
ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY

УДК: 556.53:622.693:004

МАСОФАДАН ЗОНДЛАШ АСОСИДА АМУДАРЁ ҲАВЗАСИДА ҚОР ҚОПЛАМИ ЎЗГАРИШЛАРИНИ МОНИТОРИНГ ҚИЛИШ (2001-2025 йй.)**Д.Ў. ЯРАШЕВ^{1*}, Ғ.Ў. УМИРЗОҚОВ^{1,2}, А.А. ГАФУРОВ¹**¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, darkhonyarashev@gmail.com² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, g.umirzakov@nuu.uz

Аннотация: Мақолада MODSNOW дастури орқали олинган маълумотлар асосида Амударё ҳавзасини Керки гидростидан юқори қисмидаги 2001-2025 йиллар давомидаги қор қоплами динамикаси ўзгариши ўрганилди. Қор қоплами маълумотлари ўзгариши бутун ҳавза учун ойлар бўйича ҳамда турли баландлик зоналарига ажратилган ҳолда таҳлил қилинди. Қор қоплами ўзгариши трендлари Манн-Кендалл статистик тести асосида аниқланди.

Калит сўзлар: қор қоплами, масофадан зондлаш, MODIS, MODSNOW-tool, гидрологик йил, Манн-Кендалл тести, тренд, Амударё дарёси.

Кириш. Ўрта Осиё мамлакатлари иқтисодиётида қишлоқ хўжалиги муҳим ўрин тутди ва бунда сув ресурсларининг аҳамияти бекиёс. Минтақанинг энг йирик серсув дарёлари трансегаравий дарёлар ҳисобланиб, сувдан фойдаланиш тақсимотининг ғоятда нозик масала эканлигини кўрсатади [Духовный и др., 2018]. Қиш мавсумида тўпланган қор қоплами вақтинчалик табиий сув захираси сифатида хизмат қилади ҳамда баҳор ва ёз ойларида дарё оқимининг ҳажми ва режимини белгилаб беради. Мавсумий қор қопламининг ҳолатини аниқ баҳолаш эса сув ресурсларини самарали бошқариш ва тақсимлашда муҳим аҳамият касб этиши билан бирга дарё ҳавзасини турли мақсадларда илмий ўрганиш ва иқлим ўзгариши таъсирини баҳолашда фойдали ҳисобланади.

Тоғли ҳудудлардаги анъанавий метеорология станциялар томонидан ўлчанадиган қор маълумотлари мураккаб рельеф ва фазовий хилма-хилликни тўлиқ қамраб ололмайди. Шу сабабли, бу муаммоларни ҳал этишда масофадан зондлаш технологияларига мурожаат қилинмоқда. Сунъий йўлдош технологиялари такомиллашуви билан бирга замонавий дастурий таъминот воситалари ишлаб чиқиши кўплаб гидрометеорологик кўрсаткичларни мониторинг қилиш ва сув ресурсларини бошқариш масалаларида мутахассисларга қўл келмоқда.

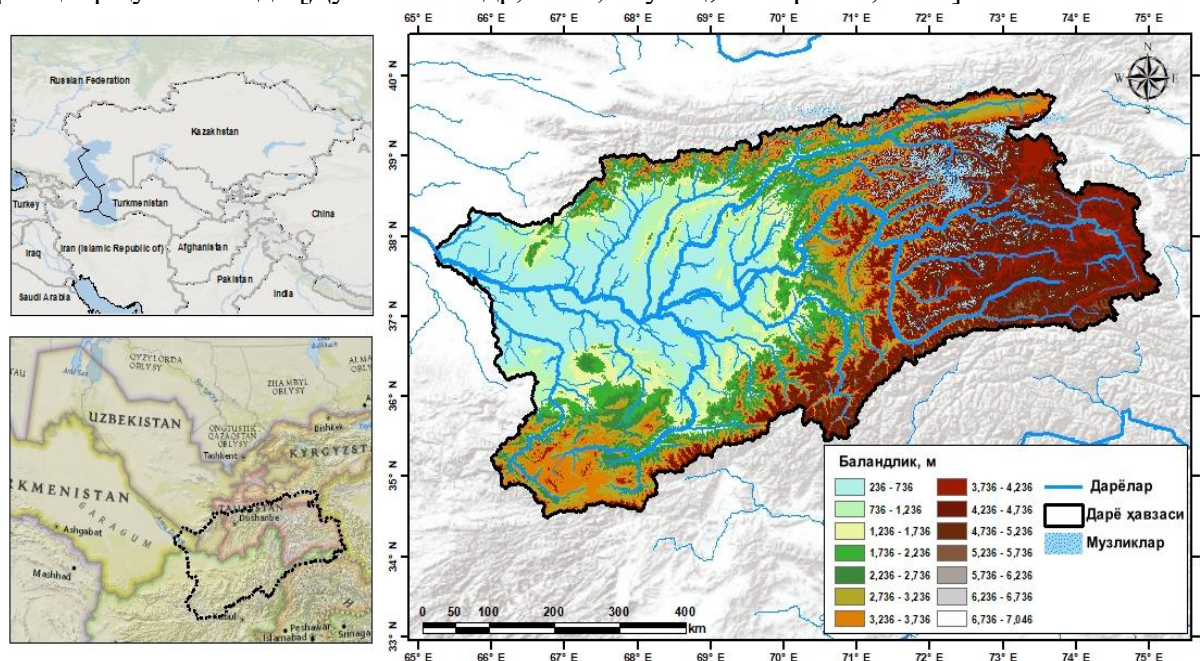
Қор қоплами мониторингида MODIS, Landsat, Sentinel, GOES16-17, VIIRS каби бир қатор сунъий йўлдош манбаларидан фойдаланиш мумкин. Улар бир-биридан фазовий аниқлиги, кузатув оралиғи каби хусусиятлари билан фарқ қилади. Ҳар бир сунъий йўлдош тизими маълум бир устунлик ва чекловларга эга бўлиб, тадқиқот мақсадидан келиб чиқиб, уларни мос равишда танлаш муҳим аҳамиятга эга. Масалан, MODIS маълумотлари кенг фазовий қамров ва қисқа вақт оралиғида янгилашиш имкониятини таъминласа, Landsat ва Sentinel йўлдошлари юқори аниқликдаги тасвирларни тақдим этади. Бу манбалардан олинган маълумотлар орқали қор қопламининг майдони, эриши ва вақт давомидаги ўзгариш динамикасини аниқ кузатиш мумкин.

* Масъул муаллиф: darkhonyarashev@gmail.com, тел.: +998 93 606-28-96

Амударё ҳавзасидаги қор қопламининг ўзгаришини MODIS маълумотлари асосида таҳлил қилиш ушбу тадқиқотнинг асосий **мақсади** бўлиб, қор қопламининг ўзгаришини ўрганиш ҳамда мавсумий ўзгариш тенденцияларини баҳолаш тадқиқотнинг асосий **вазифалари** сифатида белгиланди.

Тадқиқотнинг объекти ва предмети. Тадқиқот объекти сифатида Ўрта Осиёнинг энг йирик ва серсув дарёси – Амударё танлаб олинди. Дарёнинг узунлиги Панж ва Вахш дарёларининг қўшилиш жойидан бошлаб 1415 км, Панж дарёсининг манбаидан эса 2540 км ни ташкил этади. Амударё ҳавзаси Қирғизистон, Тожикистон, Ўзбекистон ва Туркменистонни ҳамда Афғонистоннинг шимолий қисмларини ўз ичига олади (1-расм).

Ҳавзадаги катта майдонни музликлар ва қор қопламини эгаллагани сабабли, бу ҳудуддаги йирик дарёларнинг аксарияти (Амударё, Панж, Вахш, Зарафшон ва бошқалар) музлик–қор сувларидан тўйинувчи дарёлар ҳисобланади. Фақат ҳавзанинг ғарбий қисмидаги пастроқ тоғ тизмалари орқали шаклланадиган Кофирнихон, Қизилсув, Сурхондарё ва Қашқадарё дарёлари қор-музлик ёки қор сувларидан тўйинувчи дарёлар турига киради [Шульц, Машрапов, 1969]. Ҳавзанинг шимолий ва шимолий-шарқий қисми Заалай тоғ тизмаси билан чегараланган бўлиб, у Помир тоғларининг шимолий чегарасини ташкил этади. Шарқий қисми Пётр I ва Фанлар академияси номидаги тоғ тизмалари билан ўралган бўлиб, бу ҳудудда баландликлар кескин ортиб, йирик тоғ музликлари кенг тарқалган. Амударё ҳавзасидаги тоғ музликларининг умумий майдони 10 минг км² дан ортиқдир. Бу ҳудудда жойлашган энг йирик музлик – Ванчя (Федченко) музлиги бўлиб, у Вахш дарёсининг асосий манбаи ҳисобланади. Амударё Панж ва Вахш дарёларининг қўшилишидан пайдо бўлади. Дарёнинг дастлабки 180 км давомида унга Кундуздарё, Кофирнихон, Сурхондарё ва Шеробод дарёлари қўшилади. Шунингдан сўнг, Керки шаҳридан Орол денгизигача бўлган 1200 км дан ортиқ масофада Амударёга бошқа йирик irmoқлар қўшилмайди [Духовный и др, 2018; Шульц, Машрапов, 1969].

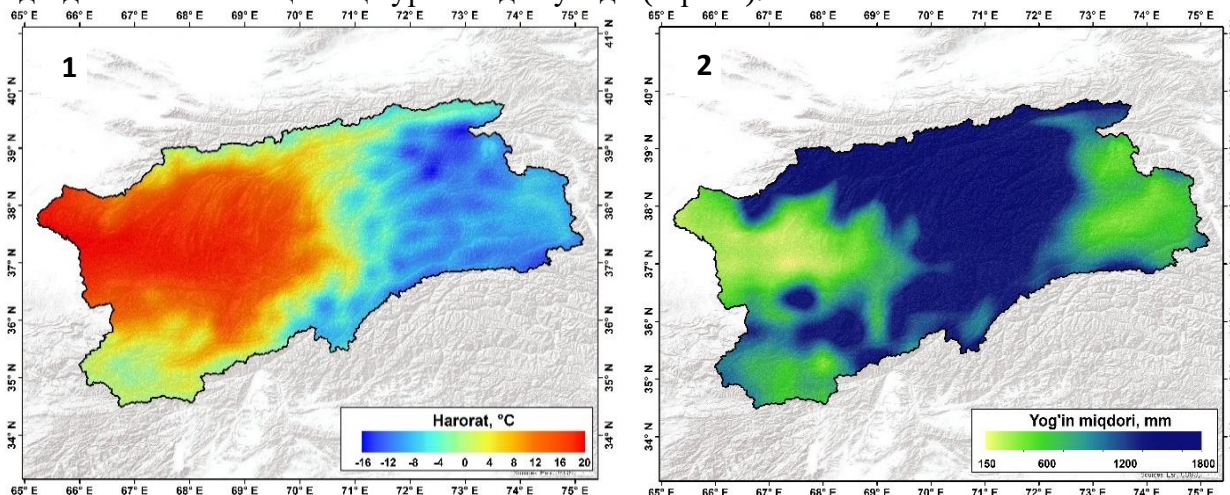


1-расм. Тадқиқот объектнинг географик жойлашуви

Рис. 1. Географическое положение объекта исследования

Fig. 1. Geographical location of the study area

Хавзанинг катта қисми Евроосиё материгининг марказида, денгиз ва океанлардан узоқда жойлашгани сабабли, континентал иқлим билан тавсифланади. Худудда иссиқ ва қуёшли кунлар кўп. Амударёнинг қуйи оқимида ўртача йиллик ҳарорат $+18...+20^{\circ}\text{C}$ бўлиб, хавзанинг юқори қисмларида манфий қийматларга эга, ёзда эса ҳарорат текислик ҳудудларда 45°C гача кўтарилади. Йиллик ёғингарчилик Амударёнинг ўрта ва қуйи оқимида 150 мм атрофида бўлиб, баландлик ошган сари ёғингарчилик ҳам ортади. Энг юқори баландлик зоналарида эса ўрта баландлик зоналарига нисбатан ёғин кам бўлиб, одатда йиллик ёғин қаттиқ кўринишда бўлади (2-расм).



2-расм. Амударё хавзасининг кўп йиллик ўртача ҳаво ҳарорати (1) ва йиллик ёғингарчилик (2) тақсимои (2001-2025 йй.)

Рис. 2. Пространственное распределение (1) среднесноголетней температуры и (2) годового количества осадков в бассейне реки Амударья (2001-2025 гг.)

Fig. 2. Spatial distribution of (1) mean annual temperature and (2) total annual precipitation in the Amu Darya river basin (2001-2025)

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) қор қопламини мониторинг қилиш учун энг қулай манбалардан бири ҳисобланади. Биринчидан, у ҳар куни Ер юзасининг катта қисмини қамраб олади, бу эса қор қопламининг тез ўзгарувчан ҳолатини доимий кузатиш имконини беради. Иккинчидан, MODIS маълумотларининг вақтинчалик оралиғи қисқа бўлиб, маълумотларни ҳар куни янгилаб олиш имкониятини беради. Шунингдек, у 500 метргача бўлган фазовий аниқликни таъминлайди, бу эса минтақавий даражадаги таҳлиллар учун етарлича самарали ҳисобланади. MODIS тасвирлари очик ва бепул форматда тақдим этилади, бу тадқиқотчилар учун катта афзаллик яратади. Шу сабабли, ушбу сенсордан фойдаланиш қор қопламининг мавсумий ўзгаришини ўрганиш, сув ресурсларини прогноз қилиш ва иқлим ўзгариши таъсирини баҳолашда ишончли манба бўлиб хизмат қилади.

MODIS маълумотлари асосида ишлаб чиқилган қор қопламининг глобал ва минтақавий баҳоланиши, уларнинг ўзгариш динамикасини қисқа муддатларда кузатиш имконини беради. Бироқ, MODIS каби оптик сенсорлар фақат булут ва туман бўлмаган шароитларда Ер юзасини кузата олади. Шу сабабли, булутлар остида жойлашган қор қопламининг ҳақиқий ҳолатини баҳолашда ноаниқликлар юзага келади.

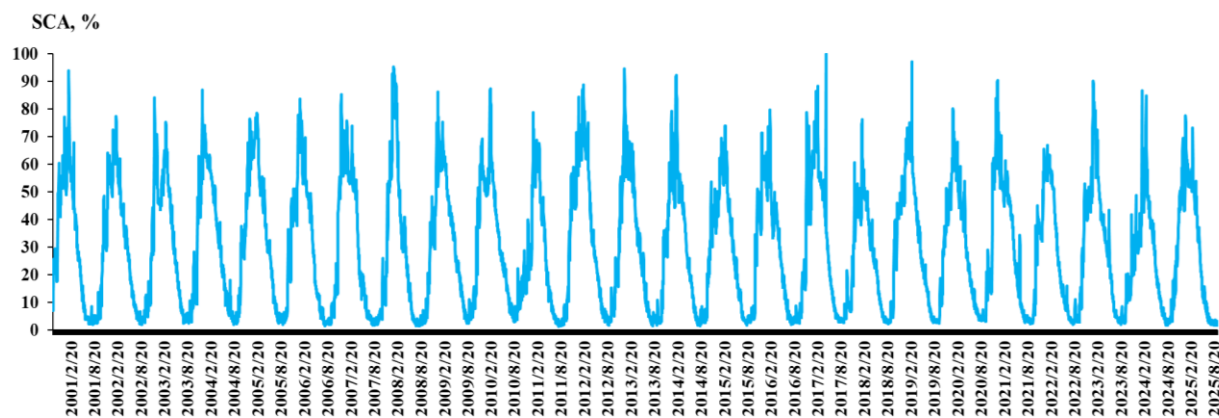
Ушбу муаммони бартараф этиш ва қор қопламининг булутлардан холи, юқори аниқликдаги маълумотларини оператив тарзда олиш мақсадида MODSNOW дастури ишлаб чиқилган [Gafurov et al., 2016]. Ушбу дастур MODIS маълумотларини қайта ишлаш, булутлардан тозалаш ва кунлик қор қопламининг фазовий-статистик таҳлилин автоматлаштирилган тарзда амалга ошириш имконини беради. Натижада, қор қопламининг вақт ва макондаги ўзгаришлари тўғрисидаги маълумотлар шакллантирилади.

Турли минтакаларда олиб борилган тадқиқотлар MODSNOW дастурида булутдан тозаланган қор қопламининг аниқлигини ўрганиб чиқиб, унинг ўртача аниқлиги 90-94% оралиғида эканлигини кўрсатган [Gafurov, Bardossy, 2009; Gafurov et al., 2016]. Дастур оператив (реал вақт режимида) ва нооператив (тарихий маълумотлар учун) режимларда ишлаши мумкин. Оператив режимда MODSNOW автоматик равишда кунлик қор қопламининг янгиланган хариталарини ишлаб чиқади, нооператив режим эса узоқ йиллар давомида тўпланган маълумотлар кетма-кетлигини таҳлил қилиш имконини беради.

MODSNOW дастури ҳар бир кун учун булутсиз қор қопламининг харитасини ҳосил қилади ва ҳавзанинг қанча фоизи қор билан қопланганини фоиз (0-100%) кўринишида беради – бу одатда SCA (Snow Cover Area) деб аталади.

Ушбу услубият тоғли минтакаларда қор қопламининг динамикасини юқори аниқликда мониторинг қилиш, шунингдек, дарё оқими прогнозлари ва иқлим моделларини калибрлашда кенг қўлланилиши мумкин [Gafurov, Bardossy, 2009; Gafurov et al., 2016; Mamaraimov and Gafurov, 2022].

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Тадқиқот ишида қор қоплами динамикаси дастлаб бутун ҳавза учун яхлит ҳолда ўрганилди. Ҳавзада қор қопламининг 25 йиллик ўзгариши 3-расмда кўрсатилган. Графикдан кўриш мумкинки, ҳавзада қор қоплами 2-3% дан 95% гача ўзгариб турган. Айрим йилларда (масалан, 2022 йил) ҳавзанинг максимал қор қопланганлик даражаси 70% гача ҳам етмаган бўлса, 2001, 2008, 2012 ва 2019 йилларда қор қоплами 95% гача етган (3-расм).



3-расм. Амударё ҳавзасида қор қоплами майдонининг йиллараро ўзгариши (2001-2025 йй.)

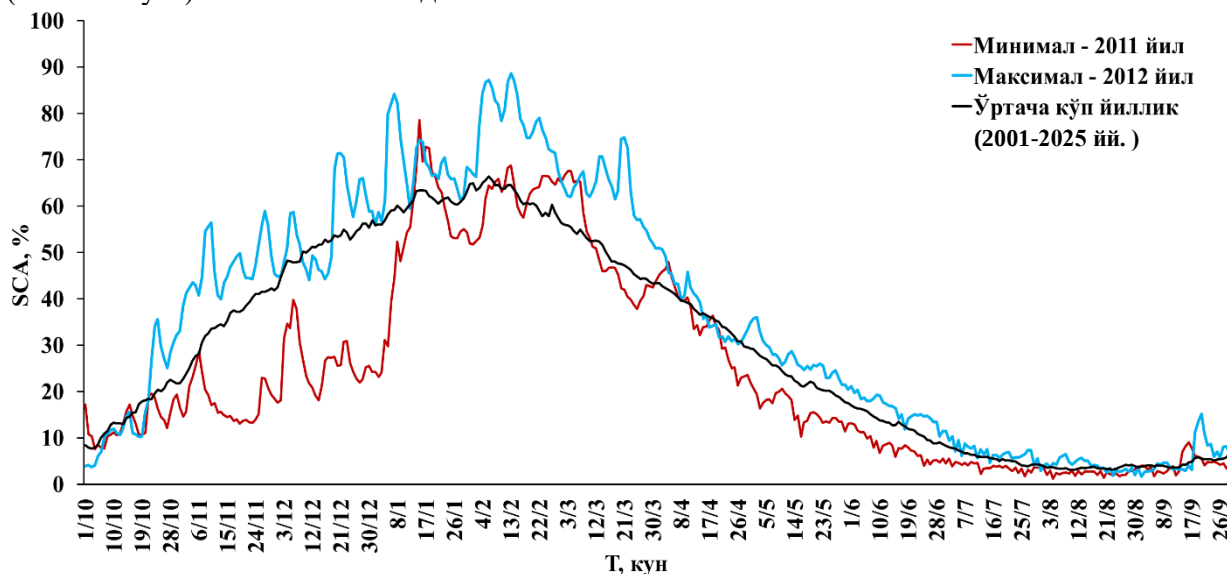
Рис. 3. Межгодовая изменчивость площади снежного покрова в бассейне реки Амударья (2001-2025 гг.)

Fig. 3. Interannual variation of snow-covered area in the Amu Darya river basin (2001-2025)

Маълумки, гидрологик тадқиқотларда календар йил ўрнига гидрологик йилдан фойдаланилади. Чунки сув ресурслари ва уларни шакллантирувчи жараёнлар календар йил чегараларига эмас, балки географик шароитга кўра табиий иқлимий-мавсумий циклга боғлиқ ҳолда кечади. Ўрта Осиё шароитида дарё ҳавзасида намлик тўпланишининг бошланиши октябрь ойларига тўғри келади ва шу сабабли илмий тадқиқотларда 1 октябрдан 30 сентябргача бўлган давр гидрологик йил сифатида қабул қилинади. Мазкур вақт оралиғи йиллик сув айланиш жараёнининг тўлиқ цикли ўз ичига олади.

Қор қоплами динамикасини таҳлил қилишда ҳам гидрологик йилга асосланиш мақсадга мувофиқ, чунки бу қор тўпланиши, эриши ва оқим ҳосил бўлиш жараёнларини узвий ҳолда ўрганиш имконини беради. Кўп йиллик кузатувлар ҳам Ўрта Осиё минтақасида қор қоплами шаклланиши октябрь ойи бошларига тўғри келишини кўрсатади [Gafurov et al., 2016]. Бундай ёндашув оқим билан қор ресурслари ўртасидаги вақт кечикишини аниқлашга, сув балансини тўлиқ баҳолашга ва шунингдек, иқлим ўзгаришининг таъсирини янада аниқроқ таҳлил қилишга ёрдам беради.

Ҳавзада қор қопламининг йил давомидаги ўзгаришлари экстремал йиллар бўйича ўрганилди (4-расм). Кўп йиллик ўртача қийматлар бўйича қор қоплами одатда октябрь ойи бошларида шакллана бошлайди, қиш ойларида (январь-март) максимал даражага (60-80%) етади, баҳорда (апрель-май) эса эриш жараёнлари туфайли кескин камаяди ва ёз ойларида (июль-август) 2-3% гача пасаяди.



4-расм. Амударё ҳавзасида қор қопламининг экстремал йиллардаги ўзгариш ҳолати

Рис. 4. Изменение снежного покрова в экстремальные годы в бассейне реки Амударья

Fig. 4. Variations of snow cover during extreme years in the Amu Darya river basin

Экстремал йиллар таҳлилига кўра, 2011 йилда қор қоплами майдони гидрологик йил давомида ўртача қийматдан анча паст бўлган. Қиш ойларида қор билан қопланган майдон (SCA) максимал 50% дан ошмаган ва қорнинг баҳоргача сақланиш муддати қисқарок кузатилган. Бу ҳолат атмосфера ёгинларининг камайганини ҳамда қор эриш жараёнларининг тезлашганини кўрсатади. Аксинча, 2012 йилда қор қоплами нисбатан барқарор шаклланган ва анча кенг майдонни қамраб олган. Қиш даврида SCA 80-90% гача

етган ва қор баҳоргача сақланиб қолган. Минимал ва максимал йиллар орасидаги фарк айрим даврларда 40-50% гача етади, бу эса Амударё ҳавзасида қор қоплами майдонининг йиллик ўзгарувчанлиги юқорилигини ифодалайди. Амударё ҳавзасининг умумий миқёсида қор қоплами ўзгаришларининг таҳлили унинг мавсумий ва йиллик динамикаси ҳақида умумий тасаввур беради. Бироқ, ҳавзанинг мураккаб орографик тузилиши, рельефнинг кескин ўзгарувчанлиги ва баландлик градиентининг катта фарқланиши сабабли, қор қопламининг шаклланиши ва эриш жараёнлари ҳудуд бўйича бир хил кечмайди.

Баландлик ортиши билан ҳаво ҳароратининг пасайиши ва ёгин миқдорининг ўзгариши қор қопламининг давомийлиги ҳамда майдонини бевосита белгилайди. Шу сабабли, қор қоплами динамикасини янада аниқроқ баҳолаш учун ҳавза баландлик зоналарига ажратилган ҳолда таҳлил қилинди (5-расм). Ҳар бир баландлик диапазони учун қор билан қопланган майдон (SCA) ўзгаришлари алоҳида ҳисобланиб, уларнинг мавсумий ва йиллик трендлари аниқланган.

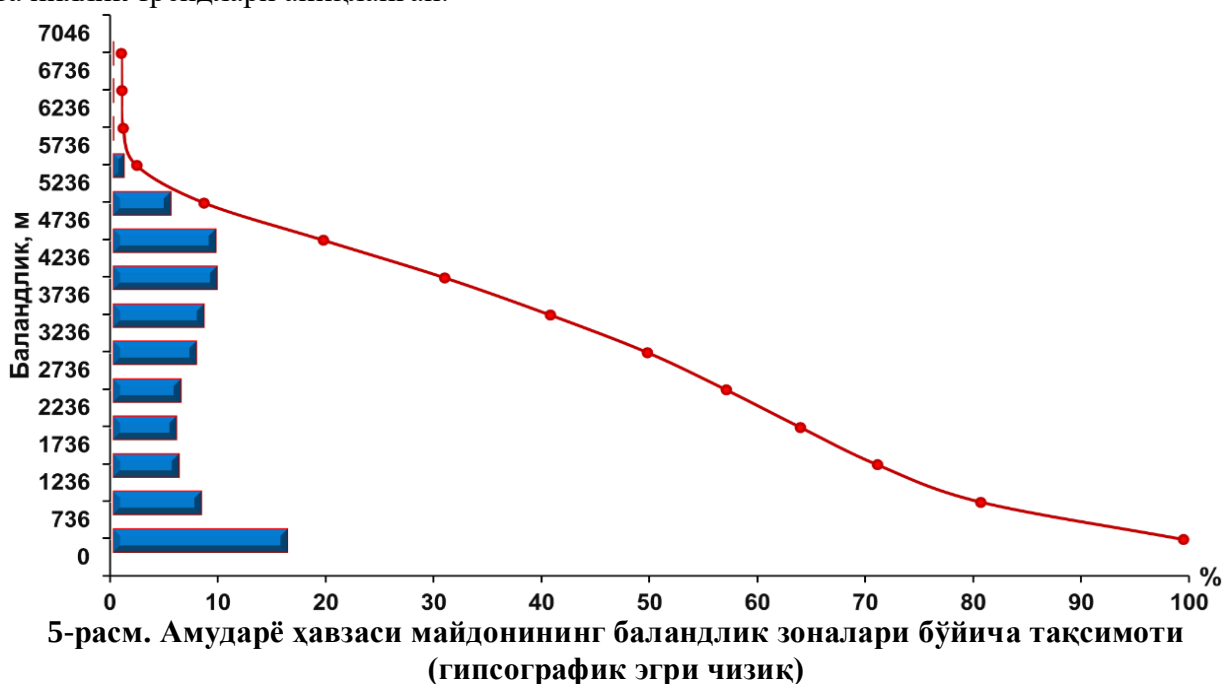


Рис. 5. Распределение площади бассейна реки Амударья по высотным зонам (гипсографическая кривая)

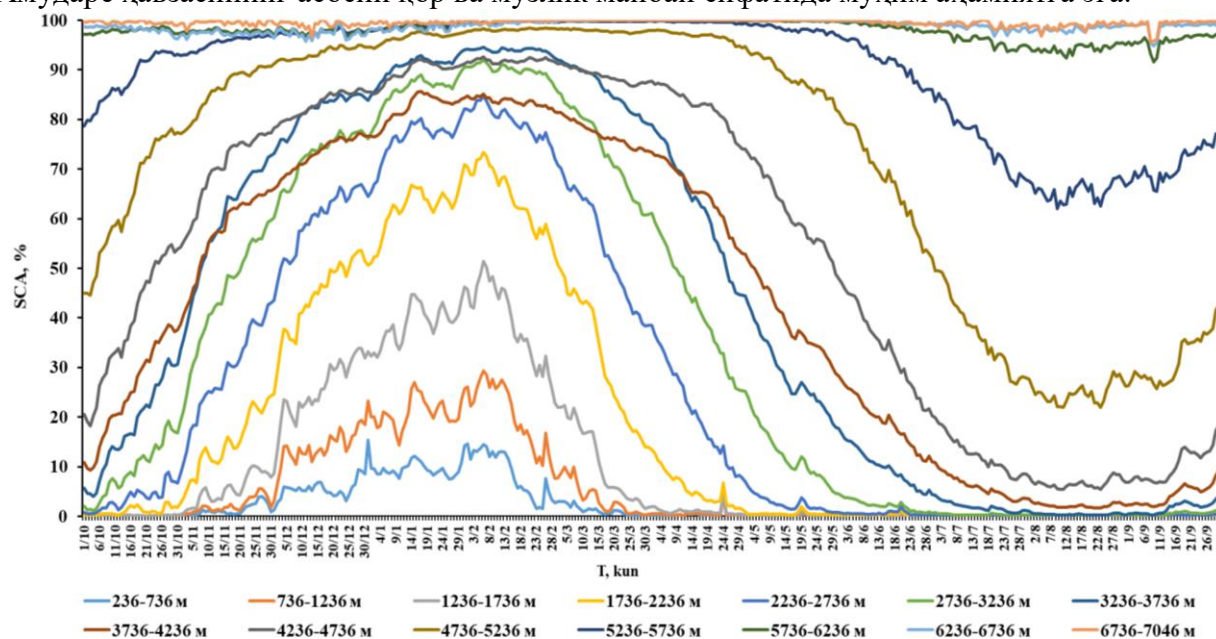
Fig. 5. Distribution of the Amu Darya river basin area by elevation zones (hypsographic curve)

Бундай ёндашув турли баландликдаги ҳудудларда қор қопламининг шаклланиши, эриш ва сақланиш хусусиятларини аниқлаш, шунингдек, иқлим ўзгаришининг вертикал таъсирини баҳолаш имконини беради.

2001-2025 йиллар давомида MODSNOW дастури асосида Амударё ҳавзасининг турли баландлик диапазонларида қор билан қопланган майдон (SCA, %) ўзгариши таҳлил қилинди (6-расм). График натижалар шундан далолат берадики, қор қопламининг миқдори ва давомийлиги баландликка қараб сезиларли фарқ қилади. Паст тоғ олди ҳудудларида (736-1736 м) қор қоплами қисқа муддатли бўлиб, асосан декабрь-февраль ойларида шаклланади ва март ойи ўрталарига келиб деярли тўлиқ эриб кетади. Ушбу зоналарда қор билан қопланган майдон 20-40 фоизгача етади.

Ўрта тоғли ҳудудларда (1736-3736 м) қор қоплами ноябрь ойи охиридан бошлаб апрель-май ойларигача барқарор сақланади. Энг юқори SCA қийматлари январь-март ойларида 60-90 фоиз оралиғида кузатилади. Баҳор ойларида, хусусан апрель ойидан бошлаб қор эриши жадаллашади ва бу даврда дарё оқимининг асосий шаклланиш жараёни содир бўлади. Узоқ муддатли кузатувлар қор эришининг эрта бошланиши ва қор сақланиш даврининг қисқаришига ишора қилмоқда.

Юқори тоғли ҳудудларда (3736-7046 м) эса қор қоплами деярли доимий бўлиб, йил давомида 90 фоиздан ортиқ майдон қор билан қопланган ҳолатда сақланади. Фақат ёз ойларида (июль-сентябрь) қор майдонида бир оз камайиш кузатилади. Ушбу ҳудудлар Амударё хавзасининг асосий қор ва музлик манбаи сифатида муҳим аҳамиятга эга.



6-расм. Амударё хавзасида турли баландлик зоналарида қор қопламининг ўртача кўп йиллик ўзгариши (2021-2025 йй.)

Рис. 6. Среднемноголетние изменения снежного покрова в различных высотных зонах бассейна реки Амударья (2021-2025 гг.)

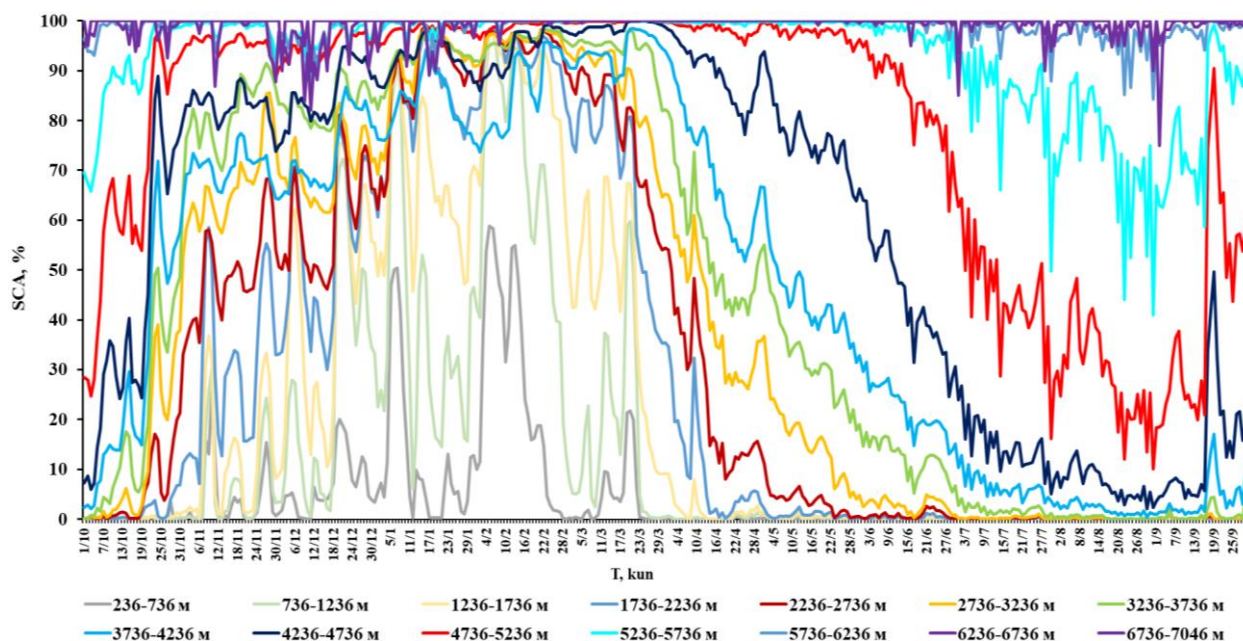
Fig. 6. Mean multi-year variation of snow cover in different elevation zones of the Amu Darya river basin (2021-2025)

Қор қопламининг ҳудуд ва вақт бўйича тарқалиши турли йиллардаги иқлим шароитига боғлиқ ҳолда сезиларли фарқланади. Айрим йилларда совуқ ва нам шароитлар устун бўлиб, қор қопламининг шаклланиши ва сақланиш муддати узоқроқ давом этади, бошқа йилларда эса иссиқ ва қуруқ иқлим натижасида қор тезроқ эрийди. Шу сабабли, кузатув даврида қор қоплами нисбатан энг кўп бўлган 2012 йил ва энг қисқа давом этган 2011 йиллардаги ўзгариши таҳлил қилинди.

Кузатув даври мобайнида қор қоплами нисбатан энг кўп бўлган 2012 йилда хавзанинг деярли барча баландлик диапазонларида эрта шаклланиб, кеч эриганлиги кузатилади. Қор қоплами тўпланишининг бошланиши одатдагидан эрта, яъни октябрь ойининг бошларида кузатилган, энг юқори SCA қийматлари эса январь-март ойларида 90-100 фоизгача етган. Паст баландликларда (236-1736 м) қор қоплами ноябрь ойидан февраль ойигача сақланиб, ўртача 3-4 ой давом этган. Ўрта баландликларда (1736-3736 м) қор 5-6

ой давомида эримай турган, бу даврда қор майдони 70-90% атрофида бўлган. Юқори тоғли ҳудудларда (3736-7046 м) қор қоплами йил давомида деярли узлуксиз ($SCA > 90\%$) сақланган (7-расм).

Қор эриш жараёни баҳор ойларида нисбатан кеч бошланган бўлиб, май-июнь ойларида ҳам юқори SCA қийматлари сақланиб қолган. Бу эса дарё ҳавзаларида кечки қор эриш оқимларининг кучайишига олиб келган. Шундай йилларда сув ресурсларининг нисбатан кўплиги, вегетация даврида сув таъминотининг яхши бўлиши билан тавсифлаш мумкин.



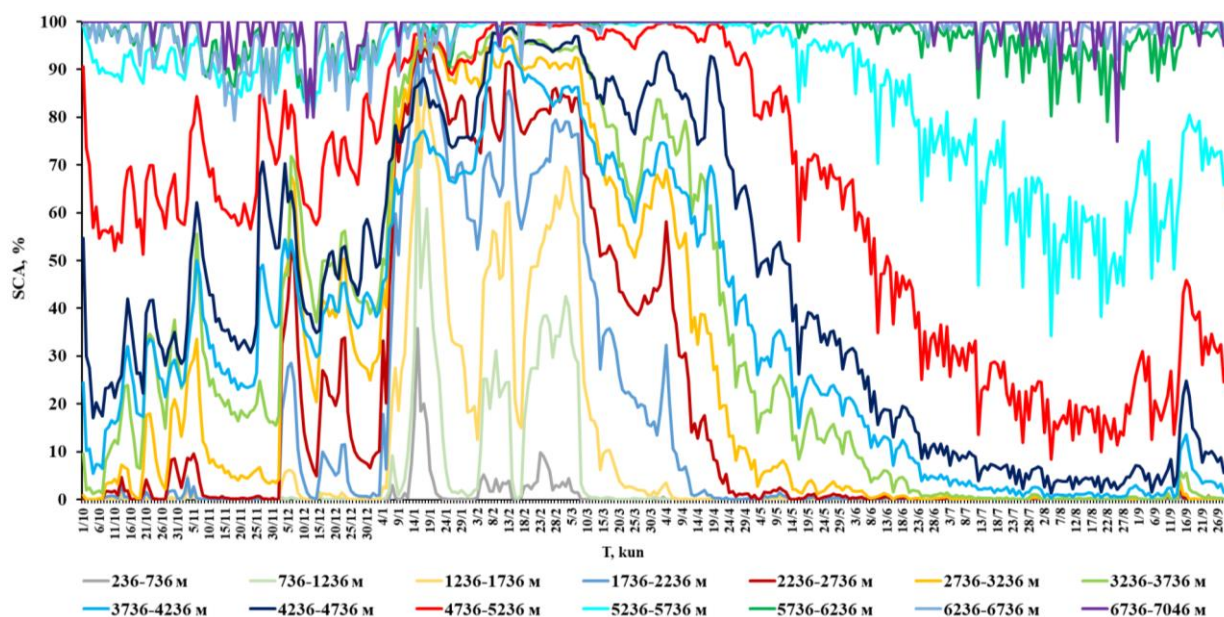
7-расм. Амударё ҳавзасида қор қопламининг баландлик бўйича тақсироти
(2012 йил – максимал)

Рис. 7. Распределение снежного покрова по высотным зонам в бассейне реки Амударья (2012 г. – максимал)

Fig. 7. Distribution of snow cover by elevation zones in the Amu Darya river basin (2012 – max)

Энг кам қорли йилларда қор қопламининг шаклланиши кеч, ноябрь охири – декабрь бошларида бошланган, қор майдонининг максимал қийматлари эса январь ойида кузатилган (8-расм). Паст ва ўрта баландликларда қор қоплами эрта эриб кетган бўлиб, февраль-март ойларидаёқ SCA қийматлари 10-20% гача тушган. Ўрта баландлик диапазонларида (1736-3736 м) қорнинг давомийлиги 1-2 ойга қисқарган, максимал SCA қийматлари эса 40-60% дан ошмаган. Юқори баландликларда қор барқарор сақланган бўлса-да, айрим даврларда қор майдони 5-10% га қисқарган.

Солиштириш натижалари шуни кўрсатадики, энг узок ва энг қисқа қор қоплами кузатилган йиллар орасидаги фарқлар ҳавзанинг сув ресурслари шаклланишида ҳал қилувчи аҳамиятга эга. Қор қопламининг узок давом этиши сув захираларининг ортишига, қисқа давом этиши эса дарё оқимининг эртарок камайишига олиб келади. Қор қопламининг кам бўлиши, оқим миқдорининг камайиши билан бирга, қорнинг тез эриши натижасида ҳосил бўладиган мавжуд оқимнинг катта қисми нисбатан эртарок даврда оқиб кетишига сабаб бўлади.



8-расм. Амударё ҳавзасида қор қопламнинг баландлик бўйича тақсимо­ти (2011 йил – минимал)

Рис. 8. Распределение снежного покрова по высотным зонам в бассейне реки Амударья (2011 г. – минимум)

Fig. 8. Distribution of snow cover by elevation zones in the Amu Darya basin (2011 – min)

Қор қоплами маълумотларидаги ўзгаришлар (камаيиш ёки кўпайиш) тенденциясини аниқлаш учун Манн-Кендалл тести қўлланилди. Ушбу тест гидрологик, гидрометеорологик ва экологик тадқиқотларда вақт қаторлари бўйича монотон тенденцияни аниқлашда кенг қўлланилади. Манн-Кендалл тести нопараметрик усул бўлиб, маълумотларнинг нормал тақсимланган бўлишини талаб этмайди [Mann, 1945; Kendall, 1975].

Тестнинг асосий моҳияти – кузатувлар орасидаги жуфт фарқларни таққослаш орқали S-статистикаси ёрдамида умумий ўсиш ёки камаيиш йўналишини аниқлашдан иборат. Манн-Кендалл тести қуйидаги S статистикаси асосида ҳисобланади:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Бу ерда: x_j – кетма-кет кузатилган маълумот қийматларини, (n) эса маълумотлар тўпламининг узунлигини (яъни йиллар сонини) билдиради.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{agar } x_j > x_i \\ 0, & \text{agar } x_j = x_i \\ -1, & \text{agar } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

Манн ва Кендалл томонидан аниқланишича, агар $n > 8$ бўлса, S статистикаси деярли нормал тақсимотга эга бўлади ва унинг ўртача қиймати ҳамда дисперсияси қуйидагича ифодаланади:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n-5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

Бу ерда: t – бир хил қийматлар сонини билдиради. Стандартлаштирилган тест статистикаси Z эса қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{agar } S > 0 \\ 0, & \text{agar } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{agar } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Манн-Кендалл тестининг афзаллиги шундан иборатки, у аномал қийматларга нисбатан сезгир эмас ва автокорреляция мавжуд ҳолатларда ҳам қўлланилиши мумкин [Yue et al., 2002].

1-жадвалда Манн-Кендалл тест бўйича Z-статистика қийматларининг аҳамиятлилиқ даражалари асосида тренд турлари классификацияси келтирилган. Ушбу тест вақт қаторларида ўзгариш йўналиши ва унинг статистик аҳамиятини аниқлашда кенг қўлланилади. Z қиймати мусбат бўлса, ўсувчи (ижобий) тренд, манфий бўлса, камаювчи (салбий) тренд мавжудлигини билдиради. Аҳамиятлилиқ даражаси (α) эса тренднинг статистик ишончлилиқ даражасини кўрсатади.

Жадвалда кўрсатилганидек, $Z \geq 3,29$ бўлганда тренд 0,001 даражада жуда ишончли, $Z \geq 2,58$ эса 0,01, $Z \geq 1,96$ эса 0,05, ва $Z \geq 1,64$ қийматлар эса 0,1 даражада аҳамиятли ҳисобланади. Агар $-1,64 < Z < 1,64$ оралиғида бўлса, тренд статистик жиҳатдан аҳамиятли эмас деб қаралади, яъни кузатилган ўзгаришлар тасодифий тебранишлар натижаси бўлиши мумкин [Mann, 1945; Kendall, 1975]. Шундай қилиб, 1-жадвалда Z қийматлари диапазонлари орқали қор қопламининг ўзгариш йўналишини (ўсиш ёки камайиш) ва бу ўзгаришнинг ишончлилиқ даражасини баҳолаш мезони кўрсатилган.

1-жадвал

Манн-Кендалл тестига кўра Z қиймати оралиғига асосланган тренд турларининг таснифи

Таблица 1

Классификация типов тренда на основе диапазона значений Z по тесту Манна-Кендалла

Table 1

Classification of trend types based on Z-value ranges according to the Mann-Kendall test

Z қиймати оралиғи	$Z \geq 3,29$	$Z \geq 2,58$	$Z \geq 1,96$	$Z \geq 1,64$	$1,64 \geq Z \geq -1,64$
α , аҳамиятлилиқ	0,001	0,01	0,05	0,1	-

Ушбу мезонлардан фойдаланган ҳолда кейинги босқичда Амударё дарёси ҳавзасидаги турли баландлик зоналарида қор қопламининг ойлик ўзгариш тенденциялари таҳлил қилинди. 2001-2025 йиллар даври учун ҳар бир баландлик диапазони бўйича ҳисобланган Mann-Kendall тести Z-қийматлари 2-жадвалда келтирилган бўлиб, улар ҳавзадаги қор қопламининг узоқ муддатли ўзгариш йўналишини ифодалайди.

Жадвал маълумотлари таҳлили кўрсатадики, ҳавзанинг қор қоплами ўзгариш тенденциялари баландлик, ой ва фасллар бўйича кескин фарқланади. Амударё ҳавзасининг энг юқори (4000 м дан юқори) қисми асосан доимий қор ва музликлар билан қопланган бўлиб, бу ҳудудлар дарё сувининг шаклланишида муҳим рол ўйнайди. Фирн чизигидан юқоридаги музликлар йил давомида қор ва муз массаси тўпланадиган ҳамда ёз ойларида эриш натижасида сув оқими шаклланадиган асосий манба ҳисобланади.

Ушбу ҳудудда қор қопламининг мавсумий ўзгаришлари ва музликларнинг эриш жараёнлари дарё оқимининг ёзги даврда кўпайишига бевосита таъсир кўрсатади. Сўнгги ўн йилликларда бу баланд тоғли зоналарда ҳароратнинг ошиб бориши натижасида музликларнинг ҳажми қисқариб, уларнинг гидрологик ҳиссаси вақт ўтиши билан камайиб бормоқда. Олиб борилган тадқиқотларга кўра, Амударё ҳавзасининг юқори қисмидаги музликлар 2050 йилгача сезиларли даражада қисқариши мумкин. Бу эса, айниқса, ёзги мавсумда дарё оқимини шакллантирувчи сув манбаларининг камайишига олиб келади [Hagg et al., 2013].

2-жадвал

Амударё ҳавзасида баландлик зоналари бўйича қор қопламини майдонининг ойлик ўзгариш тенденцияларининг Z қийматлари

Таблица 2

Значения Z изменения площади снежного покрова по высотным зонам и месяцам в бассейне реки Амударья

Table 2

Z-values of monthly snow cover area change trends by elevation zones in the Amu Darya river basin

Баландлик	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
7046-6736 м	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6736-6236 м	3,386	3,013	1,519	2,455	2,128	3,856	-1,543	0,000	0,444	-1,565	-0,631	2,289
6236-5736 м	2,919	2,592	1,471	2,406	2,312	2,736	-1,059	-0,490	-0,257	-1,051	-0,911	-0,117
5736-5236 м	0,584	1,285	0,350	1,051	0,023	-0,817	-0,397	-0,304	0,724	0,584	-0,257	-1,565
5236-4736 м	0,490	0,023	-1,331	-0,958	-1,098	-1,191	0,070	-0,304	0,677	0,070	-0,210	-1,985
4736-4236 м	0,631	-0,490	-1,471	-1,238	-1,238	-0,677	0,210	-0,631	0,163	-0,444	-0,397	-1,985
4236-3736 м	-0,350	-0,490	-1,191	-0,771	-0,911	-0,631	-0,117	-0,257	-0,070	-0,864	-0,350	-1,565
3736-3236 м	-0,817	-0,117	-2,359	-0,631	-1,518	-0,117	-0,023	-0,304	-0,350	-1,938	-1,331	-1,331
3236-2736 м	-0,537	0,163	-2,359	-0,444	-1,331	-0,070	-0,584	-0,724	-0,771	-2,546	-0,771	-0,677
2736-2236 м	-0,070	-0,023	-2,639	-0,817	-1,098	-0,070	-0,584	-0,771	-0,304	-0,163	-0,654	-0,444
2236-1736 м	0,000	-0,070	-2,873	-1,425	-1,611	-0,210	-0,490	-1,518	0,163	0,888	0,234	-0,257
1736-1236 м	1,378	0,023	-2,406	-1,051	-1,425	-0,817	1,051	-1,144	-0,023	1,682	1,430	0,702
1236-736 м	1,425	1,285	-1,378	-0,117	-1,051	-0,397	2,639	-0,864	0,304	-1,330	-0,949	0,377
736-236 м	1,144	2,499	-0,724	1,238	0,350	0,724	2,406	-0,491	0,525	0,519	-0,907	0,194

Ўрта баландликдаги зоналарда қор қопламининг мавсумий тебранишлари кучлироқ намоён бўлади. Куз ва қиш ойларида кузатилган ижобий трендлар бу даврда қор ёғиш ҳажми ортиб бораётганидан дарак беради. Баҳор ва ёз бошларида эса, аксинча, қор эриш жараёнларининг тезлашуви сабабли камаювчи тенденциялар устунлик қилади. Бу ҳолат, эҳтимол, баҳоргидек даврларда ҳароратнинг ортиши ва ёғинларнинг ёмғир кўринишига ўтиши билан боғлиқ. Шунингдек, ўрта тоғли зоналарда ўзгаришларнинг ишончлилиқ даражаси паст бўлиб, бу ҳудудларда қор динамикаси йилма-йил барқарор эмаслигини кўрсатади.

Апрель ойида пастки зоналарда қор қопламининг ортиш тенденцияси айрим йилларда ҳароратнинг кескин пасайиши ва қор кўринишида ёғин тушиши билан изоҳланиши мумкин. Бу ҳолат сўнгги йилларда кузатилаётган аномал об-ҳаво ҳодисалари билан боғлиқ.

Паст баландликдаги ҳудудларда эса қор қопламининг умумий камайиш тенденцияси яққол намоён бўлади. Айниқса, қиш ойларида кузатилган манфий трендлар қор ёғиш ҳажмининг қисқариши ва эриш жараёнининг эртароқ бошланишини билдиради. Бу ҳолат минтақада ҳаво ҳароратининг аста-секин исиб бориши ҳамда иқлим ўзгаришининг паст

тоғли ҳудудларда кучлироқ намоён бўлаётганидан далолат беради. Баҳор ойларида айрим зоналарда қисқа муддатли ижобий тенденциялар қор ёғинларининг кечикиб тушиши ёки вақтинчалик совуқ тўлқинлар билан боғлиқ бўлиши мумкин.

Фасллар кесимида таҳлил қилинганда, куз ойларида аксарият баландликларда қор қопламанинг ортиши, қишнинг иккинчи ярмидан бошлаб эса пасайиш тенденцияси устунлик қилади. Бу ҳолат ҳавзадаги қор қопламанинг шаклланиш ва эриш жараёнларининг вақт бўйича силжиётганини англатади. Демак, қор тўпланиш даври қисқарган бўлиб, бу дарёнинг юқори қисмларида сув ресурсларининг шаклланишига бевосита таъсир кўрсатади.

Умуман олганда, 2-жадвал натижалари Амударё ҳавзасида қор қопламанинг фазовий ва мавсумий ўзгаришлари иқлим исиши жараёнларига сезгир эканлигини кўрсатади. Юқори тоғли ҳудудларда ҳали сезиларли ўзгаришлар қайд этилмаган бўлса-да, ўрта ва паст зоналарда қорнинг камайиш тенденцияси яққол намоён бўлмоқда. Бу эса келажакда сув ресурслари, оқим шаклланиши ва гидрологик мувозанатга салбий таъсир кўрсатиши мумкин.

Манн-Кендалль тести асосида аниқланган мазкур натижалар Амударё ҳавзасида қор қопламанинг иқлим ўзгаришларига бўлган жавобини чуқур таҳлил қилиш, ҳамда баландлик бўйича фарқланувчи гидрометеорологик жараёнларни аниқлаш учун муҳим илмий асос яратади.

Хулоса. Ушбу тадқиқот натижалари Амударё ҳавзасида қор қопламанинг кўп йиллик динамикаси, фазовий тақсмоти ва баландлик бўйича ўзгаришчанлигини аниқлаш имконини берди. MODIS сунъий йўлдош маълумотлари асосида олинган натижалар қор қопламанинг баландлик билан бевосита боғлиқ эканлигини кўрсатди — юқори тоғли зоналарда қор йил давомида сақланиб, паст ҳудудларда эса қисқа муддатли ва беқарор ҳолатда бўлади. Олиб борилган таҳлиллар Амударё ҳавзасида қор қопламанинг умумий майдони сўнгги йилларда камайиб бораётганини кўрсатди. Бу ҳолат иқлим исиши жараёнининг кучайиши, ёғин тури ва миқдорининг ўзгариши ҳамда ҳароратнинг ортиши билан изоҳланади. Баҳор ойларида қор эриш жараёнининг эрта бошланиши кузатишмоқда, бу эса дарё оқимининг эртароқ шаклланиши ва ёзги сув ресурсларининг камайиш хавфини оширади. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, Амударё ҳавзасидаги қор қопламанинг ўзгаришчанлиги сув ресурслари, гидрологик жараёнлар ва экологик тизимларнинг барқарорлигига бевосита таъсир кўрсатади. Ушбу иш натижалари иқлим ўзгаришининг минтақавий оқибатларини баҳолаш ва сув ресурсларини бошқариш стратегиясини такомиллаштиришда муҳим аҳамият касб этади.

Муаллифлар ҳиссаси. Д.Ў. Ярашев: методология, мақола матнини ёзиш, маълумотларни қайта ишлаш, графикларни яратиш. Ғ.Ў. Умирзақов: мақолани расмийлаштириш, маълумотларни қайта ишлаш. А.А. Гафуров: маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, масофавий зондлаш маълумотлари устида ишлаш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тайёрланган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Духовный В.А., Зиганшина Д.Р., Сорокин А.Г., Сорокин Д.А., Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф., Муминов Ш.Х., Махрамов М.Я., Тилянова Г.К., Назарий А.М., Заитов Ш., Рузиев И. Будущее бассейна Амударьи в условиях изменения климата. – Ташкент: НИЦ МКВК Центральной Азии, 2018. – 328 с.

Шульц В.Л., Маиранов Р. Ўрта Осиё гидрографияси. – Тошкент: Ўқитувчи, 1969. – 327 с.

- Gafurov A., Bardossy A. Snow cover data derived from MODIS for water balance applications // Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2009. № 6. – PP. 791–841.
- Gafurov A., Ludtke S., Unger-Shayesteh K. Vorogushyn S. Schone T. Schmidt S. Kalashnikova O. Merz B. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data // Environmental Earth Science. № 75. 2016. – PP. 1-15.
- Gafurov A., Mamaraimov A., Friedrich B., Gafurov A. Seasonal snow cover variations in Central Asia based on remote sensing data. / EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 April 2024, EGU24-19588, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-19588>.
- Kendall M.G. Rank Correlation Measures. Charles Griffin. – London: 1975. – 202 p.
- Hagg W., Mayer C., Lambrecht A., Kriegel D., Azizov E. Glacier and runoff changes in the Rukhk catchment, upper Amu-Darya basin until 2050. // Global and Planetary Change, 110, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.07.005>
- Hamed H. Khaled. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis // Journal of Hydrology, 2008. Vol. 349, Iss. 3-4, – PP. 350-363, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>.
- Helsel D.R., Hirsch R.M., Ryberg K.R., Archfiel S.A., Gilroy E.J. Statistical methods in water resources: US Geological Survey Techniques and Methods, 2020 - Book 4, Chap. A3. – 458 p., <https://doi.org/10.3133/tm4a3>. [Supersedes USGS Techniques of Water-Resources Investigations, Book 4, Chap. A3, Version 1.1.]
- Mamaraimov A., Gafurov A. Masofadan qor qoplamini monitoring qilish uchun “MODSNOW” operativ dasturi / “Geografik tadqiqotlar: innovatsion g’oyalar va rivojlanish istiqbollari” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to’plami. – Toshkent, 2022. – B. 597–602.
- Mann H.B. Non-parametric tests against trend // Econometric, 1945. №13. – PP. 245–259.
- Yue Sh., Pilon P., Cavadias G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series // Journal of Hydrology, 2002. Vol. 259, Iss. 1-4, – PP. 254-271.

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В БАСЕЙНЕ РЕКИ АМУДАРЬЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (2001-2025 ГГ.)

Д.У. ЯРАШЕВ¹, Ғ.У. УМИРЗАКОВ^{1,2}, А.А. ГАФУРОВ¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, darkhonyarashev@gmail.com

² Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, g.umirzakov@nuu.uz

Аннотация: В статье изучены изменения динамики снежного покрова в верхней части бассейна реки Амударья выше гидропоста Керки за период 2001-2025 гг. на основе данных, полученных с использованием программы MODSNOW. Изменения характеристик снежного покрова проанализированы как по месяцам для всего бассейна, так и с разделением на различные высотные зоны. Тенденции изменения снежного покрова определены с применением статистического теста Манна-Кендалла.

Ключевые слова: снежный покров, дистанционное зондирование, MODIS, MODSNOW-tool, гидрологический год, тест Манна-Кендалла, тренд, река Амударья.

MONITORING SNOW COVER CHANGES IN THE AMU DARYA RIVER BASIN USING REMOTE SENSING (2001-2025)

D.U. YARASHEV¹, G.U. UMIRZOQOV^{1,2}, A.A. GAFUROV¹

¹ Hydrometeorological Research Institute, darkhonyarashev@gmail.com

² National Univsity of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, g.umirzakov@nuu.uz

Abstract: *The study analyzes the dynamics of snow cover changes in the upper part of the Amudarya river basin above the Kerki hydrological post during 2001-2025, based on data obtained using the MODSNOW program. Snow cover variations were analyzed both monthly for the entire basin and by elevation zones. Snow cover change trends were determined using the Mann-Kendall statistical test.*

Keywords: *snow cover, remote sensing, MODIS, MODSNOW-tool, hydrological year, Mann-Kendall test, trend, Amudarya river.*

REFERENCES

Duxovniy V.A., Ziganshina D.R., Sorokin A.G., Sorokin D.A., Stulina G.V., Solodkiy G.F., Muminov Sh.X., Maxramov M.Ya, Tilyavova G.K., Nazariy A.M., Zaitov Sh., Ruziyev I. Budusheye basseyna Amudari v usloviyax izmeneniya klimata [The future of the Amu Darya basin in the context of climate change]. – Tashkent: NITS MKVK Sentralnoy Azii, 2018. – 328 s. (in Russian)

Shults V.L., Mashrapov R. Orta Osiyo gidrografiya [Hydrography of Central Asia]. – Toshkent: Oqituvchi, 1969. – 327 s. (in Uzbek)

Mamaraimov A., Gafurov A. Masofadan qor qoplamini monitoring qilish uchun “MODSNOW” operativ dasturi [MODSNOW operating program for distance snow monitoring] / “Geografik tadkikotlar: innovatsion goyalar va rivojlanish istikbollari” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari toplami. – Toshkent, 2022. - S. 597-602. (in Uzbek)

