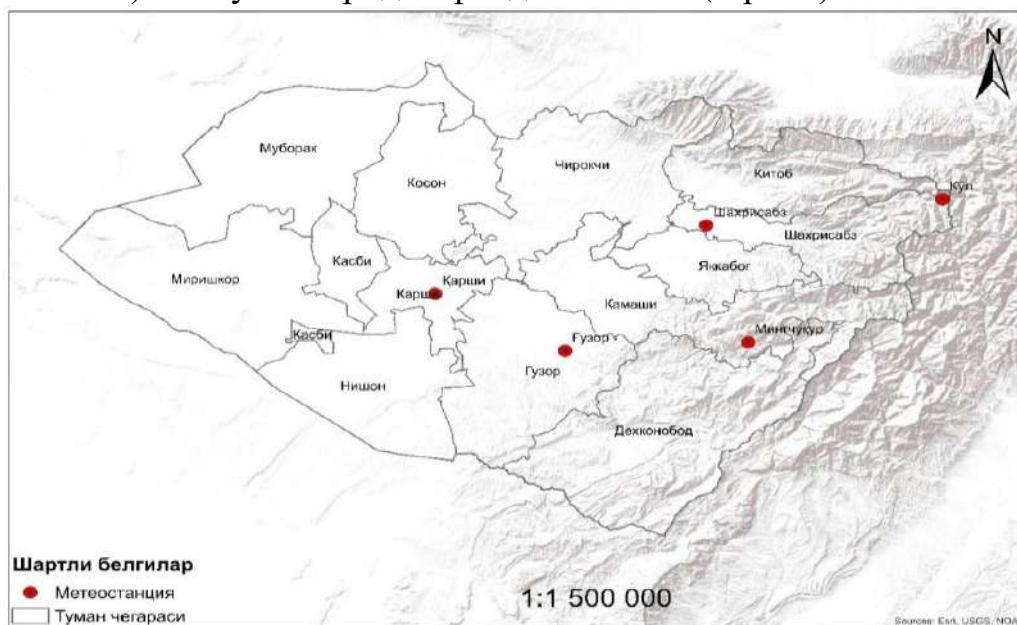
**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 115 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **Кириш** қисмида тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, унинг мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, Республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги, амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, уларнинг амалиётда жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ҳамда диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Қашқадарё ҳавзасининг табиий географик шароити**» деб номланган **1-бобида** Қашқадарё ҳавзаси табиий шароитининг ўзига хос хусусиятлари, унинг географик ўрни, геологик тузилиши ва рельефи, гидрографик тармоқлари бўйича маълумот берилган.

Қашқадарё ҳавзасининг иқлим хусусиятларини тавсифлашда Ўзгидромет тасарруфидаги Ғузор, Кўл, Қарши, Мингчуқур, Муборак ва Шахрисабз метеорологик станцияларининг охириги 30 йиллик (1991-2020 йй.) маълумотларидан фойдаланилган (1-расм).



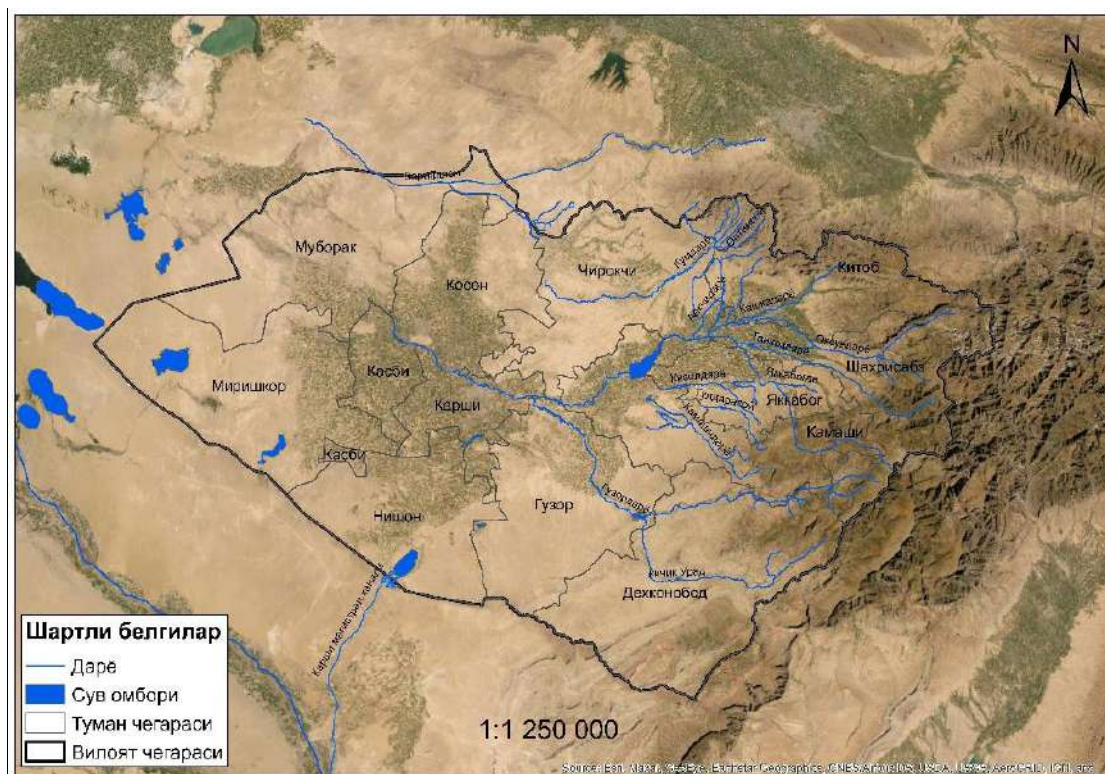
1-расм. Қашқадарё вилоятида метеостанцияларнинг жойлашув харитаси

Қашқадарё ҳавзаси ҳудуди Ўзбекистоннинг ўрта ва шимолий табиий географик ҳудудларидан фарқ қилиб, баҳор эрта келади, тезда жазирама ёзга ўтиб кетади, қиши қисқа, текислик ва тоғ олди ҳудудларида январнинг кўп йиллик ўртача ҳарорати  $+2^{\circ}\text{C}$  атрофида. Ёзи жуда қуруқ, иссиқ бўлиб, узоқ давом этади. Текислик қисмида июль ойининг кўп йиллик ўртача ҳаво ҳарорати  $+28^{\circ}\text{C}$  га тенг, мутлақ юқори ҳарорат эса  $+46 - +47^{\circ}\text{C}$  ни ташкил этади. Тоғларда, тоғ оралиғи ботикларида ёз бироз салқинроқ бўлади.

Қашқадарё ҳавзасида 10 км дан узун бўлган дарёлар сони 149 тани ташкил этиб, шулардан 33 таси 20 км дан ортиқ узунликка эга (2-расм).

Умумий майдони 12000 км<sup>2</sup> атрофида бўлган Қашқадарё ҳавзасининг 8000 км<sup>2</sup> (67%) сув йиғиш майдонига тўғри келади.

Ҳавзадаги дарё оқимини кузатиш 1926 йилда Қашқадарёда Варганза қишлоғи ва Танҳоздарёда Атчиги қишлоғи яқинида бошланган.



2-расм. Қашқадарё ҳавзасининг гидрографик тармоқлари

Диссертациянинг «Қор қопламини мониторинг қилишда географик ахборот тизимлари ва масофадан зондлаш усуллари» деб номланган **2-боби** географик ахборот тизимлари ва масофадан зондлаш маълумотлари асосида ҳавзада қор қопламини миқдорий баҳолаш, сув ресурсларини комплекс мониторинг қилиш масалаларини ўрганишга бағишланган.

Қор қопламини аниқлаш нафақат гидрометеорологик хавфли ҳодисаларни олдини олиш ва юмшатиш, сув ресурсларини бошқариш учун, балки гидрологик прогнозлаштиришда ҳам муҳимдир. Қор захирасини аниқлашда масофадан зондлаш усулидан, яъни Landsat, MODIS (Terra ва Aqua) сунъий йўлдош маълумотларидан фойдаланилган. MODIS (Terra ва Aqua) сунъий йўлдошларидан (705 км баландликдан) олинган маълумотлардан дунё миқёсида ер сирти ва ундаги ўзгаришларни, альбедоси,

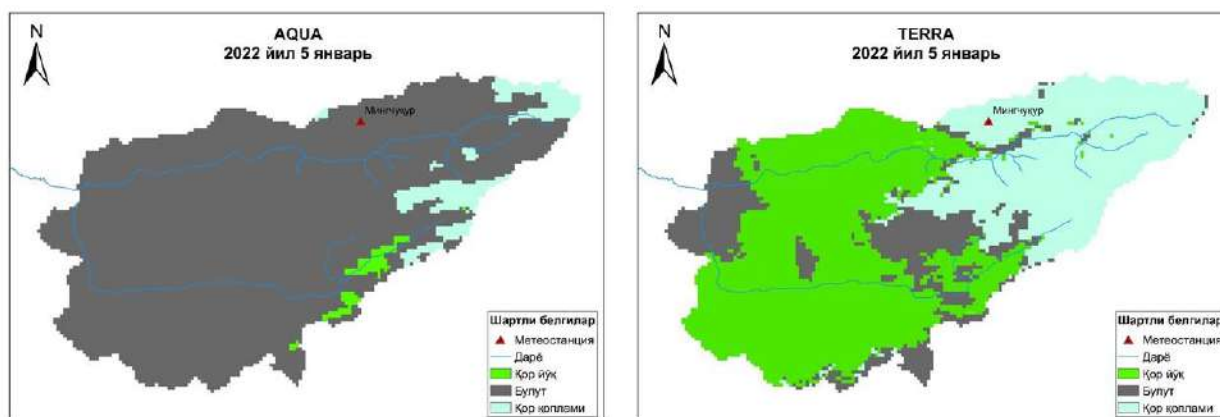
ер сирти ҳарорати, муз ва қор қоплами, ўсимликлар ва уларнинг хусусиятларини кунлик ўрганишда фойдаланилади.

MODIS (4 ва 6 бандлар) ва Landsat TM (2 ва 5 бандлар) маълумотлари орқали нормаллаштирилган қор индекси (NDSI) қуйидаги формула асосида аниқланади:

$$NDSI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$$

бу ерда: Green – яшил рангли тўлқин узунлиги, 0,53-0,61 микрометр; SWIR – қисқа инфрақизил тўлқин, 1,55-1,75 микрометр.

Қор қопламини авиация ёрдамида кузатишлар кескин камайган шароитда қор қоплами маълумотларини ўрганишда масофадан зондлаш услубидан фойдаланиш қулай ва қор қоплами ҳақидаги муқобил маълумот манбаси бўлиб, шу билан бирга дарёларнинг сувлиги тўғрисида узоқ муддатли прогнозлашда ҳам фойдаланиш мумкин. Бироқ масофадан зондлаш услубининг ҳам айрим камчиликлари, жумладан, булутлилик мавжуд. Буни MODIS сунъий йўлдошнинг AQUA ва TERRA сенсорларидан олинган суратлардан кўриш мумкин. 3-расмда AQUA сенсоридан олинган суратда булут қоплами ҳавзани деярли тўлиқ қоплаган.



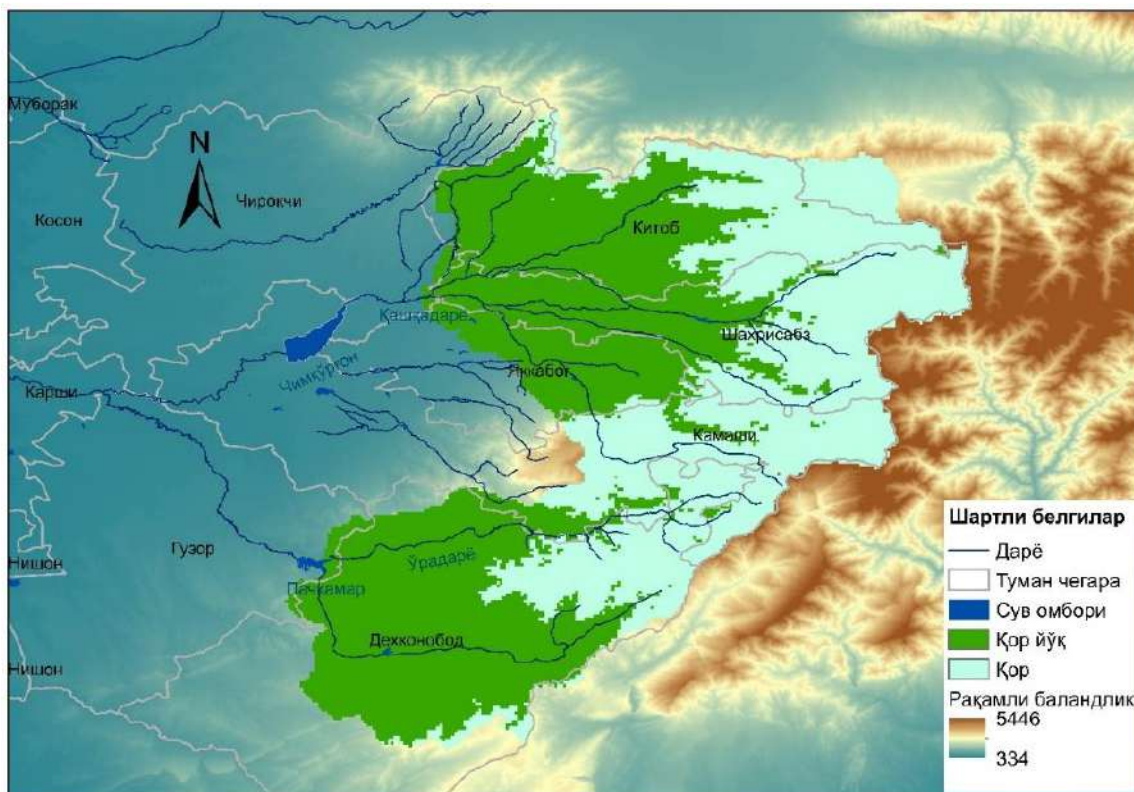
3-расм. MODIS сунъий йўлдош маълумотлари асосида Ўрадарё ҳавзаси учун тузилган қор қоплами харитаси

Булут қопламини олиб ташлаш ва қор қопламини мониторинг қилишда Германиянинг Потсдам институтида ишлаб чиқилган MODSNOW дастуридан фойдаланилди.

MODSNOW дастури NSIDC серверидан мавжуд янгиланган MODIS қор қопламлари маълумотларини юклаб олиш, автоматик метеорологик станциялари тармоғидан кирувчи ва чиқувчи қисқа тўлқинли радиация ҳақидаги янгиланган маълумотларни юклаш, жойларда ёққан қор тўғрисидаги маълумотларга қайта ишлов бериш, жойларда маълумот сифатини яхшилаш мақсадида булутлардан тозалаш алгоритмидан фойдаланиш, керакли MODIS плиткаларини GeoTIFF файл кўринишида қайта лойиҳалаш, GeoTIFF файл форматидан ASCII файл форматига ўтказиш ҳамда ҳавзаларни ажратиш, кўп босқичли жараёнлардан фойдаланиб булутлардан тозалаш, ҳавза миқёсида қор қопламлари ҳолати бўйича ҳисоботларга қайта ишлов бериш ва уни визуаллаштириш каби босқичларни автоматик тарзда амалга оширади.

MODSNOW дастури орқали дарё ҳавзасида булутлардан тозаланган суткалик қор қоплами маълумотларини автоматик тарзда олиш имконияти мавжуд (4-расм).

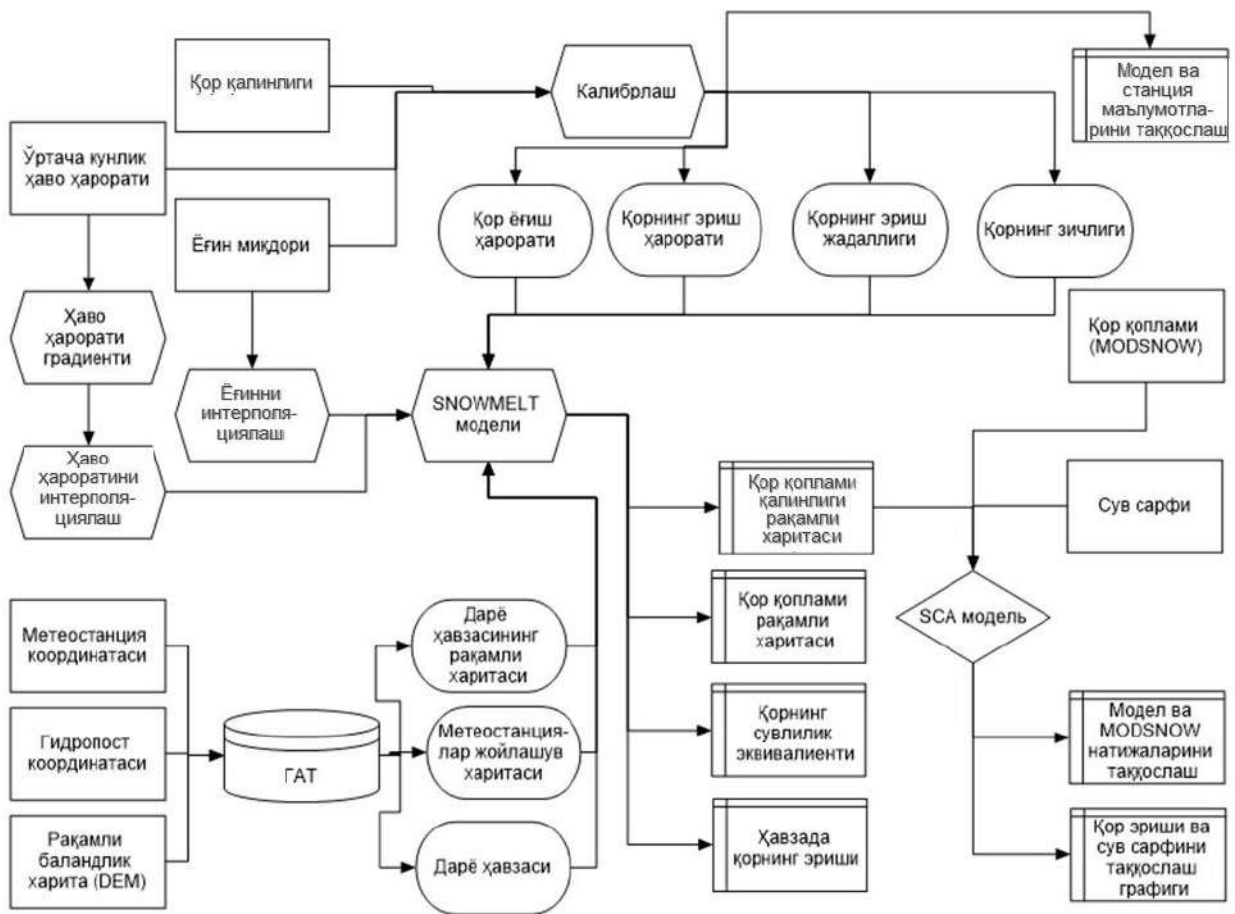
MODSNOW дастури нафақат Қашқадарё вилояти, балки Марказий Осиё ҳудудидаги қор қоплами маълумотларини масофадан ўрганувчи дастурдир.



4-расм. MODSNOW дастурида аниқланган Қашқадарё ҳавзаси қор қоплами (05.01.2022 й.)

Диссертациянинг «Дарё ҳавзасида қор қоплами қалинлигини математик моделлаштириш» деб номланган **3-боби** дарё ҳавзасида иқлимий (ёгин, ҳаво ҳарорати) маълумотлари асосида қор қалинлигини аниқлашга ва унинг математик моделини яратишга бағишланган.

Дарё ҳавзасида қиш ойларида тўпланган мавсумий қор захиралари “сув омборлари” сифатида сақланиб туради. Мазкур қор захиралари дарё оқимининг режимини белгилаб беради. Мавсумий сув ресурсларини баҳолашда ҳавзада жойлашган метеорологик станциялар маълумотларидан фойдаланилган. Бугунги кунда Қашқадарё ҳавзаси бўйича қор қоплами қалинлиги Қашқадарё ҳавзасидаги Кўл ва Ўрадарё ҳавзасидаги Мингчукур метеостанцияларида ўлчанади. Лекин, ҳавзадаги қор захирасини 2 та станция маълумотлари ёрдамида баҳолаш етарли бўлмайди. Ушбу муаммони бартараф этиш мақсадида ҳавзадаги қор қопламини ва унинг қалинлигини баҳолаш математик моделлаштириш ёрдамида ўрганилган (5-расм).



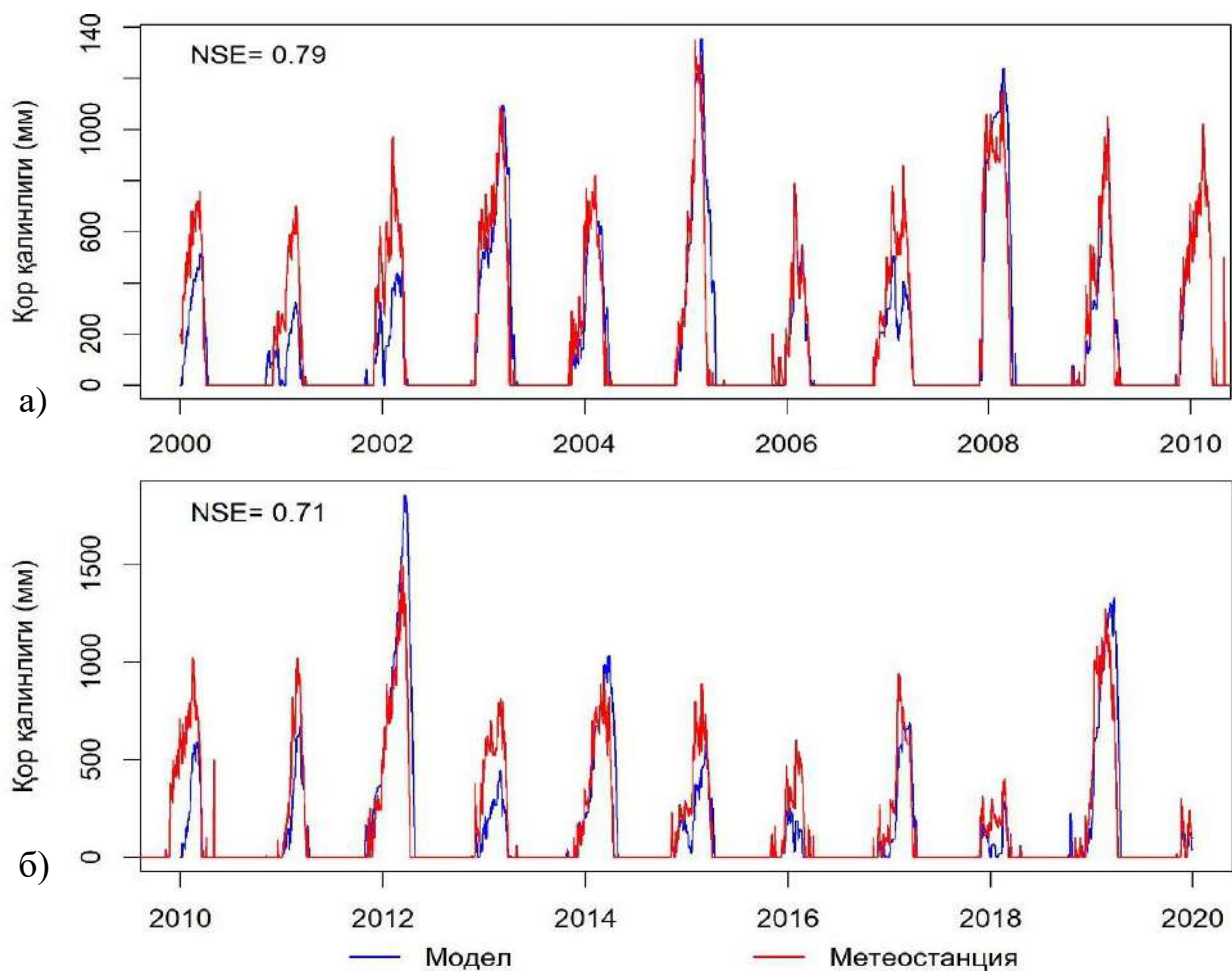
5-расм. Қор қоплами ва унинг қалинлигини аниқловчи математик модел структураси

Математик моделни тузишда қорнинг эриш формуласидан (3.1) фойдаланилган. Қор қоплами қалинлиги ҳаво ҳароратига боғлиқ ҳолда қорнинг эриши ёки ёғатган ёғингарчиликнинг қаттиқ (қор) ёки суюқ (ёмғир) кўринишида тушишига қараб аниқланади:

$$M = C_m(T_a - T_o) \quad (3.1)$$

бу ерда:  $M$  – қорнинг эриши, мм/кун;  $C_m$  – қорнинг эриш жадаллиги, мм/°С кун;  $T_a$  – ўртача кунлик ҳаво ҳарорати, °С;  $T_o$  – қорнинг эриш ҳарорати, °С.

Ишда қорнинг ёғиш, эриш ҳарорати ва эриш жадалликларини аниқлашда 2000-2009 йиллар давомида Кўл ва Мингчуқур метеостанцияларида ўлчанган кунлик ўртача ҳаво ҳарорати, кунлик ёғин миқдори ҳамда қорнинг қалинлиги маълумотларидан фойдаланилди. Математик модел ҳаво ҳарорати ва ёғин миқдори маълумотлари асосида ишлайди. Модел натижаларининг аниқлигини баҳолашда мос равишда Кўл ва Мингчуқур метеостанцияларида 2010-2019 йилларда кузатилган қор қалинлиги маълумотларидан фойдаланилган (6-расм).



б-расм. Мингчукур метостанцияси ва математик моделда аниқланган қор қалинлигини таққослаш; а) моделни тузишда фойдаланилган маълумотлар (калибрация), б) моделда ҳисобланган маълумотлар аниқлигини текшириш (валидация)

Моделлаштириш натижаларининг аниқлиги замонавий гидрологик тадқиқотларда қўлланиладиган Неш-Сатклиф самарадорлиги (Nash-Sutcliffe efficiency – NSE) ифодаси ёрдамида баҳоланган. NSE ифодаси моделлаштирилган ва кузатилган қийматларни таққослаш асосида амалга оширилади:

$$NSE = 1 - \frac{\sum(H^P - H^O)^2}{\sum(H^O - \bar{H})^2} \quad (3.2)$$

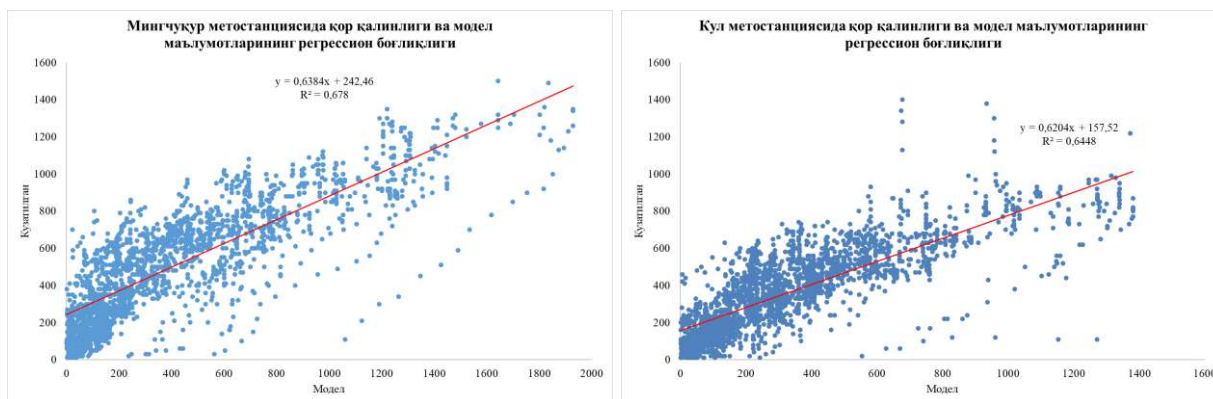
бу ерда:  $H^O$  – кузатилган қор қоплами қалинлиги қиймати;  $H^P$  – моделда аниқланган қор қоплами қалинлиги қиймати;  $\bar{H}$  – кузатилган қор қоплами қалинлиги қийматларининг ўртача арифметик қиймати.

Ҳисоблаш натижаларига кўра модел ўзини оқлаган, яъни 2000-2009 йилларда  $NSE=0,79$ , бу эса баҳолаш мезонига кўра, жуда яхши ҳисобланади (1-жадвал).

## NSE мезони бўйича баҳолаш параметрлари

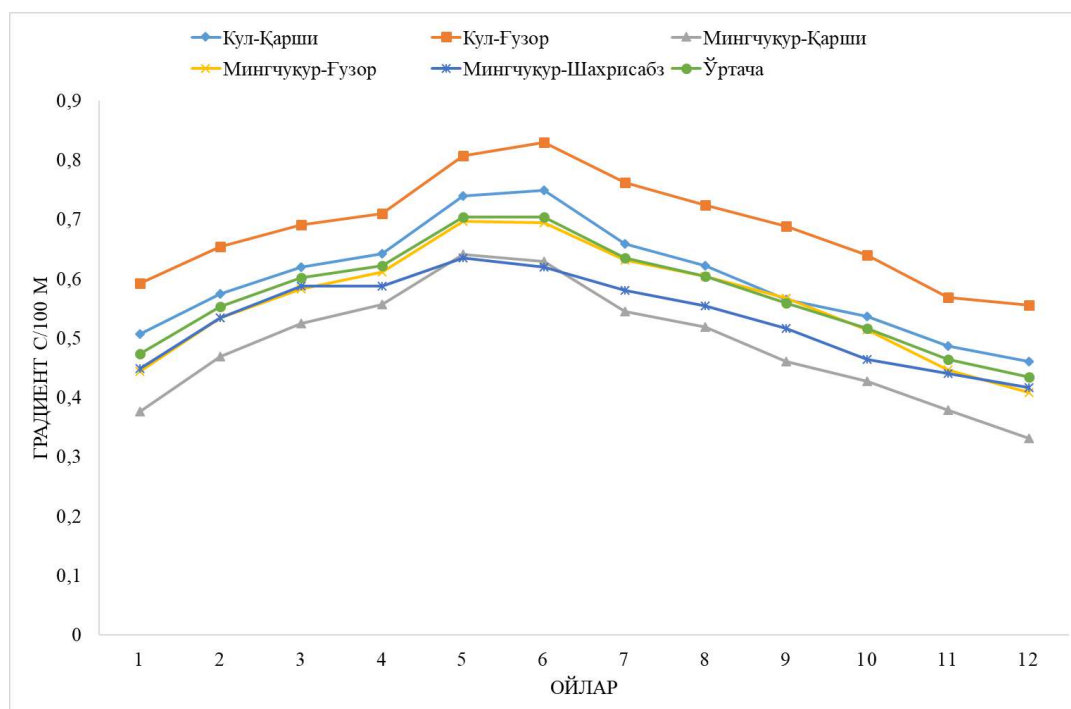
Баҳолаш мезони	Жуда яхши	Яхши	Қониқарли	Қониқарсиз
Қиймат оралиғи	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$NSE \leq 0,50$

Моделлаштирилган ва кузатув маълумотларининг статистик боғлиқлиги текширилган (7-расм).



7-расм. Моделлаштирилган ва кузатилган қор қопламлари қалинлиги маълумотларининг статистик таҳлили

Бутун Қашқадарё ҳавзаси бўйича қор қоплами ва унинг қалинлигини аниқлашда ҳаво ҳарорати ва ёғин миқдори маълумотлари фойдаланилган. Ҳавза бўйича ҳаво ҳароратини аниқлашда унинг баландлик бўйича ўзгариш градиенти ҳисобланган (8-расм).

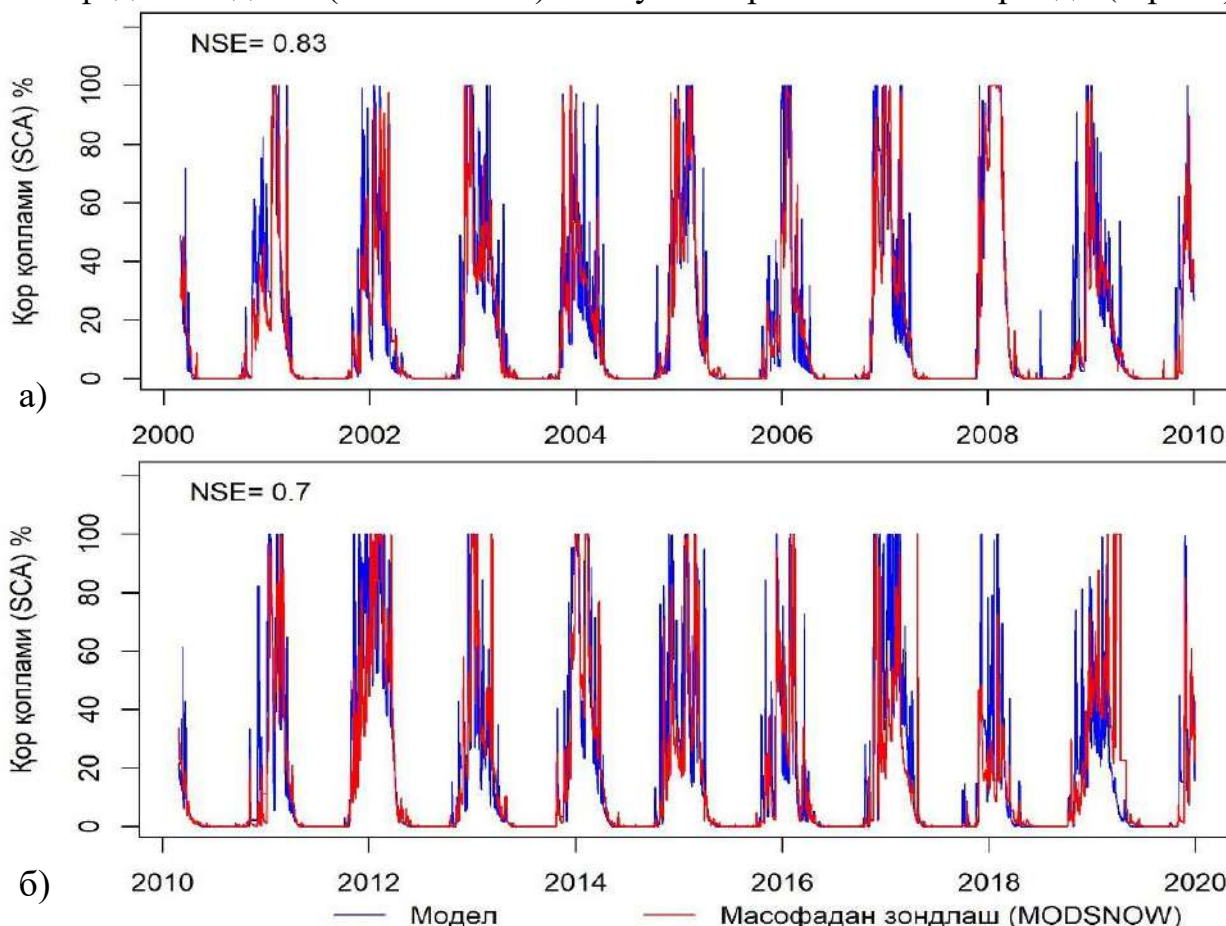


8-расм. Йил давомида ҳаво ҳароратининг баландлик бўйича ўзгариши

Ҳавза бўйича ёғингарчилик маълумотини киритишда Кўл, Мингчукур, Фузор, Қарши, Шаҳрисабз метеостанцияларида ўлчанган маълумотлар тескари



масофани тортиш сули – IDW (Inverse distance weighting) орқали интерполяция қилинган. Қашқадарё вилоятида Кўл ва Мингчукур метеорологик станцияларидан бошқа станцияларда қор қоплами мониторинги амалга оширилмаганлиги сабабли, математик модел бўйича аниқланган қор қоплами масофадан зондлаш (MODSNOW) маълумотлари билан текширилди (9-расм).



9-расм. Ўрадарё ҳавзасида SNOWMELT (моделлаштирилган) ва MODSNOW (масофадан зондлаш) қор қоплами майдони графиги: а) моделни тузишда фойдаланилган маълумотлар (калибрация), б) модел маълумотларини аниқлигини текшириш (валидация)

Диссертациянинг «ГАТ технологиялари ва масофадан зондлаш маълумотлари ёрдамида Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини оптимал бошқариш» деб номланган 4-бобида масофадан зондлаш ёрдамида ҳисобланган қор қоплами ва қор индекси маълумотлари асосида гидрологик прогнозлаш, дарё ҳавзасини 500 метр ҳамда 1000 метрлик баландликларга ажратиб, ҳар бир баландликлар бўйича алоҳида ойлик прогнозларини тайёрлаш, тоғ дарёлари оқимини прогнозлаш орқали Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини оптимал бошқариш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган.

Мазкур бобда Қашқадарё ҳавзасининг табиий режимли Оқсув дарёсидаги Ҳисорак гидропости, Яккабоғ дарёсидаги Татар гидропостига бўлган қисми учун дарё оқимининг ва Пачкамар сув омборига келаётган сув миқдорини вегетация даврининг ҳар бир ойи ва вегетация даври (апрель-сентябрь) учун прогнозлаш амалга оширилган. Дарё оқимини прогнозлашда тўғри чизикли кўп ҳадли регрессия тенгламаларидан (4.1) фойдаланилган:

$$y = ax + b \quad (4.1)$$

бу ерда:  $x$  — мустақил ўзгарувчи,  $y$  — мустақил ўзгарувчининг функцияси,  $a$  — бурчак коэффиценти,  $b$  — координата ўқини кесиб ўтувчи чизиқни билдирувчи катталиқ. Бу катталиқлар мусбат ёки манфий бўлиши мумкин.

Юқоридаги (4.1) ифода ўзгарувчилари ўрнига сув сарфи ва ҳавзанинг қор қоплами маълумотларини қўйиш натижасида (4.2) формула ҳосил қилинган:

$$Q_n = a * SCA_{n-1} + b \quad (4.2)$$

бу ерда:  $Q_n$  — прогноз қилинаётган сув сарфи,  $m^3/сек$ ;  $a$ ,  $b$  — чизиқли тенглама коэффиценти;  $SCA_{n-1}$  — прогноз берилаётган ойдан олдинги ойднинг қор қоплами майдони.

Ишда шунингдек, оқим прогнозини такомиллаштирилган кўп ҳадли ифодалари ишлаб чиқилган:

$$Q_n = a * SCA_{(n-1)} + b * Q_{(n-1)} + d * P + e * T + c \quad (4.3)$$

бу ерда:  $Q_{(n-1)}$  — прогноз қилинаётган ойдан олдинги ойднинг ўртача сув сарфи,  $m^3/сек$ ;  $P$  — 1 октябрдан прогноз қилинаётган ойдан олдинги ойгача ёққан ёғин миқдори, мм;  $T$  — прогноз қилинаётган ойдан олдинги ойдаги ўртача ҳаво ҳарорати,  $^{\circ}C$ .

Тадқиқот ишида дарё ҳавзаси 500 м ва 1000 м баландлик зоналари ажратилиб, ҳар бир баландликлар бўйича алоҳида оқим прогнозлари таққосланган, сўнгра статистик боғлиқлиги юқори бўлган баландлик зоналари ажратиб олинган. Натижада дарё оқимини прогнозлашнинг (4.4) ифодаси ҳосил бўлган:

$$Q_n = a * SCA_{(n-1)(H_1-H_2)} + b * Q_{(n-1)} + d * P + e * T + c \quad (4.4)$$

бу ерда:  $(H_1 - H_2)$  — баландликлар оралиғи, м.

Қор қоплами (SCA) дарё ҳавзаси умумий майдонининг қор билан қопланган қисми майдонини фоиз миқдорида ифодаловчи параметр ҳисобланади. Қор қопламининг давомийлиги ва унинг ўзгариши билан дарё оқими ўртасида яхши корреляцион боғланишлар мавжуд. Бу ўз навбатида SCAnинг ўзгариши орқали ифодаланадиган қор қоплами индекси параметри SCI (Snow Cover Index) қўллаш мумкинлигини кўрсатади ва қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$SCI_t = \sum_{n=1}^{365/366} SCA_i \quad (4.5)$$

бу ерда:  $SCI_t$  (Snow Cover Index) — қор қоплами индекси,  $SCA_i$  (Snow Cover Area) — қор қоплами майдонининг ҳавза майдонига нисбатан фоиздаги қиймати.

Юқоридаги ҳолатларни ҳисобга олиб, диссертация ишида Қашқадарё ҳавзаси сув ресурсларини оптимал бошқаришда Оқсув ва Яккабоғ дарёлари оқимини узоқ муддатли прогнозлаш регрессион тенгламаларида қор индексдан фойдаланилган. Бу ерда, Қашқадарё сув хўжалиги тизими фаолияти барқарорлигини таъминлаш учун иқлимий кўрсаткичлар — ёғин тури

ва ҳаво ҳарорати эътиборга олинган. Иккинчидан, ҳавзадаги сув ресурсларини оптимал бошқариш учун ойлик сув оқимини прогнозлашда ҳавзани баландлик бўйича 500 метрлик зоналарга ажратиб олинган.

Оқсув дарёси оқимининг ўртача сув сарфини прогнозлаш учун таклиф этилган регрессия тенгламаларини баҳолаш 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Оқсув дарёси оқимини вегетация давридаги ҳар бир ойга прогнозлаш учун кўпҳадли регрессия тенгламалари

Ойлар	Регрессия тенгламалари	R <sup>2</sup>	S/σ
Апрель	$Q_{IV}=0,79359SCI_{III(1700-2200)}+0,532736Q_{III}+0,002084$	0,77	0,72
Май	$Q_{V}= -0,2704SCI_{IV(1200-1700)}+0,8182Q_{IV}+0,1639$	0,79	0,54
Июнь	$Q_{VI}=0,5095SCI_{IV(1200-1700)}+0,5808Q_{IV}-0,0303$	0,75	0,35
Июль	$Q_{VII}=0,20679SCI_{VI(3700-4200)}+0,81534Q_{VI}-0,06331$	0,94	0,58
Август	$Q_{VIII}=0,15681SCI_{VII(2700-3200)}+0,81159Q_{VII}+0,01235$	0,92	0,56
Сентябрь	$Q_{IX}= 0,26535SCI_{VIII(1200-1700)}+0,76408Q_{VIII}+0,04408$	0,90	0,68

Изоҳ: R – корреляция коэффиценти; Q – ўртача ойлик сув сарфи, м<sup>3</sup>/сек; SCI<sub>n(H1-H2)</sub> - H<sub>1</sub> – H<sub>2</sub> баландликлар орасидаги қор қоплами индекси; S/σ – прогнозлаш методининг самарадорлик мезони.

3-жадвал

Прогнозлаш методининг самарадорлигини статистик баҳолаш натижалари

Вегетация давридаги ойлар	Оқсув дарёси		Яккабоғ дарёси		Пачкамар сув омборига келадиган оқим	
	R <sup>2</sup>	Прогнознинг оқланиши, %	R <sup>2</sup>	Прогнознинг оқланиши, %	R <sup>2</sup>	Прогнознинг оқланиши, %
Апрель	0,74	75	0,71	60	0,84	80
Май	0,64	45	0,34	35	0,62	50
Июнь	0,86	75	0,91	80	0,24	70
Июль	0,93	90	0,69	75	0,99	95
Август	0,85	75	0,89	80	0,71	65
Сентябрь	0,82	80	0,77	75	0,84	75
Вегетация даври учун						
Апрель-сентябрь	0,76	65	0,87	80	0,49	70

Дарё оқимини ойлик ва вегетация даври учун прогнозлаш бўйича тавсия этилган тенгламаларни амалиётда қўллаш натижасида кам сувли ва кўп сувли гидрологик йилларнинг қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришига салбий таъсири олдини олиш ва камайтиришга эришилган.

## ХУЛОСА

1. Қашқадарё ҳавзасининг иқлим хусусиятларини таърифлашда Ўзгидромет тасаруффиддаги метеорология станцияларининг охириги 30 йиллик (1991-2020 йй.) маълумотларидан фойдаланилган. Қашқадарё ҳавзасида иқлим ўзгаришининг таъсири натижасида ҳаво ҳарорати +1,6°C даражага ошганлиги ва вегетация даври бошланиши олдинга силжиганлиги аниқланган.

Бутун ҳавза бўйича ҳаво ҳароратини аниқлашда, ҳаво ҳароратининг баландлик бўйича ўзгариш градиентидан фойдаланилган. Натижада, ўртача ҳар 1000 метрда ҳароратни  $4,5-6,8^{\circ}\text{C}$  оралиқда ўзгариши аниқланган. Ҳарорат градиентининг энг катта қиймати ёзда, энг кичиги эса қишда кузатилган.

2. Диссертация ишида қор қоплами MODIS сунъий йўлдош маълумотлари асосида масофадан ўрганилган. Қор қопламини мониторинг қилиш учун нормаллашган қор индекси (NDSI)дан фойдаланилган. Бунда MODIS дан олинган тасвирлардаги булут қопламларидан тозаланган маълумотларини олишда MODSNOW дастуридан фойдаланилган. Тадқиқот натижасига кўра MODSNOW дастурида булутларни тозалаш алгоритмининг аниқлиги 94% эканлиги аниқланган.

3. Тадқиқот ишида қор қопламини қалинлигини аниқлашнинг математик моделини тузишда Қашқадарё ҳавзасидаги Мингчуқур ва Кўл метеорологик станциялари маълумотлари асосида қорнинг ёғиш, эриш ҳароратлари ва эриш жадалликлари аниқланган. Натижада, маълумотлар мос равишда қор ёғиш ҳарорати  $T_{\epsilon} - 0,5^{\circ}\text{C}; 0,4^{\circ}\text{C}$ , қорнинг эриш ҳарорати  $T_{\epsilon} - 0,9^{\circ}\text{C}; 0,5^{\circ}\text{C}$ , қорнинг эриш жадаллиги  $C_m - 1,8 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$  кун;  $2,5 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$  кун эканлиги аниқланган.

4. Диссертация ишида Қашқадарё ҳавзасида қор қоплами қалинлигини аниқлаш мақсадида SNOWMELT модели яратилган. Моделлаштириш натижаларининг аниқлиги замонавий гидрологик тадқиқотларда қўлланиладиган Нэш-Сатклиф самарадорлиги (Nash-Sutcliffe efficiency – NSE) ифодаси ёрдамида баҳоланган. Модель ва масофадан зондлаш маълумотлари таққосланганда Ўрадарё ҳавзасида калибрлаш даври (2000-2010 йй.)  $\text{NSE}=0,82$  ва валидация даври (2010-2020 йй.)  $\text{NSE}=0,77$  га тенглиги аниқланган, бу эса баҳолаш мезонига кўра, жуда яхши кўрсаткичга тўғри келади.

5. Масофадан зондлаш маълумотлари асосида Қашқадарё ҳавзасида дарё оқимини прогнозлаш усули ишлаб чиқилган. Олинган натижаларга кўра прогнознинг ўзини оқлаши апрель, июнь, июль, август ва сентябрь ойлари учун 60-95% оралиғида бўлса, май ойи учун 35-50%ни ташкил этган.

6. Корреляция коэффиценти юқори бўлишига қарамадан, Қашқадарё ҳавзаси учун оқим прогнозининг ўзини оқлаш кўрсаткичи паст. Бу эса бирламчи маълумотларнинг янада чуқурроқ тадқиқ қилиш зарурлигини кўрсатади. 2022 йилда баҳор фаслида ёғингарчиликнинг ортиши ва март ойида ёққан қор 2021-2022 гидрологик йил учун дарё оқими прогнозининг ўзини оқлаш коэффицентини камайишига олиб келган. Гидрологик прогноз сифатини яхшилаш мақсадида диссертация ишида қор қоплами индексидан (SCI) фойдаланилган.

7. Сув ресурсларини бошқаришда Қашқадарё ҳавзасидаги дарё ўзанларига 15 та сув омборлари қурилган. Диссертацияда ишида Қашқадарё вилоятида вегетация даврида далалардаги экинларни суғориш учун мавжуд сув омборларини оптимал бошқариш мақсадида сув омборларига келадиган дарё оқимини ҳар бир ой ва вегетация даври учун прогнозлаш формуллари тавсия этилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
DSc.27.06.2017.G.47.01 ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ**

**ГАФУРОВ АКМАЛ АКРАМОВИЧ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В  
МОНИТОРИНГЕ И ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ  
РЕСУРСАМИ БАССЕЙНА РЕКИ КАШКАДАРЬЯ**

**11.00.03-Гидрология суши. Водные ресурсы. Гидрохимия**

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

**Ташкент – 2022**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по географическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2020.2.PhD/Gr133.**

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский-резюме) размещён на веб-странице Научного совета по адресу [www.nigmi.uz](http://www.nigmi.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Ахмедова Тамара Абдурахимовна**  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

**Официальные оппоненты:**

**Муродов Шухрат Одилевич**  
доктор технических наук, профессор

**Умирзаков Гулом Унгарбоевич**  
доктор философии по сельскохозяйственным наукам

**Ведущая организация:**

**Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства**

Защита диссертации состоится «30» ноября 2022 г. в 14<sup>00</sup> час на заседании Научного совета по присуждению ученых степеней DSc.27/30.12.2019.G.47.01 при Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (Адрес: 100052, г.Ташкент, ул. 1-й проезд Бодомзор йули, 72. Тел.: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319; e-mail: [info@nigmi.uz](mailto:info@nigmi.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке Научно-исследовательского гидрометеорологического института (зарегистрирован за №218). Адрес: 100052, г.Ташкент, ул. 1-й проезд Бодомзор йули, 72. Тел.: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319.

Автореферат диссертации разослан «18» ноября 2022 года.  
(реестр протокола рассылки № \_\_\_ от «18» ноября 2022 года).



**Б.М.Холматжанов**  
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.г.н.

**Б.Э.Нишинов**  
Учёный секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, к.т.н.

**Х.Эгамбердиев**  
Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.г.н.

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Глобальное изменение климата влияет на круговорот воды на планете, приводя к неравномерному распределению водных ресурсов. По данным Всемирной метеорологической организации<sup>1</sup> «К 2050 году почти 5 миллиардов населения не смогут пользоваться достаточным количеством воды, по крайней мере, в течение месяца в году. В целом, глобальное потепление ускоряет круговорот воды на планете, с 2000 года количество бедствий, связанных с наводнениями, увеличилось на 134%, а количество и продолжительность засух увеличилось на 29%». Эта ситуация требует применения инновационных технологий в мониторинге и оптимальном управлении водными ресурсами и проведение исследований, направленных на прогнозирование речного стока.

В мире особое значение придается исследованиям в этом направлении, в том числе, прогнозированию водных ресурсов на основе климатических факторов и данных о снежном покрове, мониторингу водных ресурсов в речном бассейне, заблаговременному выявлению рисков засухи и наводнений. Также в настоящее время актуальным является определение площади снежного покрова и его толщины, на основе чего рассчитываются запасы воды в реках, совершенствование методов средне- и долгосрочных гидрологических прогнозов по данным о снежном покрове и климатическим данным, повышение качества мониторинга водных ресурсов и оптимального управления ими.

В нашей республике особое внимание уделяется использованию инновационных технологий в различных отраслях экономики, в том числе в разработке новых методов прогнозирования с использованием геоинформационных систем (ГИС) в мониторинге водных ресурсов и в этом направлении достигнуты значительные результаты. В частности, в Дорожной карте Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы<sup>2</sup> в пункте 2.1. «Совершенствование системы прогнозирования и интегрированного управления водными ресурсами, учета и отчетности водных ресурсов, установления нормативов водопотребления» включено «Развитие и поэтапное внедрение прогнозирования водных ресурсов на основе ГИС-технологий» для реализации плана мероприятий Дорожной карты в 2020-2022 годах. В связи с этим, научно-исследовательские работы, направленные на исследования использования геоинформационных систем и дистанционного зондирования при мониторинге водных ресурсов и их оптимальном управлении в нашей республике являются актуальными.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, определенных в Указах Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы», №УП-6024 от 10 июля 2020 года «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан

---

<sup>1</sup> World Meteorological Organization. 2021 State of Climate Services: Water.

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан УП-6024 от 10 июля 2020 г. «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 — 2030 годы»

на 2020-2030 годы”, Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-4896 от 17 ноября 2020 года “О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Гидрометеорологической службы Республики Узбекистан”, №ПП-5005 от 24 февраля 2021 года “Об утверждении стратегии управления водными ресурсами и развития сектора ирригации в Республике Узбекистан на 2021-2023 годы” и в других нормативно-правовых актах, принятых в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** Мониторингу водных ресурсов, использованию дистанционного зондирования для их оценки, изучению вопросов прогнозирования речного стока различной заблаговременности посвящены работы таких зарубежных ученых, как D.Ficklin, Y.Luo, E.Luedeling, M.Zhang, W.Bastiaanssen, E.Noordman, H.Pelgrum, G.Davids, B.Thoreson, R.Allen, C.Zhang, S.P.Meyer, T.Salem, J.Labadie, H.Assaf, M.Saadeh, P.S.Fortes, A.E.Platonov, L.S.Pereira, M.Schlüter, N.Rüger, D.Hirsch, C.Pahl-Wostl, Y.Chemin, M.Hassan, R.Bohovic, U.K.Awan, B.Tischbein, C.Martius, M.Hafeez, G.Menz, F.Thonfeld.

В частности, свой вклад в изучение таких вопросов, как формирование речного стока, гидрологические расчеты и прогнозы, математическое моделирование гидрологических процессов внесли ученые из стран бывшего Союза и СНГ Г.Глушков, М.А.Великанов, Б.Д.Зайков, М.И.Львович, В.Д.Комаров, Н.Л.Фролова, Ю.М.Георгиевский, Л.С.Кучмент, В.Н.Демидов.

Первые исследования в Узбекистане в этом направлении выполнены Е.М.Ольдекопом, Л.К.Давыдовым, В.Л.Шульцем, О.Н.Щегловой, М.И.Геткером, Ю.М.Денисовым, Г.Е.Глазыриным, А.Г.Коноваловым и другими. В настоящее время исследования в этом направлении ведутся А.В.Паком, Ф.Х.Хикматовым, Э.И.Чембарисовым, Н.А.Агальцевой, М.А.Петровым, Ш.О.Мурадовым, Л.М.Карандаевой, Г.Х.Юнусовым, Г.У.Умирзаковым и другими учеными.

Однако в исследованиях, проведенных вышеупомянутыми учеными, вопросы мониторинга водных ресурсов в бассейне Кашкадарьи не были должным образом изучены на основе ГИС технологий и данных дистанционного зондирования. Данная диссертационная работа отличается от вышеизложенных исследований тем, что в ней особое внимание уделено вопросам мониторинга водных ресурсов бассейна Кашкадарьи с применением дистанционного зондирования снежного покрова в бассейне и расчета его толщины, а также разработке гидропрогнозов на основе данных о снежном покрове с учетом влияния климата.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, в котором выполнялась**



**диссертация.** Диссертационная работа выполнена в рамках прикладных исследований согласно плану научно-исследовательских работ Научно-исследовательского гидрометеорологического института (НИГМИ) ПЗ-20170929254 “Формирование геоинформационной системы при мониторинге водных ресурсов бассейна Кашкадарьи при разработке стратегии адаптации для устойчивого развития сельского хозяйства в условиях изменения климата” (2018-2020 гг.), ПЗ-20170928233 “Разработать систему комплексного мониторинга состояния водохранилищ Узбекистана на основе совместного использования наземных и дистанционных данных для оценки водных ресурсов и информационного обеспечения МЧС” (2018-2020 гг.), ПЗ-203132020 «Создание нового программного обеспечения динамики формирования снежных запасов в горных регионах Узбекистана с использованием математических моделей, данных дистанционного зондирования и сети наземного наблюдения для повышения качества долгосрочных прогнозов речного стока» (2022-2025 гг.).

**Цель исследования** – совершенствование методов гидрологического прогнозирования на основе инновационных технологий для мониторинга и оптимальном управлении водными ресурсами бассейна Кашкадарьи.

**Задачи исследования:**

создание электронной базы климатических и гидрологических данных на основе наблюдений на гидрологических постах и метеорологических станциях бассейна Кашкадарьи;

оценка снегозапасов в бассейне Кашкадарьи с использованием ГИС технологий и методов дистанционного зондирования;

разработка математической модели расчета толщины снежного покрова речного бассейна;

изучение состояния и динамики снежного покрова речного бассейна с использованием инновационных технологий;

совершенствование методов прогнозирования речного стока с естественным гидрологическим режимом с целью оптимального управления водными ресурсами бассейна Кашкадарьи.

В качестве **объекта исследования** были выбраны реки с естественным гидрологическим режимом горных районов бассейна Кашкадарьи.

**Предметом исследования** является мониторинг водных ресурсов бассейна Кашкадарьи, данные дистанционного зондирования и статистические оценки снежного покрова бассейна, вопросы совершенствования методов гидрологического прогнозирования в оптимальном управлении водными ресурсами.

**Методы исследования.** Исследования в диссертации выполнены на основе широкого использования ГИС и методов дистанционного зондирования. Также использованы современные методы гидрологических расчетов и прогнозирования, в том числе гидрологические расчеты, статистический анализ выполненный на языке программирования R, широко используемом в гидрологических исследованиях.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана методика расчета определения температуры при переходе жидких осадков (дождь) в твердые (снег) в бассейне Кашкадарьи;

разработаны эмпирическое уравнение определения толщины снежного покрова в бассейне Кашкадарьи и его математическая модель SNOWMELT;

разработан алгоритм расчета площади и индекса снежного покрова на основе данных дистанционного зондирования;

разработан метод долгосрочного прогноза речного стока бассейна Кашкадарьи на вегетационный период (апрель-сентябрь) и на отдельные месяцы внутри данного периода на основе данных о снежном покрове, полученных путем дистанционного зондирования.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана математическая модель для количественной оценки запасов снега в бассейне Кашкадарьи на основе метеорологических показателей (температуры воздуха и количество осадков);

созданы ежедневные цифровые карты запасов снега (площадь и высота снежного покрова, водный эквивалент) в бассейнах Кашкадарьи и Урадарьи с помощью ГИС технологий и математической модели;

усовершенствован метод расчета площади и индекса снежного покрова на языке R, широко применяемого в современных гидрологических исследованиях;

разработаны методы прогноза стока основных притоков бассейна Кашкадарьи (Яккабагдарья, Аксу и Урадарья) на месяц и на вегетационный период;

разработаны методические рекомендации по практическому использованию метода долгосрочного прогнозирования речного стока в бассейне Кашкадарьи.

**Достоверность результатов исследования** определяется использованием в процессе выполнения диссертационной работы данных дистанционного зондирования Земли (Modis, SRTM, Landsat), данных стандартных гидрометеорологических наблюдений, проводимых в Центре гидрометеорологической службы Республики Узбекистан (Узгидромет), материалов отраслевых научно-исследовательских институтов, в частности, Научно-исследовательского гидрометеорологического института (НИГМИ), Международного института водных проблем (IWMI) и информационного центра агентства “Госводнадзор”, а также применяемым общепринятым методом исследования при их сборе, обработке, обобщении и в том числе методе математического моделирования, их согласованностью с результатами других авторов в данном направлении исследования и внедрением в практику результатов исследования.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования определяется тем, что при средне- и долгосрочном прогнозировании стока реки использовано дистанционное зондирование и возможности ГИС для оптимального

управления водными ресурсами в бассейне реки.

Практическая значимость результатов исследования определяется тем, что полученные в диссертации результаты исследований могут быть использованы в производственных организациях Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан при проектировании и эксплуатации различных гидротехнических сооружений, своевременной разработке планов мероприятий, направленных на правильный выбор и размещение сельскохозяйственных культур с целью повышения их урожайности, а также использовании разработанных методических подходов в учебном процессе обучения на основе современных технологий прикладной гидрологии по соответствующим направлениям и специальностям.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по использованию ГИС технологий в мониторинге и оптимальном управлении водными ресурсами бассейна Кашкадарьи:

метод определения температуры перехода осадков из жидкого (дождь) состояния в твердое (снег) состояние в бассейне Кашкадарьи был использован в Центре гидрометеорологической службы Республики Узбекистан для определения типа осадков в бассейне реки с целью улучшения качества долгосрочного прогноза речного стока (Справка Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан от 16 июня 2022 года, № 01-15/703). В результате было достигнуто повышение достоверности краткосрочного прогноза речного стока в зависимости от вида осадков;

математическая модель для определения толщины снежного покрова SNOWMELT была использована в Центре гидрометеорологической службы Республики Узбекистан при расчете запасов снега в бассейне Кашкадарьи (Справка Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан от 16 июня 2022 года, № 01-15/703). В результате создана возможность дистанционного определения толщины снежного покрова в бассейне реки;

алгоритм расчета площади и индекса снежного покрова на основе данных дистанционного зондирования был использован в Центре гидрометеорологической службы Республики Узбекистан для расчета индекса снежного покрова в бассейне Кашкадарьи (Справка Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан от 16 июня 2022 года, № 01-15/703). В результате создана возможность использования индекса снежного покрова при составлении гидрологического прогноза в бассейне Кашкадарьи;

метод прогнозирования речного стока, разработанный на основе данных о снежном покрове, и рекомендованные формулы использованы в Центре гидрометеорологической службы Республики Узбекистан при долгосрочном прогнозировании речного стока Кашкадарьи (Справка Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан от 16 июня 2022 года, № 01-15/703). В результате создана возможность внесения уточнений в план мероприятий по оптимальному управлению водными ресурсами



Бассейн Кашкадарьи отличается от центральных и северных природно-географических районов Узбекистана тем, что весна наступает рано, быстро переходит в жаркое лето, зима короткая, а среднегодовая температура января на равнинах и предгорьях составляет около  $+2^{\circ}\text{C}$ . Лето очень сухое, жаркое и продолжительное. В равнинной части средняя многолетняя температура воздуха июля  $+28^{\circ}\text{C}$ , абсолютная максимальная температура составляет  $+46 - +47^{\circ}\text{C}$ . В горах, в котловинах горных хребтов лето немного прохладнее.

В бассейне р. Кашкадарья имеются 149 рек длиной 10 км и более, из которых 33 имеют длину 20 км и более (рис.2). Бассейн Кашкадарьи общей площадью  $12000 \text{ км}^2$  имеет площадь водосбора  $8000 \text{ км}^2$  (67%).

Наблюдения за речным стоком в бассейне начались в 1926 году вблизи села Варганза в Кашкадарье и села Атчиги в Танхаздарье.

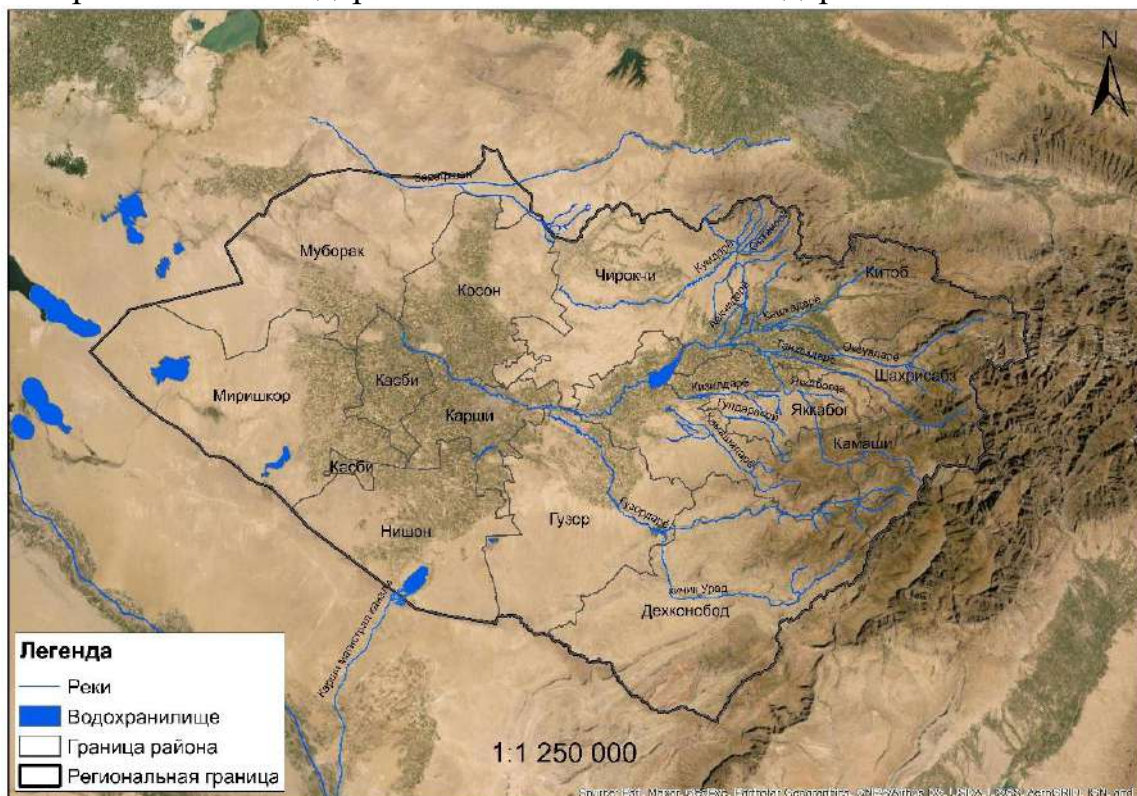


Рис. 2. Гидрографическая сеть бассейна Кашкадарьи

**Вторая** глава диссертации под названием «**Мониторинг снежного покрова с использованием геоинформационных систем и методов дистанционного зондирования**» посвящена изучению вопросов количественной оценки снежного покрова в бассейне на основе использования данных дистанционного зондирования, комплексного мониторинга водных ресурсов.

Определение снежного покрова важно не только для предотвращения и смягчения последствий опасных гидрометеорологических явлений, управления водными ресурсами, но и для гидрологического прогнозирования. При определении запасов снега использованы данные дистанционного зондирования со спутников Landsat, MODIS (Terra и Aqua). Данные со спутников MODIS (Terra и Aqua) с высоты 705 км используются во всем

мире при ежедневном изучении поверхности Земли и ее изменений, альбедо, температуры поверхности Земли, ледяного и снежного покрова, растений и их характеристик.

Для диагноза снежного покрова использован нормализованный индекс снега NDSI (MODIS – 4 и 6 каналы, LandsatTM – 2 и 5 каналы) и он определяется по формуле:

$$NDSI = \frac{Green - Swir1}{Green + Swir1}$$

где: *Green* – длина зеленой волны, 0,53-0,61 микрометр; *Swir* – короткая инфракрасная волна, 1,55-1,75 микрометр.

В условиях существенного сокращения наземных и авиационных наблюдений за снежным покровом спутниковая информация является доступным и альтернативным источником информации о снежном покрове и может использоваться при долгосрочных прогнозах водности. Одной из серьезных проблем использования спутниковой информации является очистка космического снимка от облачности. Это можно увидеть на снимках с сенсоров AQUA и TERRA спутника MODIS. На рис. 3 показано, что на снимке с сенсора AQUA облачный покров почти полностью покрыл бассейн. Для очистки облачности при мониторинге снежного покрова использовалась программа MODSNOW, разработанная в Потсдамском институте (Германия).

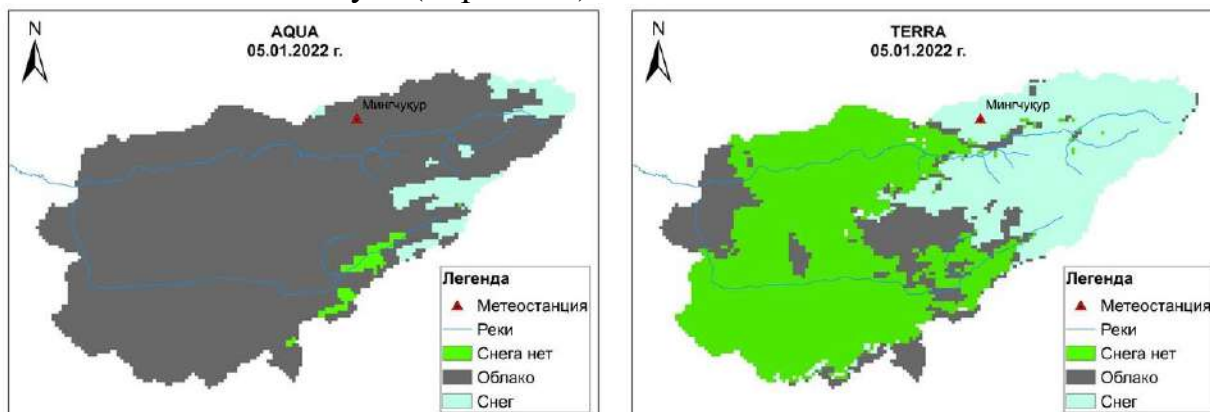


Рис.3. Карта снежного покрова бассейна Урадари, составленная по спутниковым данным MODIS

Программа MODSNOW автоматически выполняет такие шаги как: загрузка данных о снежном покрове MODIS с сервера NSIDC; загрузка обновленных данных о входящем и исходящем коротковолновом излучении от сети автоматических метеостанций; обработка данных о локальном выпавшем снеге, использование алгоритма очистки облаков для улучшения качества данных на местности; проектирование и сбор необходимых MODIS плиток (фрагментов) и преобразование в вид файла GeoTIFF; преобразование формата файла GeoTIFF в формат файла ASCII и разделение бассейнов; очистка от облаков с использованием многоэтапных процессов; обработка и визуализация отчетов о состоянии снежного покрова в масштабе бассейна.

С помощью программы MODSNOW можно автоматически получать очищенные от облаков ежесуточные данные о снежном покрове в речном бассейне (рис. 4).

Программа MODSNOW является программой, изучающей данные снежного покрова не только Кашкадарьинской области, но и всей территории Центральной Азии.

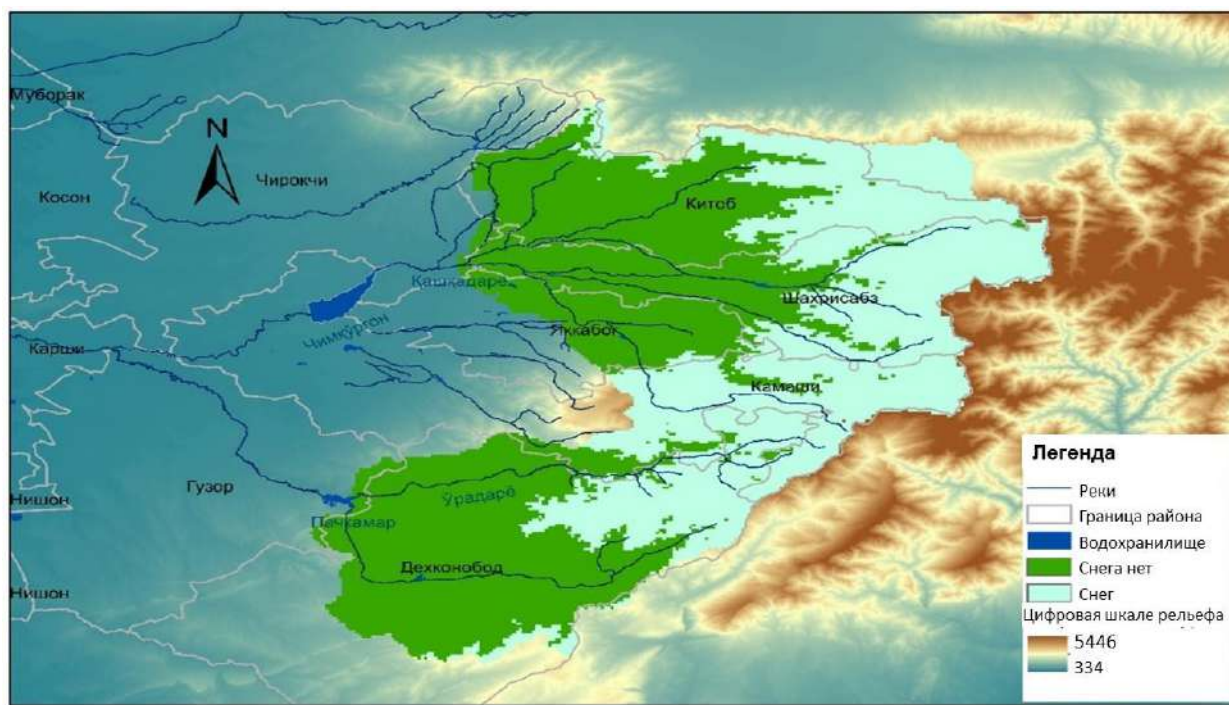


Рис. 4. Снежный покров бассейна Кашкадарьи, полученный при помощи программы MODSNOW (05.01.2022 г.)

Третья глава диссертации под названием «**Математическое моделирование толщины снежного покрова в бассейне реки**» посвящена разработке математической модели расчета толщины снежного покрова с использованием метеорологических данных (осадки, температура воздуха).

В горных районах сезонные запасы снега являются временными резервуарами накопления снега в зимние месяцы и определяют режим речного стока весной и летом. Данные метеорологических станций использовались для оценки сезонных водных ресурсов. В настоящее время толщина снежного покрова по бассейну Кашкадарьи измеряется на метеостанции Куль в бассейне Кашкадарьи и на метеостанции Мингчукур в бассейне Урадарьи.

Однако, для оценки снегозапасов во всем бассейне недостаточно использование данных только двух станций. Для решения этой проблемы оценка снежного покрова в бассейне и его толщины изучена с помощью математического моделирования (рис. 5).

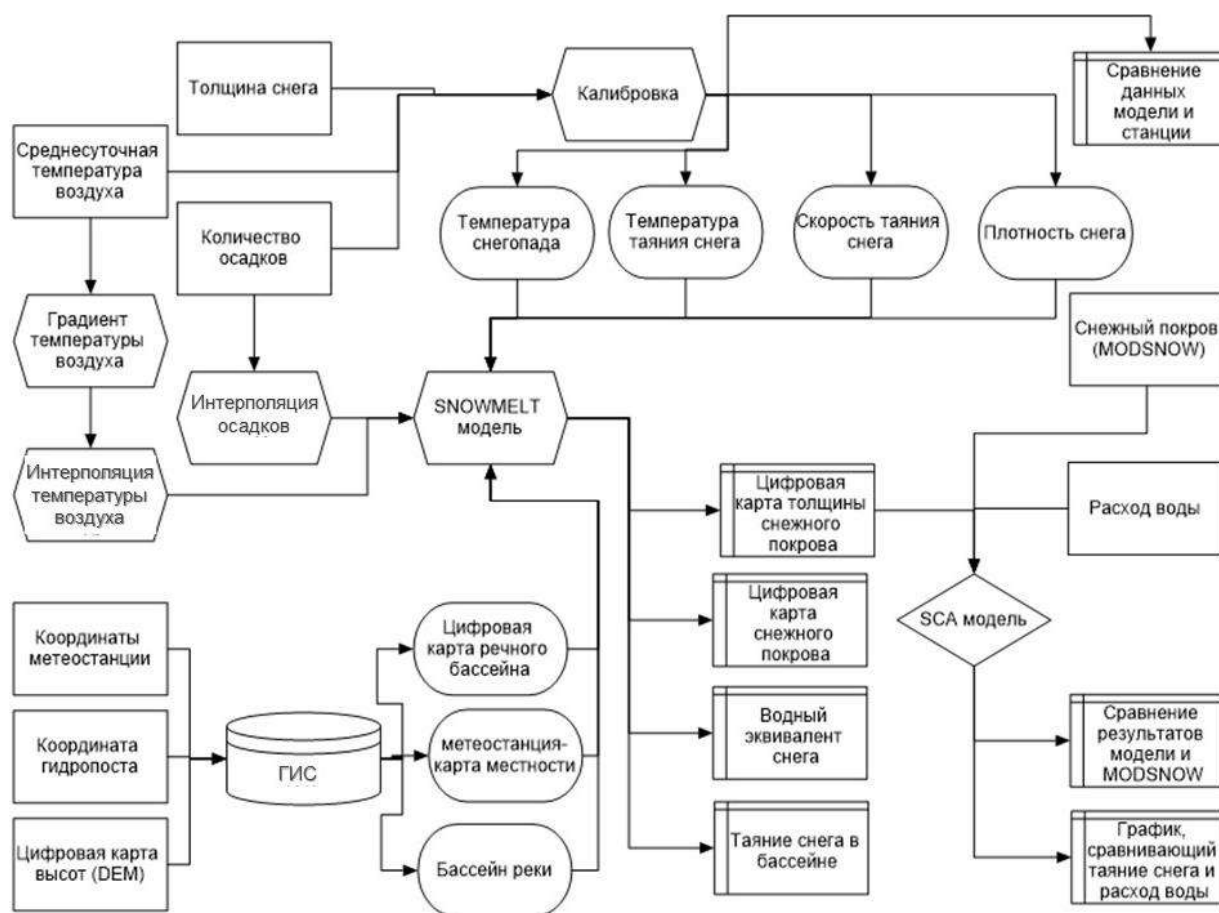


Рис. 5. Структура математической модели определения снежного покрова и его толщины

Для построения математической модели использовалась формула таяния снега. Толщина снежного покрова определяется в зависимости от того, тает снег или выпадают осадки в твердой (снег) или жидкой (дождь) форме.

$$M = C_m(T_a - T_o) \quad (3.1)$$

где:  $M$  – таяние снега, мм/сут;  $C_m$  – скорость таяния снега, мм/°С сут;  $T_a$  – среднесуточная температура воздуха, °С;  $T_o$  – температура таяния снега, °С.

В работе при определении температур выпадения и таяния снега, скорости таяния снега использованы данные измерений среднесуточной температуры воздуха, количества суточных осадков и толщина снега, полученные на метеостанциях Куль и Мингчукур в период 2000-2009 гг. Математическая модель работает на основе данных о температуре воздуха и количестве осадков. При оценке точности результатов модели использовались данные измерений толщины снега на метеостанциях Куль и Мингчукур в 2010-2019 гг. соответственно (рис. 6).



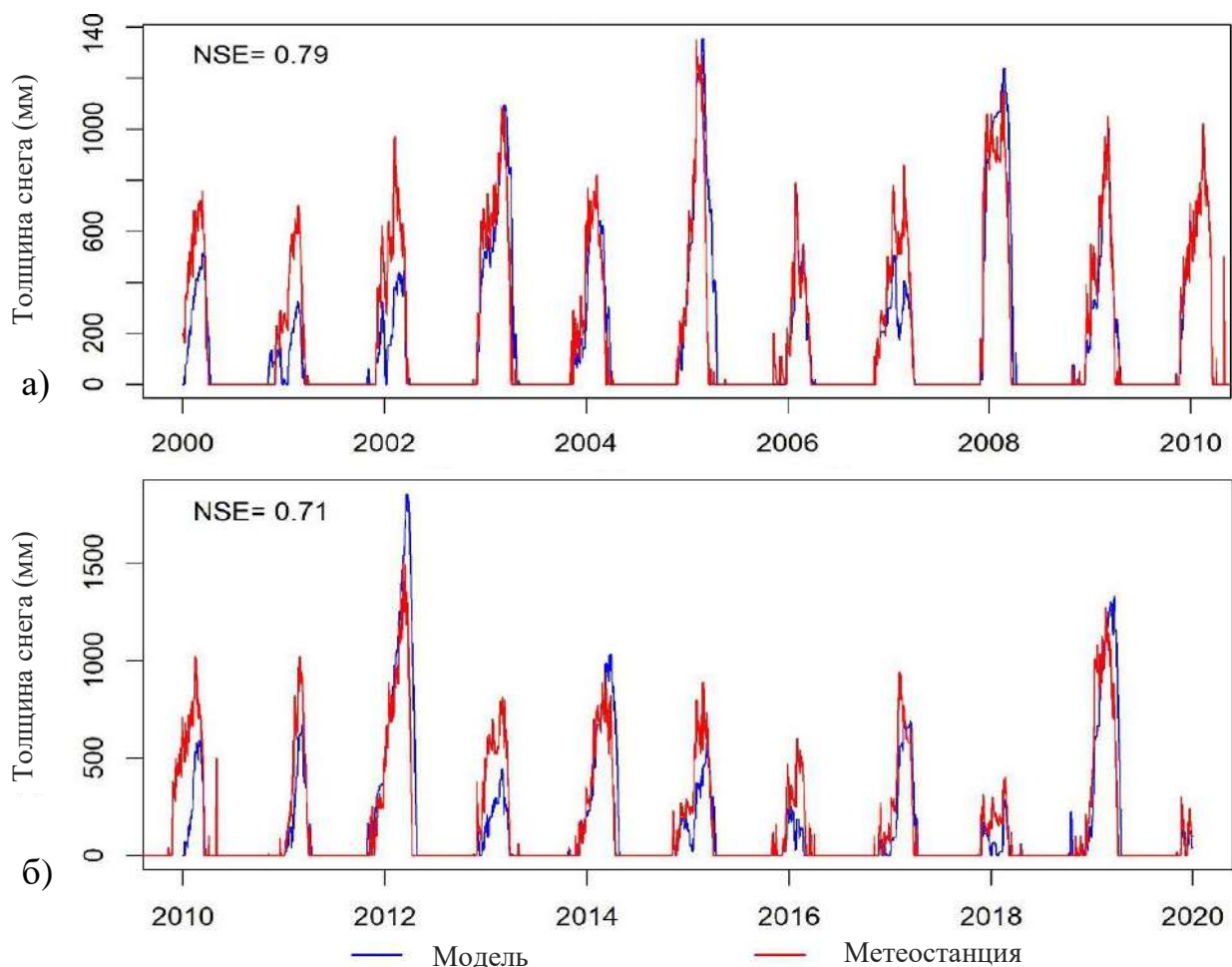


Рис. 6. Сравнение толщины снега, определенной на метеостанции Мингчукур и с помощью математической модели: а) данные, использованные для построения модели (калибрация), б) проверка точности данных модели (валидация)

Точность результатов моделирования определяется с помощью коэффициента Нэша-Сатклиффа (NSE - Nash-Sutcliffe efficiency). Значение NSE производится на основе сравнения модельных и наземных данных:

$$NSE = 1 - \frac{\sum(H^P - H^O)^2}{\sum(H^O - \bar{H})^2} \quad (3.2)$$

где:  $H^O$  – наблюдаемое значение толщины снежного покрова;  $H^P$  – значение толщины снежного покрова определенное по модели;  $\bar{H}$  – среднее арифметическое значение наблюдаемой толщины снежного покрова.

По результатам расчетов модель оправдалась, то есть в период 2000-2009 гг.  $NSE=0,79$ , что согласно критерию оценки очень хорошо (таблица 1).

Таблица 1

Параметры оценки по критериям Nesh-Sutcliffe

Критерий оценки	Очень хорошо	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Диапазон значений	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$NSE \leq 0,50$

Проверена статистическая зависимость между модельными данными и данными наблюдений (рис. 7).

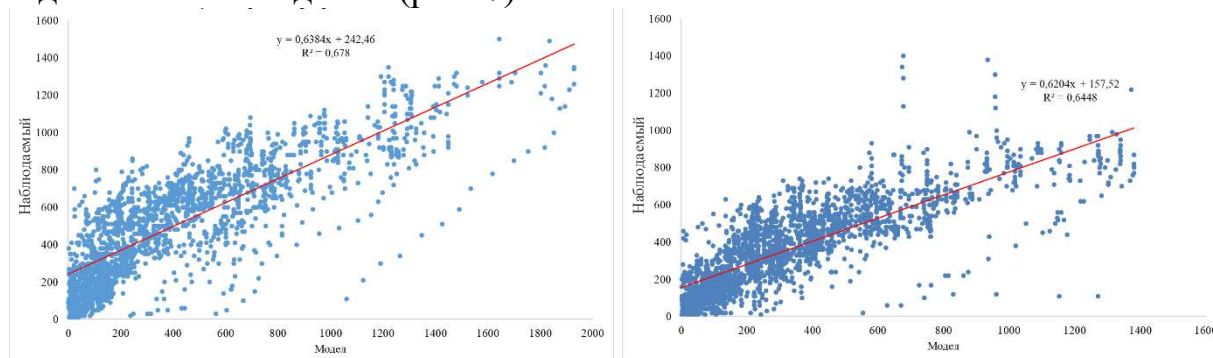


Рис. 7. Статистический анализ модельных данных и данных наблюдений толщины снежного покрова

Для определения снежного покрова и его толщины по всему бассейну Кашкадарьи использованы данные температуры воздуха и количества осадков. При определении температуры воздуха по бассейну рассчитан градиент изменения температуры воздуха по высоте (рис. 8).

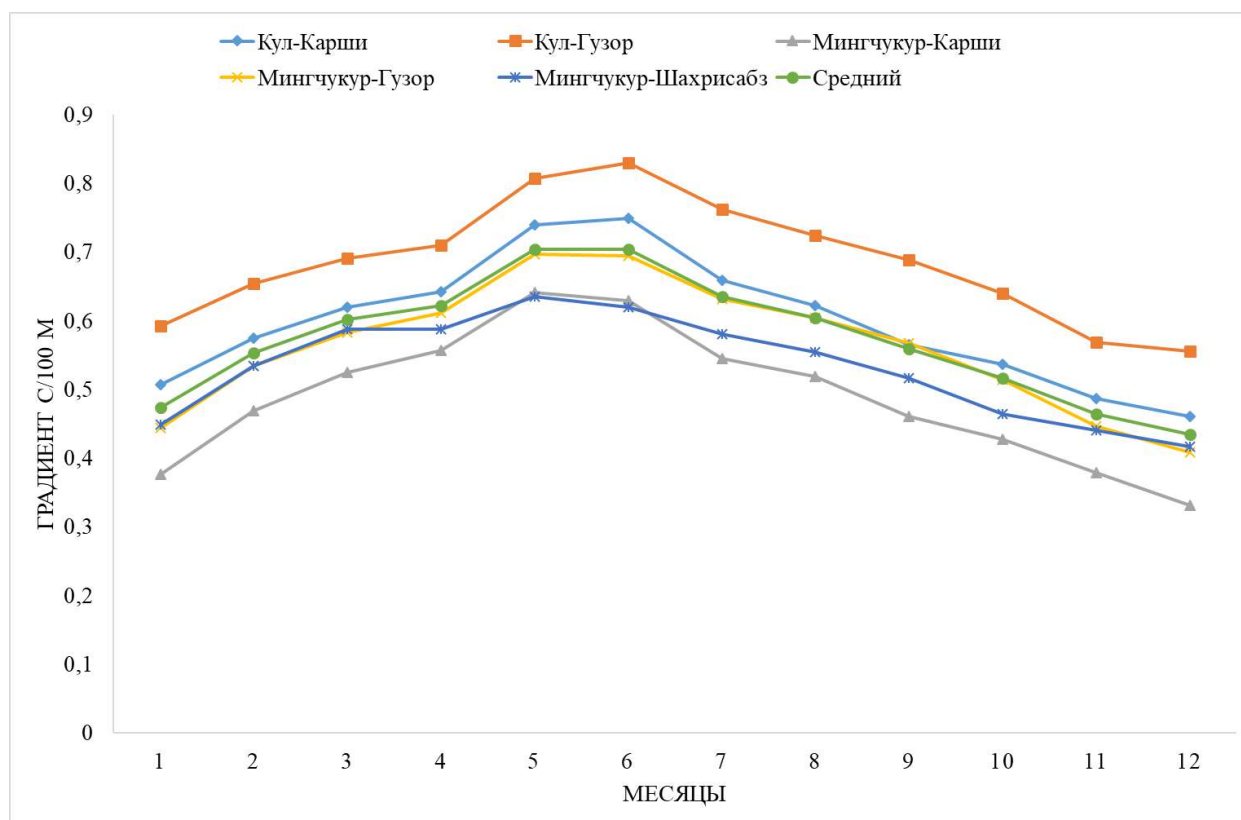


Рис. 8. Годовой ход температуры воздуха по высотам

При вводе данных об осадках для бассейна измеренные данные на метеостанциях Куль, Мингчукур, Гузар, Карши и Шахрисабз были интерполированы с помощью IDW (Inverse distance weighting). В связи с тем, что в Кашкадарьинской области мониторинг снежного покрова проводится только на метеорологических станциях Куль и Мингчукур, снежный покров, определенный с помощью математической модели, был проверен данными дистанционного зондирования (MODSNOW) (рис. 9).

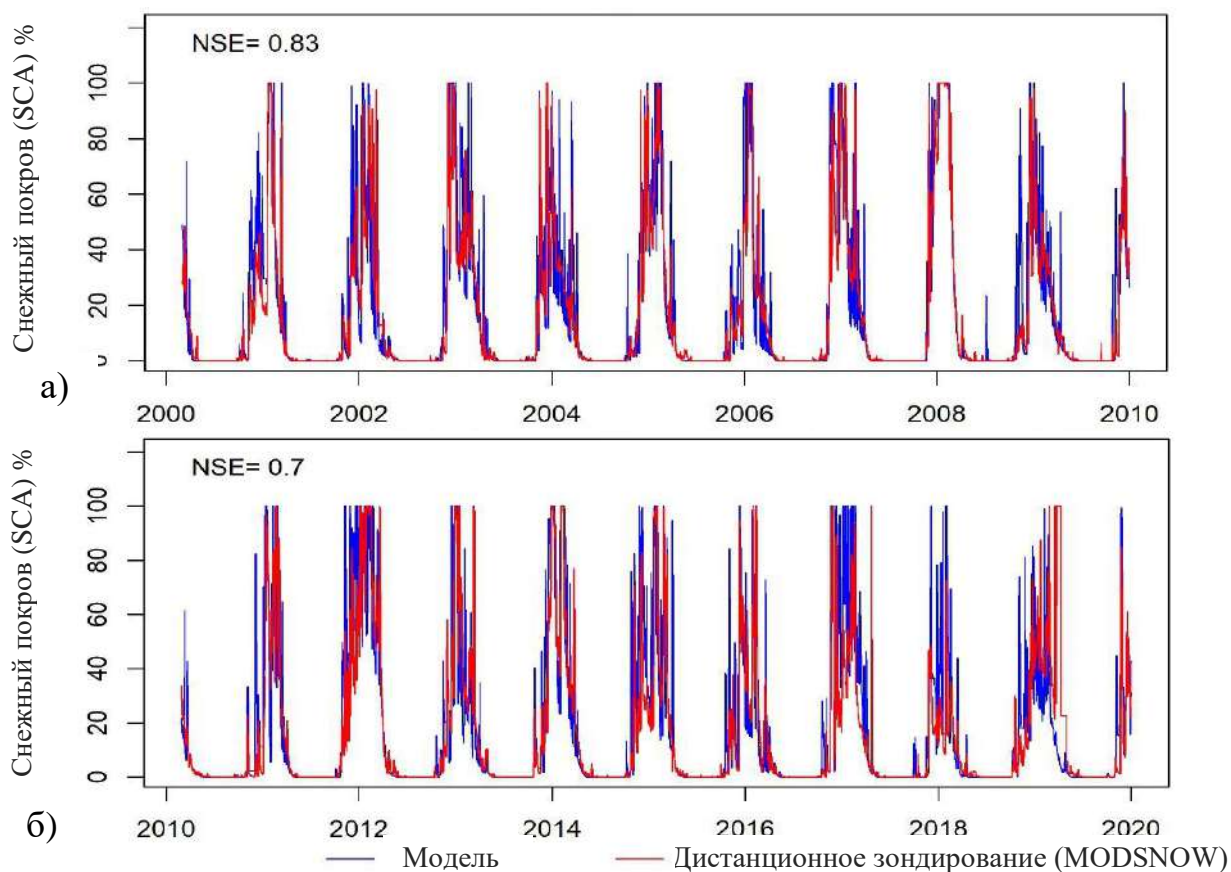


Рис. 9. График площади снежного покрова в бассейне Урадарьи SNOWMELT (математическая модель) и MODSNOW (дистанционное зондирование):  
 а) данные, использованные при построении модели (калибрация),  
 б) проверка точности данных модели (валидация)

В четвертой главе диссертации под названием «Оптимальное управление водными ресурсами бассейна Кашкадарьи с использованием ГИС технологий и данных дистанционного зондирования» разработаны рекомендации по оптимальному управлению водными ресурсами бассейна Кашкадарьи путем подготовки гидрологических прогнозов, отдельных ежемесячных прогнозов для каждой высоты, разделив бассейн реки на высоты 500 и 1000 метров, прогнозирования стока горных рек на основе данных о снежном покрове и индексе, рассчитанных с помощью дистанционного зондирования.

В этой главе проведено прогнозирование речного стока для участка рек с естественным режимом Аксу (гидропост Гисарак), Яккабагдарья (гидропост Татар) бассейна Кашкадарьи и приток воды в Пачкамарское водохранилище для каждого месяца вегетационного периода и в целом для вегетационного периода (апрель-сентябрь). При прогнозировании речного стока использовались линейные уравнения множественной регрессии (4.1):

$$y = ax + b \quad (4.1)$$

где:  $x$  - независимая переменная,  $y$  - функция независимой переменной,  $a$  - угловой коэффициент,  $b$  - линия, пересекающая координатную ось. Эти значения могут быть как положительными, так и отрицательными.

В результате ввода данных о расходе воды и снежном покрове бассейна вместо переменных в приведенном выше выражении (4.1) получена формула (4.2):

$$Q_n = a * SCA_{n-1} + b \quad (4.2)$$

где:  $Q_n$  - прогнозируемый расход воды, м<sup>3</sup>/сек;  $a, b$  – коэффициенты линейного уравнения;  $SCA_{n-1}$  – площадь снежного покрова прогноз за месяц, предшествующий прогнозируемому месяцу.

В работе также разработаны усовершенствованные множественные уравнения регрессии прогноза стока

$$Q_n = a * SCA_{(n-1)} + b * Q_{(n-1)} + d * P + e * T + c \quad (4.3)$$

где:  $Q_{(n-1)}$  - средний расход воды за месяц, предшествующий прогнозируемому месяцу, м<sup>3</sup>/сек;  $P$  - количество осадков, выпавших с 1 октября по последний день месяца, предшествующего прогнозируемому периоду, мм;  $T$  - средняя температура воздуха за месяц, предшествующий прогнозируемому месяцу, °С.

В диссертационной работе бассейн реки разделен на зоны высот 500 и 1000 м, и отдельно по каждой высоте сделан прогноз стока, затем выделены зоны высот с высокой статистической зависимостью. В результате получено выражение прогнозирования речного стока (4.4):

$$Q_n = a * SCA_{(n-1)(H_1-H_2)} + b * Q_{(n-1)} + d * P + e * T + c \quad (4.4)$$

где:  $(H_1 - H_2)$  – диапазон высот, м.

Следует отметить, что снежный покров ( $SCA$ ) является параметром, обозначающим площадь покрытой снегом части общей площади речного бассейна в процентном выражении. Существует хорошая корреляционная связь между продолжительностью снежного покрова и его изменением с речным стоком. Это, в свою очередь, указывает на возможность применения параметра индекса снежного покрова  $SCI$  (Snow Cover Index), выражаемого через изменение  $SCA$ , и рассчитывается по формуле:

$$SCI_t = \sum_{n=1}^{365/366} SCA_i \quad (4.5)$$

где:  $SCA$  (Snow Cover Area) - значение площади снежного покрова в процентах по отношению к площади бассейна.

С учетом вышеизложенного, в диссертации использован индекс снежного покрова в регрессионных уравнениях долгосрочного прогноза стока рек Аксу и Яккабагдарья при оптимальном управлении водными ресурсами бассейна Кашкадарья. Здесь учтены обеспечение устойчивости деятельности водохозяйственной системы Кашкадарья и климатические показатели - тип осадков и температура воздуха. Во-вторых, для оптимального управления водными ресурсами в бассейне при прогнозировании месячного расхода воды площадь бассейна разделена на 500-метровые зоны по высоте.

Оценка полученных регрессионных уравнений, предлагаемых для прогноза среднемесячных расходов воды р.Аксу приведена в таблице 2.

Таблица 2

Уравнения множественной регрессии для прогноза стока реки Аксу для каждого месяца вегетационного периода

Месяцы	Уравнения регрессии	R <sup>2</sup>	S/σ
Апрель	$Q_{IV}=0,79359SCI_{III(1700-2200)}+0,532736Q_{III}+0,002084$	0,77	0,72
Май	$Q_{V}=-0,2704SCI_{IV(1200-1700)}+0,8182Q_{IV}+0,1639$	0,79	0,54
Июнь	$Q_{VI}=0,5095SCI_{IV(1200-1700)}+0,5808Q_{IV}-0,0303$	0,75	0,35
Июль	$Q_{VII}=0,20679SCI_{VI(3700-4200)}+0,81534Q_{VI}-0,06331$	0,94	0,58
Август	$Q_{VIII}=0,15681SCI_{VII(2700-3200)}+0,81159Q_{VII}+0,01235$	0,92	0,56
Сентябрь	$Q_{IX}=0,26535SCI_{VIII(1200-1700)}+0,76408Q_{VIII}+0,04408$	0,90	0,68

Примечание: R – коэффициент корреляции; Q – среднемесячный расход воды (м<sup>3</sup>/сек); SCI<sub>n(H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)</sub> – индекс снежного покрова между высотами; S/σ – критерий эффективности метода прогнозирования.

Таблица 3

Результаты статистической оценки эффективности метода прогнозирования

Месяцы вегетационного периода	Река Аксу		Река Яккабагдарья		Приток в Пачкамарское водохранилище	
	R <sup>2</sup>	Оправдываемость прогноза, %	R <sup>2</sup>	Оправдываемость прогноза, %	R <sup>2</sup>	Оправдываемость прогноза, %
Апрель	0,74	75	0,71	60	0,84	80
Май	0,64	45	0,34	35	0,62	50
Июнь	0,86	75	0,91	80	0,24	70
Июль	0,93	90	0,69	75	0,99	95
Август	0,85	75	0,89	80	0,71	65
Сентябрь	0,82	80	0,77	75	0,84	75
Для вегетационного периода						
Апрель-сентябрь	0,76	65	0,87	80	0,49	70

В результате применения на практике рекомендованных уравнений прогнозирования речного стока на месячный и вегетационный периоды достигнуто предотвращение и снижение негативного воздействия маловодных и многоводных гидрологических годов на сельскохозяйственное производство.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе для описания климатических характеристик бассейна Кашкадарья использованы данные метеостанций Узгидромета за последние 30 лет (1991-2020 гг.). Установлено, что в результате воздействия климатических изменений температура воздуха в бассейне в последние годы повысилась на +1,6°C, а вегетационный период сдвинулся вперед. При определении температуры воздуха для всего бассейна использовался высотный градиент изменения температуры воздуха. В результате наибольшее значение температурного градиента в пределах 4,5-6,8°C в среднем на 1000 м наблюдалось летом, а наименьшее зимой.

2. Проведен анализ и оценка снежного покрова водосборной площади бассейна Кашкадарьи с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования. Результаты отражены в ежедневных цифровых картах. Цифровые карты позволяют оперативно оценивать водные ресурсы и их использование. Для получения очищенных данных об облачности данных со спутника использована программа MODSNOW. В результате исследования установлено, что точность алгоритма очистки от облаков по программе MODSNOW составляет 94%.

3. В работе при разработке математической модели определения толщины снежного покрова бассейна рассчитаны температура и скорость таяния снега по данным метеостанций Мингчукур и Куль. В результате определены температура снежного покрова  $T_o$  - 0,5°C и 0,4°C, температура таяния снега  $T_e$  - 0,9°C и 0,5°C, скорость таяния снега  $C_m$  - 1,8 мм/°C сут и 2,5 мм/°C сут соответственно.

4. Разработана математическая модель SNOWMELT для расчета высоты снежного покрова на водосборной площади речного бассейна. Для оценки модельных данных использован критерий эффективности Нэш-Сатклиф (NSE -Nash-Sutcliffe efficiency). В результате сопоставления по бассейну Урадарьи модельных данных и данных дистанционного зондирования получены: за период 2000-2010 гг. NSE=0,82 (калибрация), а за период 2010-2020 гг. NSE=0,77 (валидация). Модель позволяет определить водный эквивалент снега, т.е. один из основных количественных параметров формирования речного стока.

5. Получены уравнения регрессии для прогноза стока на примере рек Кашкадарьи, Урадарьи и притока воды в Пачкамарское водохранилище на вегетационный период (апрель-сентябрь) и отдельные месяцы вегетационного периода. В результате оправдываемость гидропрогнозов составляет для месяцев апрель, июнь, июль, август и сентябрь в пределах 60-95% , а для мая – 35-50%.

6. Выявлено, что оправдываемость гидропрогнозов для бассейна Кашкадарьи низкая, хотя корреляционный коэффициент высокий. Это показывает, что ещё глубже нужно изучать первичные данные. Большое количество осадков весной и снег выпавший в марте месяце 2022 года привел к понижению коэффициента оправдываемости гидропрогнозов на 2021-2022 гг. гидрологический год. Для улучшения качества гидрологических прогнозов в диссертационной работе использован индекс снежного покрова (SCI).

7. Известно, что для управления водными ресурсами в руслах рек строятся водохранилища. В диссертационной работе приведены рекомендации для оптимального управления водохранилищами бассейна реки Кашкадарьи во время полива сельскохозяйственных культур.

**SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.27/30.12.2019.G.47.01  
AT THE HYDROMETEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE**

---

**HYDROMETEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE**

**GAFUROV AKMAL AKRAMOVICH**

**USING GEOINFORMATION SYSTEMS ON MONITORING AND  
OPTIMAL MANAGEMENT OF WATER RESOURCES OF THE  
KASHKADARYA RIVER BASIN**

**11.00.03 – Land hydrology. Water resources. Hydrochemistry**

**DISSERTATION ABSTRACT  
OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
OF GEOGRAPHICAL SCIENCES**

**Tashkent–2022**

The title of the doctoral dissertation (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with registration number of B2020.2.PhD/G133.

The dissertation has been prepared at the Hydrometeorological Research Institute.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available online on the Scientific council website (www.nigmi.uz) and on the website of "Ziyo.net" information-educational portal (www.ziynet.uz).

**Scientific consultant:** Akhmedova Tamara Abdurakhimovna  
candidate of technical sciences

**Official opponents:** Muradov Shuhrat Odilovich  
doctor of technical sciences, professor

Umirzakov Gulom Ungarbaevich  
PhD on agricultural sciences

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

The defense of the dissertation will take place on «30» *november* 2022 in «14<sup>00</sup>» at the meeting of the Scientific Council for award of Scientific degrees DSc. 27/30.12.2019.G.47.01 at the Hydrometeorological Research Institute (Address: 72, 1<sup>st</sup> Bodomzor yuli street, Tashkent 100052. Ph.: +998 71 2358512. Fax: +998 71 2371319. E-mail: [info@nigmi.uz](mailto:info@nigmi.uz)).

PhD dissertation can be found at the Scientific-technical library of the Hydrometeorological Research Institute (registered under № *2/8*). (Address: 72, 1<sup>st</sup> Bodomzor yuli street, Tashkent 100052. Ph.: +998 71 2358512. Fax: +998 71 2371319. E-mail: [info@nigmi.uz](mailto:info@nigmi.uz)).

Abstract of dissertation has been distributed on «18» *november* 2022 year.  
(Mailing report № \_\_\_\_\_ on «18» *november* 2022 year).



**B.M. Kholmatjanov**  
Chairman of the Scientific council  
for award of scientific degrees,  
Doctor of Geographical Sciences

**B.E. Nishonov**  
Scientific Secretary of the Scientific council  
for award of scientific degrees, PhD

**Kh. Egamberdiev**  
Chairman of the scientific seminar under Scientific  
council for award of scientific degrees,  
Doctor of Geographical Sciences



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is improvement of hydrological forecasting methods based on innovative technologies for monitoring and optimal management of water resources in the Kashkadarya basin.

**The object of the research work** is rivers with a natural hydrological regime of the mountainous regions of the Kashkadarya basin were selected.

**Scientific novelty of the research work:**

a method for calculating the temperature determination during the transition of liquid precipitation (rain) to solid precipitation (snow) in the Kashkadarya basin was developed;

developed an empirical equation for determining the thickness of the snow cover in the Kashkadarya basin and its mathematical model SNOWMELT;

an algorithm for calculating the area and index of snow cover has been developed based on remote sensing data;

a method was developed for long-term forecasting of river runoff in the Kashkadarya basin for the growing season (April-September) and for individual months within this period based on snow cover data obtained by remote sensing.

**Implementation of the research results.**

Based on the obtained scientific results on the use of GIS technologies in monitoring and optimal management of water resources in the Kashkadarya basin:

a method for determining the transition temperature of precipitation from a liquid (rain) state to a solid (snow) state in the Kashkadarya basin was used at the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan to determine the type of precipitation in the river basin in order to improve the quality of long-term forecast of river runoff (Certificate of the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan June 16 2022, No. 01-15/703). As a result, an increase in the reliability of the short-term forecast of river runoff depending on the type of precipitation was achieved;

a mathematical model for determining the thickness of the snow cover SNOWMELT was used at the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan when calculating snow reserves in the Kashkadarya basin (Certificate of the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan dated June 16, 2022, No. 01-15 / 703). As a result, it was possible to remotely determine the thickness of the snow cover in the river basin;

the algorithm for calculating the area and index of snow cover based on remote sensing data was used at the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan to calculate the snow cover index in the Kashkadarya basin (Certificate of the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan dated June 16 2022, No. 01-15/703). As a result, it was possible to use the snow cover index when compiling a hydrological forecast. in the Kashkadarya basin;

river flow forecasting method developed on the basis of snow cover data, and the recommended formulas were used in the Center of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan for long-term forecasting of the river flow

of Kashkadarya (Certificate of the Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan dated June 16 2022, No. 01-15/703). As a result, an opportunity was created to make adjustments to the action plan for the optimal management of water resources in the Kashkadarya basin.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of literature and annexes. The volume of the dissertation is 115 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Гафуров А.А., Ахмедова Т.А., Турғунов Д.М., Гафуров А.А. Қор қоплами динамикасини масофадан зондлаш орқали дарё оқимини прогнозлаш масалалари (Яккабоғдарё мисолида) // География жамияти ахбороти 58-жилд, – Тошкент 2020. - Б. 220-225. (11.00.00; № 6).

2. Гафуров А.А., Ахмедова Т.А., Худойшукуров Қ.Т., Radjabov A. Iqlim o'zgarishining Qashqadaryo havzasi suv resurslariga ta'sirini baholash // Samarqand davlat universiteti ilmiy axbarotnomasi. – Samarqand 2020. № 5. - В. 126-133. (11.00.00; № 4).

3. Gafurov A.A., Kattakulov F.S., Nazaraliev D., Gafurov Z.A. Spatial and Temporal Analysis of Precipitation and Mapping using Terra Climate data in southern Uzbekistan // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India 2020. Vol. 7, Issue 6, - PP. 14164-14169. (SJIF, IF=6,646).

4. Ibragimov L., Gafurov A. The role of Geographical Information Systems in support of State Water Cadastre on the example of Kashkadarya region, Uzbekistan // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India 2020. Vol. 7, Issue 7, - PP. 14495-14500 (SJIF, IF=6,646).

5. Mamaraimov A.J., Nishonov B.E., Gafurov A.A., Gafurov A.A., Adkhamov U.B. Using Remote Sensing Data to Study the Seasonal Dynamics of Snowline in the Pskem River Basin // Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги. – Тошкент, 2021. № 3. - Б. 45-56. (11.00.00; № 11).

6. Gafurov A.A., Zaitov Sh.Sh. Time series analysis of water surface of Chimkurgan reservoir in Kashkadarya river basin using remote sensing information // Ўзбекистон замини. – Тошкент 2022. № 1. - PP. 95-98. (11.00.00).

**II бўлим (II часть; II part)**

7. Akhmedova T.A., Gafurov A.A. Decision support tool for monitoring Kashkadarya river bason, southern part of Uzbekistan / International Symposium on Water and Land Resources Asia. – Kazakhstan, 2018. - P. 122.

8. Карабаева Б.Х., Ахмедова Т.А., Гафуров А.А. Чимқўрғон сув омборини эксплуатация қилиш режимидаги муаммолар / Ўзбекистонда География фанининг долзарб масалалари. Республика илмий-амалий конференцияси материаллари. – Термиз, 2020. - Б. 258-259.

9. Kattakulov F.S., Gafurov Z.A., Gafurov A.A., Nazaraliev D. Historical Changes of Air Temperature, Precipitation, and Potential Impact on Agriculture // Scientific and technical journal "Sustainable Agriculture". – Tashkent, 2020. №2(6). - PP. 27-29.

10. Карабаева Б.Х., Хамдамова Г.М., Гафуров А.А. Оценка влияния метеорологических факторов на гидрологический режим реки Кашкадарья /

Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати ташкил этилганлигининг 100 йиллигига бағишланган “Гидрометеорология, иқлим ўзгариши ва атроф-муҳит мониторинги: долзарб муаммолар ва уларни ҳал қилиш йўллари” халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2021. - Б. 80-83.

11. Заитов Ш.Ш., Гафуров А.А., Ахмедова Т.А. Чироқчи гидропости сув ресурсларини баҳолашда географик ахборот тизимларидан фойдаланиш / Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати ташкил этилганлигининг 100 йиллигига бағишланган “Гидрометеорология, иқлим ўзгариши ва атроф-муҳит мониторинги: долзарб муаммолар ва уларни ҳал қилиш йўллари” халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2021. - Б. 180-184.

12. Мамараимов А.Ж., Гафуров А.А., Гафуров А.А. Геоахборот тизимлари ёрдамида дарё ҳавзасига келадиган сув оқимини олдиндан аниқлаш усули / Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати ташкил этилганлигининг 100 йиллигига бағишланган “Гидрометеорология, иқлим ўзгариши ва атроф-муҳит мониторинги: долзарб муаммолар ва уларни ҳал қилиш йўллари” халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2021. - Б. 184-187.

13. Гафуров А.А. Қор қоплами маълумотлари асосида Ўрадарё оқимини вегетация даврига прогнозлаш / Geografik tadqiqotlar: innovatsion g‘oyalar va rivojlanish istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. – Toshkent, 2022. - Б. 583-588.

14. Мамараимов А.Ж., Гафуров А.А. Масофадан қор қопламини мониторинг қилиш учун “MODSNOW” оператив дастури / “Geografik tadqiqotlar: innovatsion g‘oyalar va rivojlanish istiqbollari” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. – Toshkent, 2022. - Б. 597-602.

15. Mamaraimov A., Gafurov A. Masofadan zondlash ma'lumotlarini qor qoplami xaritasini yaratishda qo'llash / “Iqlim o'zgarishi sharoitida gidrometeorologik tadqiqotlar: dolzarb muammolar va ularning yechimlari” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. – Toshkent, 2022 y. 3-4 iyun - B. 305-307.

Автореферат “Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги”  
журналида таҳрирдан ўтказилди.

**Босмахона лицензияси:**



**9338**

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.

Рақамли босма усулда босилди.

Шартли босма табоғи: 2,75. Адади 100 дона. Буюртма № 69/22.

Гувоҳнома № 851684.

«Тирографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.