

УДК: 556.06.394.2

**ҚОР ҚОПЛАМИ МОНИТОРИНГИ АСОСИДА ПИСКОМ ДАРЁСИ ВЕГЕТАЦИЯ ДАВРИ ОҚИМИНИ ПРОГНОЗЛАШ****Д.Ў. ЯРАШЕВ<sup>1\*</sup>, А.А. ГАФУРОВ<sup>2</sup>, А.А. ГАФУРОВ<sup>3</sup>, Г.Ў. УМИРЗАҚОВ<sup>1,4</sup>**<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, dyarashev0896@gmail.com<sup>2</sup> Германия Ер тадқиқотлари маркази (GFZ Potsdam), gafurov@gfz-potsdam.de<sup>3</sup> Гидрометеорология хизмати маркази, akmal.a.gafurov@gmail.com<sup>4</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети, g.umirzakov@gmail.com

**Аннотация:** Мақолада MODIS қор қоплами динамикаси маълумотлари асосида тоғ дарёларининг вегетация даври оқимини узоқ муддатли прогнозлаш имкониятлари Писком дарёси мисолида ўрганилган. Ишда масофадан зондлаш – MODIS маълумотлари бўйича ҳисобланган қор қоплами индекси кўрсаткичлари асосида прогнозлашнинг регрессия тенгламалари тузилган ва Писком дарёси вегетация даври оқими прогнози амалга оширилган. Прогнозларнинг ўзини оқлаш даражаси ва самарадорлиги қабул қилинган турли мезонлар бўйича баҳоланган.

**Калит сўзлар:** дарё оқими, оқим прогнози, вегетация даври, масофадан зондлаш, қор қоплами, қор қоплами индекси, MODIS, регрессия тенгламаси, прогноз самарадорлиги, NSE, нисбий хатолик.

**Кириш.** Маълумки, Ўрта Осиё худудида асосий сув ресурслари тоғ дарёлари оқими ҳисобланиб, улар минтақа бўйлаб нотекис тақсимланган. Тоғ дарёлари ҳавзанинг юқори қисмида шаклланган қор ва музликлар ҳисобига тўйинади ҳамда унинг 80% гача оқими апрель-август ойларига тўғри келади. Вегетация даврида иқтисодиёт тармоқлари(энергетика, кишлоқ хўжалиги, сув хўжалиги)нинг сувга бўлган юқори талабидан келиб чиққан ҳолда, ҳавзада шаклланиши мумкин бўлган дарёлар оқимини прогнозлаш масалалари катта аҳамиятга эга. Ҳавзанинг юқори қисмида шаклланган қор қоплами маълумотларидан дарё оқимини прогнозлашда фойдаланиш имконияти мавжуд.

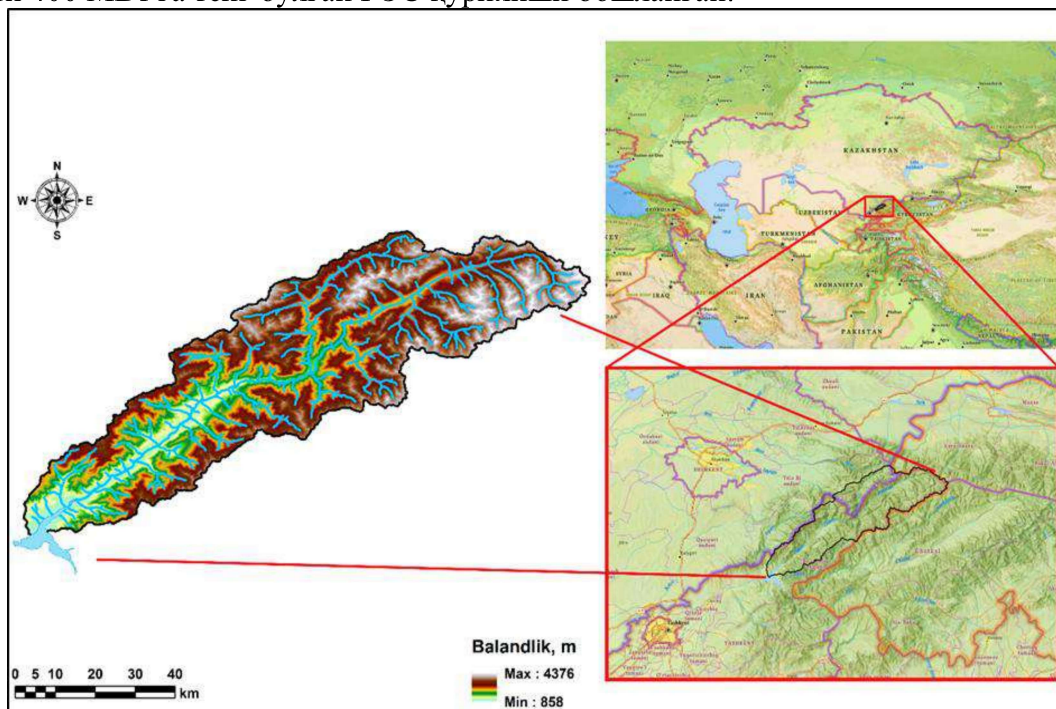
Тоғ ҳавзаларида қор захираси маълумотларини аниқлаш ёғингарчилик кўрсаткичлари ҳамда қор қопламини ўрганиш маълумотларига мувофиқ амалга оширилади. Тоғларда қор қопламининг нотекис шаклланиши, баландлик ва ёнбағирлар бўйлаб қор захираларининг катта ўзгарувчанлиги туфайли баландлик зоналари учун шаклланган сув захираларини бутун ҳавзага нисбатан ҳисоблашлар юқори аниқликка эга эмас. Бирок, баланд тоғли ҳудудлар учун бундай маълумотларни олиш бироз мураккаб. Юқори баландликларда жойлашган метеорологик станцияларда сутка давомида қор қалинлиги ўлчаб борилса-да, ушбу маълумотни умумий ҳавза майдони учун қўллаш ҳисоблашларда муайян четлашишларга олиб келади. Дарё ҳавзасида шаклланган қор қоплами ҳақида маълумотлар етарли бўлмаган ҳолларда Ернинг сунъий йўлдоши орқали олинган маълумотлар шаклланидиган оқим миқдорини аниқлаш ва ундан самарали фойдаланиш имкониятларини яратади.

**Тадқиқот объекти.** Писком дарёси ҳавзаси Ғарбий Тяньшаннинг Талас Олатови ҳамда Писком, Майдонтол, Угом тизмалари оралиғида жойлашган. Дарё ўнг томондан Майдонтол тизмасининг шимолий ёнбағрида жойлашган кичик қўлдан бошланадиган Майдонтол ва чап томондан Писком тизмасининг шимоли-ғарбий ёнбағрида Шовурсой номи билан бошланувчи Ойгаинг дарёларининг келиб қўшилишидан ҳосил бўлади [Шульц, Машрапов, 1969]. Писком дарёси ҳавзасининг умумий майдони 2840 км<sup>2</sup>,

\* Масъул муаллиф: dyarashev0896@gmail.com, тел.: +998 93 606-28-96

узудлиги 70 км бўлиб, денгиз сатҳидан баландлиги 760 м дан 4400 м га қадар турли ландшафт зоналарини камраб олади (1-расм).

Писком дарёсининг Муллала постидаги кўп йиллик ўртача сув сарфи 77,8 м<sup>3</sup>/с ни ташкил этади. Икки давр бўйича солиштирилганда йиллик ўртача сув сарфи 1961-1990 йилларда 78,5 м<sup>3</sup>/с ни ташкил этган бўлса, 1991-2020 йилларда бу қиймат камайиб, 74,3 м<sup>3</sup>/с га тенг бўлган. Ўрта ҳисобда йиллик оқимнинг 42-46 фоизи апрель-июнь ойларида, 36-40 фоизи эса июль-сентябрь ойларига тўғри келади. Писком Чирчик дарёсининг энг йирик иккинчи ирмоғи бўлиб, Чорвоқ сув омборига ўз сувларини келтириб қуяди. Ҳозирда дарёнинг қуйи қисмида ҳажми 511 млн. м<sup>3</sup> бўлган сув омбори ва қуввати 400 МВт га тенг бўлган ГЭС қурилиши бошланган.



1-расм. Писком дарёси ҳавзасининг географик жойлашиши

Рис. 1. Географическое положение бассейна реки Пскем

Fig. 1. Geographical location of Pskem River basin

**Бирламчи маълумотлар.** Ҳозирда сунъий йўлдошлар орқали олиб бориладиган катта масштабдаги мониторинг таркибида қор қоплами бўйича ҳам кузатувлар мавжуд. Қор сиртининг юқори альбедаго эғалиги сабабли унинг тасвири бошқа сиртларга нисбатан юқори аниқликка эга.

Ернинг TERRA ва AQUA сунъий йўлдошларига ўрнатилган MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) спектрорадиометри сутка давомида 2 марта тасвир олади [Riggs, Hall, 2011]. Тасвир 500x500 м аниқликда жойнинг қор билан қопланганлиги ҳақида маълумот беради [Gafurov, Bardossy, 2009; Gafurov et al., 2015]. MODIS маълумотлари тадқиқотчилар томонидан дунёнинг турли ҳудудлари учун синовдан ўтказилган ва ижобий натижа берган. Тасвир маълумотларини тўғридан-тўғри қўллашнинг асосий камчилиги булут билан қопланганлик ҳолати ҳисобланади. Бироқ, MODSNOW-Tools дастури орқали бу муаммони ҳал этиш мумкин. Дастур автоматик тарзда 8 босқичда булут қопламини тасвирдан олиб ташлайди ва ер сиртида қор қоплами мавжуд ёки мавжуд эмаслиги ҳақида маълумот беради [Gafurov et al., 2016]. Булут

қоплами олинган MODSNOW қор қоплами хариталарининг аниқлиги Марказий Осиёнинг Қорадарё ҳавзасида ўрганилган ва ўртача 94% аниқликка эришилган [Калашникова, Гафуров, 2017].

**Тадқиқот усуллари.** Қор қоплами ҳақидаги маълумотлар Ўрта Осиё дарёларининг сувлилигини прогноз қилиш учун ҳам қўлланилади ҳамда ҳудудда мавсумий қор қоплами захиралари дарёлар оқимини шаклланишида ҳал қилувчи рол ўйнайди.

Дарё оқимини прогноз қилиш учун сунъий йўлдош маълумотлари асосида қор қоплами маълумотларидан биринчи марта фойдаланиш имконияти 1977 йилда А.Ранго томонидан исботланган [Rango et al., 1977]. MODIS тасвирлари қор қоплами маълумотларидан гидрологик прогнозларда фойдаланиш бўйича тадқиқотлар Ўрта Осиё ҳудудидаги бир нечта йирик ва ўртача дарё ҳавзаларида ўтказилган. Жумладан, Н.Апел, А.Гафуров, О.Калашникова ва яна бир қанча мутахассислар томонидан бажарилган бўлиб, ижобий натижаларга эришилган.

MODIS тасвирларини асосида ҳавзадаги қор қопламининг майдонини ҳисоблайдиган алгоритмлар ҳамда ундаги булут қоплами тасвирларини олиб ташловчи MODSNOW-Tools дастури яратилиши ҳавзада исталган давр учун қор қоплами динамикасининг ўзгаришини ўрганиш имкониятини яратди. Натижада қор қоплами бўйича олинган маълумотлардан турли илмий-амалий мақсадларда фойдаланиш имконияти пайдо бўлди.

Қайта ишланган қор қоплами харитасида ҳавза майдони турли баландлик зоналарига ажратилади ва ҳар бир баландлик зонаси учун қор қоплами майдони – SCA (Snow Cover Area) ҳисобланади. Бунда SCA муайян баландлик зонада қор билан қопланган майдоннинг умумий майдонга нисбатини улуш ҳисобида ифодаловчи параметр ҳисобланади (2-расм). Қор қопламининг давомийлиги ва унинг ўзгариши билан дарё оқими ўртасида боғланишлар мавжуд [Eric et al., 2016]. Бу ўз навбатида SCAнинг ўзгариши орқали ифодаланадиган қор қоплами индекси – SCI (Snow Cover Index) параметрини дарё оқимини прогнозлашда қўллаш мумкинлигини кўрсатади ва у қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$SCI = \sum_{n=1}^{n=365/366} SCA_n \quad (1)$$

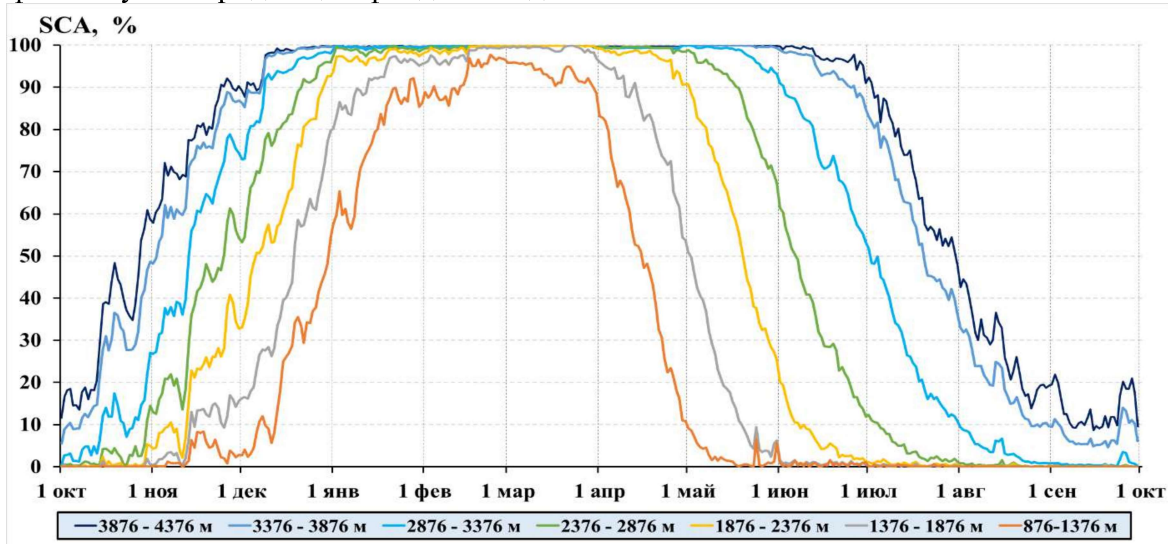
бу ерда: SCI – қор қоплами индекси (Snow Cover Index), прогноз тузиладиган муддатгача бўлган давр давомийлиги; SCA – қор қоплами майдони (Snow Cover Area), ҳавзанинг ҳар кунлик фоиз миқдорида қор билан қопланган қисми; n – кунлар сони [Калашникова, Гафуров, 2017].

Вегетация даври бошланиши билан ҳавзада ҳарорат кўтарилиб, қор қоплами аста секин эрий бошлайди ва дарё оқимини шакллантириб, дарёда тўлин сув даври бошланади. Писком дарёси ҳавзасида 2001-2021 йиллар оралиғида кузатилган кўп сувли (2002 йил) ва кам сувли (2021 йил) йилларда MODIS тасвирлари бўйича қор қоплами динамикасининг йиллик оқим шаклланишига таъсири ўрганилди.

Кўп сувли 2002 йилда ҳавзада қор қоплами давомийлиги узоқроқ давом этган ва оқим миқдори ҳам катта бўлган. Кам сувли 2021 йилда эса, аксинча, қор қоплами давомийлиги қисқа ҳамда тўлин сув даври эрта ва кам миқдорда кузатилган (3-расм).

Ўрта Осиёда гидрологик йилнинг бошланиши сифатида 1 октябрь санаси қабул қилинган бўлиб, шу даврдан бошлаб дарё ҳавзасида намлик тўплана бошлайди, яъни қор қоплами шаклланиши бошланади. Ҳавзасининг юқори қисми 4000 м дан баланд бўлган дарёларда бу бироз эртароқ бошланиши мумкин. Дарё оқимини прогнозлашда унинг аниқлик даражаси юқори бўлиши учун кўп ҳадли регрессия тенгламаларидан

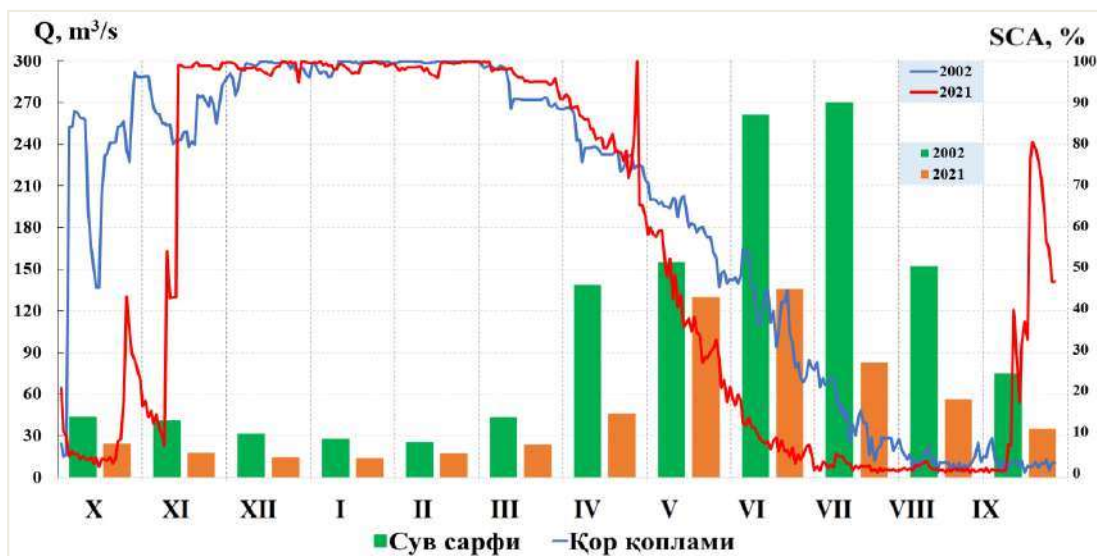
фойдаланилади [Георгиевский, Шаночкин, 1987]. Мазкур прогнозлаш тенгламаларини тузиш учун вегетация давридаги ўртача ойлик сув сарфлари ва SCI, SCA ўртасидаги жуфт корреляция коэффициентлари эмпирик ифодалар ёрдамида аниқланган [Ниязов и др., 2020]. Прогнозлаш тенгласини тузиш ва самарадорлигини баҳолашда кузатилган сув сарфи маълумотларидан ҳам фойдаланилди.



2-расм. Писком дарёси ҳавзасида қор қоплами майдонининг баландлик зоналари бўйича ўзгариши (2001-2021 йй.)

Рис. 2. Изменение площади снежного покрова бассейна реки Пскем по высотным зонам (2001-2021 гг.)

Fig. 2. Dynamic of snow cover area of Pskem River basin by elevation zones (2001-2021)



3-расм. Писком дарёси ҳавзасида кўп сувли (2002 й.) ва кам сувли (2021 й.) гидрологик йилларда ойлик сув сарфлари ва қор қоплами тақсимланиши

Рис. 3. Среднемесячный расход воды и динамика площади снежного покрова в многоводном (2002 г.) и маловодном (2021 г.) годах в бассейна реки Пскем

Fig. 3. Average monthly water discharge and dynamic of snow cover area in Pskem River basin on high water (2002) and low water (2021) years

Прогнозлаш регрессия тенгламаларини тузишда SCI қийматлари дарё хавзаси 500 метрлик баландлик зоналарга ажратилди ва бу қийматлар билан ўртача ойлик сув сарфлари ўртасидаги жуфт корреляция коэффициентлари аниқланди (1-жадвал).

1-жадвал

**SCI ва Писком дарёси ойлик ўртача сув сарфлари ўртасидаги  
жуфт корреляция коэффициентлари**

Таблица 1

**Коэффициенты парной корреляции между SCI и среднемесячными  
расходами воды реки Пскем**

Table 1

**Pairwise correlation coefficients between SCI and mean  
monthly water discharges of the Pskem River**

	Баландлик зоналари, м						
	876-1376	1376-1876	1876-2376	2376-2876	2876-3376	3376-3876	3876-4376
$Q_{IV}=f(SCI_{10-3})$	0,169	0,290	0,443	0,565	0,558	0,535	0,556
$Q_V=f(SCI_{10-4})$	0,284	0,386	0,379	0,391	0,322	0,273	0,300
$Q_{VI}=f(SCI_{10-5})$	0,140	0,307	0,509	0,676	0,624	0,490	0,446
$Q_{VII}=f(SCI_{10-6})$	0,002	0,240	0,548	0,768	0,821	0,735	0,672
$Q_{VIII}=f(SCI_{10-7})$	-0,155	0,105	0,431	0,617	0,684	0,658	0,609
$Q_{IX}=f(SCI_{10-8})$	-0,151	0,061	0,307	0,470	0,550	0,558	0,532
$Q_{IV-XI}=f(SCI_{10-3})$	0,081	0,243	0,402	0,547	0,561	0,524	0,527
$Q_{V-XI}=f(SCI_{10-4})$	0,057	0,277	0,491	0,600	0,566	0,511	0,508

Прогнозлаш тенгламаларни тузиш учун вегетация даври ўртача ойлик сув сарфлари ва SCA ўртасидаги жуфт корреляция коэффициентлари ҳам аниқланди (2-жадвал).

2-жадвал

**SCA ва Писком дарёси ойлик ўртача сув сарфлари ўртасидаги жуфт корреляция  
коэффициентлари**

Таблица 2

**Коэффициенты парной корреляции между SCA и среднемесячными  
расходами воды реки Пскем**

Table 2

**Pairwise correlation coefficients between SCA and average monthly water  
discharges of the Pskem River**

	Баландлик зоналари, м						
	876-1376	1376-1876	1876-2376	2376-2876	2876-3376	3376-3876	3876-4376
$Q_{IV}=f(SCA_3)$	0,095	0,102	0,277	0,204	0,105	0,099	0,100
$Q_V=f(SCA_4)$	0,246	0,379	0,379	0,360	0,355	0,242	-0,279
$Q_{VI}=f(SCA_5)$	-0,019	0,064	0,619	0,702	0,633	0,546	0,449
$Q_{VII}=f(SCA_6)$	0,302	0,352	0,655	0,874	0,860	0,754	0,659
$Q_{VIII}=f(SCA_7)$	-0,042	0,238	0,160	0,574	0,741	0,634	0,556
$Q_{IX}=f(SCA_8)$	0,495	0,432	0,451	0,304	-0,025	0,289	0,190
$Q_{IV-XI}=f(SCA_3)$	0,126	0,178	0,332	0,231	0,095	0,086	0,088
$Q_{V-XI}=f(SCA_4)$	0,127	0,298	0,415	0,471	0,471	0,346	-0,026

Прогнозлаш регрессия тенгламаларини тузишда дарё оқими прогноз қилинаётган аввалги ойлардаги ўртача сув сарфи маълумотларидан ҳам фойдаланиш мумкин. Шу мақсадда ойлик ўртача сув сарфлари орасидаги жуфт корреляция коэффициентлари ҳам аниқланди (3-жадвал).

3-жадвал

**Писком дарёси ойлик ўртача сув сарфлари ўртасидаги жуфт корреляция коэффициентлари**

Таблица 3

**Коэффициенты парной корреляции между среднемесячными расходами воды реки Пскем**

Table 3

**Pairwise correlation coefficients between mean monthly water discharges of the Pskem River**

	Q <sub>II</sub>	Q <sub>III</sub>	Q <sub>IV</sub>	Q <sub>V</sub>	Q <sub>VI</sub>	Q <sub>VII</sub>	Q <sub>VIII</sub>	Q <sub>IX</sub>	Q <sub>IV-IX</sub>	Q <sub>V-IX</sub>
Q <sub>II</sub>		0,618	0,413	0,530	0,393	0,359	0,447	0,438	0,495	0,477
Q <sub>III</sub>	0,618		0,581	0,495	0,418	0,261	0,182	0,239	0,438	0,388
Q <sub>IV</sub>	0,413	0,581		0,586	0,483	0,475	0,347	0,411	0,638	0,542
Q <sub>V</sub>	0,530	0,495	0,586		0,706	0,529	0,444	0,548	0,772	0,752
Q <sub>VI</sub>	0,393	0,418	0,483	0,706		0,807	0,666	0,662	0,924	0,934
Q <sub>VII</sub>	0,359	0,261	0,475	0,529	0,807		0,843	0,775	0,918	0,929
Q <sub>VIII</sub>	0,447	0,182	0,347	0,444	0,666	0,843		0,840	0,816	0,837
Q <sub>IX</sub>	0,438	0,239	0,411	0,548	0,662	0,775	0,840		0,810	0,821
Q <sub>IV-IX</sub>	0,495	0,438	0,638	0,772	0,924	0,918	0,816	0,810		0,993
Q <sub>V-IX</sub>	0,477	0,388	0,542	0,752	0,934	0,929	0,837	0,821	0,993	

Юқоридаги эмпирик формулалар ёрдамида қор қопламининг дарё оқимиға боғлиқлиги текширилди ва жуфт корреляция коэффициентларининг юқори қийматлари танлаб олинди, улар асосида прогнозлаш регрессия тенгламасининг умумий ифодасини ҳосил қилиш мумкин [Eric et al., 2016]:

$$Q_n = a * SCI_{(n-1)(H_1-H_2)} + b * Q_{(n-1)} + c * SCA_{(n-1)} + d \quad (2)$$

бу ерда:  $SCI_{(n-1)(H_1-H_2)}$  - прогноз қилинадиган ойгача бўлган муддат учун қор қоплами индекси;  $(H_1 - H_2)$  – баландлик зонаси, м;  $Q_{(n-1)}$  – прогноз қилинаётган ойдан олдинги ўртача ойлик сув сарфи;  $SCA_{(n-1)}$  – оқими прогноз қилинаётган олдинги ойнинг қор қоплами майдони ўртача қиймати [Гафуров А. ва бошқ., 2020; Ниязов Дж. и др., 2020].

Шу билан бирга, регрессия тенгламаларида ойлик ўртача сув сарфлари орасидаги жуфт корреляция коэффициентларидан келиб чиққан ҳолда ойлик ўртача сув сарфлари айнан олдинги ойнинг ўртача сув сарфи эмас, балки бир неча ой олдинги ўртача ойлик сув сарфларидан ҳам фойдаланиш мумкин.

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Кўп ҳолларда кишлоқ хўжалиги ва гидроэнергетика каби сув истеъмолчиларини узоқ муддатли дарё оқими прогнозлари кизиқтиради. Вегетация давридаги дарё оқимини узоқ муддатли прогнозлаш гидрологик прогнозларнинг мураккаб масалаларидан бири ҳисобланади. Тадқиқот ишида 1-3-жадваллар маълумотлари асосида юқори жуфт корреляция коэффициентларидан фойдаланган ҳолда прогнозлаш регрессия тенгламалари тузилди. MODISнинг март ойи охиридаги қор қоплами маълумотлари асосида вегетация давридаги ҳар бир ой ва умумий даврдаги ўртача сув сарфи орасида ҳам корреляцион боғланишлар мавжудлиги аниқланди

ва бу маълумотлардан фойдаланган ҳолда вегетация давридаги ҳар бир ой ва умумий давр учун прогнозлаш тенгламалари тузилди.

Гидрологик прогнозларнинг энг асосий жиҳати – уларни ўзини оклаш даражаси ҳисобланади. Бу эса ўз навбатида прогнозлашда қўлланилган усулларни самарадорлигига боғлиқдир [Вайновский, Густоев, 2019]. Прогнозлаш усулининг самарадорлигини баҳолашда бир қанча усуллардан фойдаланиш мумкин. Прогнозлар самарадорлигини баҳолашда қуйидаги статистик кўрсаткичлардан фойдаланилди:

- 1) жуфт корреляция коэффиценти;
- 2) самарадорлик мезони (абсолют хатоликларнинг ўртача квадратик хатолиги –  $S/\sigma$ );
- 3) нисбий хатолик –  $E$ , %;
- 4) Неш-Сатклифф мезони – NSE (Nush Sutcliff effeciency).

1. Жуфт корреляция коэффиценти икки ўзгарувчи ўртасидаги тўғри чизиқли боғланишни акс эттиради. Биз кузатилган ва прогноз қилинган сув сарфлари орасидаги тўғри чизиқли боғланишни ҳам аниқладик. Бу ҳам ўз навбатида тузилган прогнозларнинг ҳақиқий қийматларга қанчалик яқин эканлигини ифодалай олади:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(Q_i - \bar{Q}) \cdot (Q_i^P - \bar{Q}^P)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i^P - \bar{Q}^P)^2}} \quad (3)$$

бу ерда:  $Q_i$  – кузатилган сув сарфи;  $Q_i^P$  – прогноз қилинган сув сарфи;  $\bar{Q}$  – кузатилган сув сарфларининг ўртача арифметик қиймати;  $\bar{Q}^P$  – прогноз қилинган сув сарфларининг ўртача арифметик қиймати [Biondi et al., 2012]. Жуфт корреляция коэффиценти қийматлари 0 ва 1 оралиғида ўзгаради ва қуйидаги мезон бўйича баҳоланади (4-жадвал).

4-жадвал

**Жуфт корреляция коэффиценти баҳолаш мезонлари**

Таблица 4

**Показатели критерия эффективности**

Table 4

**Criteria of pairwise correlation coefficients**

Жуда юқори	Юқори	Ўртача	Кучсиз	Жуда кучсиз
1 ≥ P > 0,9	0,9 ≥ P > 0,7	0,7 ≥ P > 0,5	0,5 ≥ P > 0,3	0,3 ≥ P > 0

2. Гидрологик прогнозлаш усули ёки услубининг самаралилиги мезони –  $S/\sigma$  қуйидагича аниқланади.

Гидрологик прогнозлар абсолют хатоликларининг ўртача квадратли фарқи

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Q - Q^P)^2}{n}} \quad (4)$$

бу ерда:  $Q$  – кузатилган гидрологик катталиқ;  $Q^P$  – башорат қилинган гидрологик катталиқ. Прогноз қилинаётган гидрологик катталиқнинг амалда кузатилган миқдорларининг ўртача квадратли фарқи ҳисобланади:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Q - \bar{Q})^2}{n}} \quad (5)$$

ифодада  $Q$  – прогноз қилинаётган катталиқнинг кузатиш қийматлари;  $\bar{Q}$  – кузатиш қийматлардан ташкил топган қаторнинг ўртача арифметик қиймати [Георгиевский, Шаночкин, 1987].

Шу нисбатнинг қийматига боғлиқ ҳолда гидрологик прогнозлаш усули қуйидаги сифат кўрсаткичлари прогноз қилинадиган қаторлар сонига боғлиқ ҳолда қуйидагича баҳоланади (5-жадвал).

3. Нисбий хатолик мезони прогноз қилинган катталиқнинг кузатиш қийматидан фарқини фоиз нисбатда четлашишини ифодалайди ва қуйидаги ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$E = \frac{Q^P - Q}{Q} \times 100\% \quad (6)$$

бу ерда:  $Q$  – кузатиш қиймати;  $Q^P$  – прогноз қилинган сув сарфи қиймати [Георгиевский, Шаночкин, 1987].

5-жадвал

#### Самаралилик мезони кўрсаткичлари

Таблица 5

#### Показатели критерия эффективности

Table 5

#### Indicators of efficiency criteria

Қаторлар сони	Яхши	Қониқарли	Қониқарсиз
$n \leq 15$	$S/\sigma \leq 0,40$	$0,40 < S/\sigma \leq 0,70$	$S/\sigma \geq 0,70$
$15 < n \leq 25$	$S/\sigma \leq 0,45$	$0,45 < S/\sigma \leq 0,75$	$S/\sigma \geq 0,75$
$n \geq 25$	$S/\sigma \leq 0,50$	$0,50 < S/\sigma \leq 0,80$	$S/\sigma \geq 0,80$

4. Неш-Сатклифф мезони (Nash-Sutcliffe efficiency) хорижда гидрологик ҳисоблашлар ва моделлаштиришда кенг фойдаланиладиган мезон ҳисобланади. Мазкур кўрсаткич прогноз қилинган ва кузатиш қийматларни таққослаш тамойилига асосланган бўлиб, у қуйидаги ифода ёрдамида ҳисобланади [Biondi et al., 2012; Nahat, 2015].

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Q^P - Q)^2}{\sum (Q - \bar{Q})^2} \quad (7)$$

бу ерда:  $Q$  – кузатиш қиймати;  $Q^P$  – прогноз қилинган сув сарфи қиймати;  $\bar{Q}$  – кузатиш қийматларининг ўртача арифметик қиймати [Nahat, 2015]. Унинг қийматлари -1 ва 1 оралиқда ўзгаради ва қуйидагича баҳоланади (6-жадвал).

Гидрологик прогнозлар бўйича қўлланмага асосан гидрологик прогнозларнинг тўғри чиққанлиги ҳақидаги хулоса прогнознинг абсолют хатолиги ( $\delta$ ) билан йўл қўйилиши мумкин бўлган хатолик ( $\delta_m$ )ни солиштириш орқали амалга оширилади. Агар  $\delta \leq \delta_m$  шarti бажарилса, берилган прогноз тўғри чиққан, акс ҳолда, яъни  $\delta > \delta_m$  бўлганда эса нотўғри ҳисобланади. Гидрологик прогнознинг йўл қўйилиши мумкин бўлган хатолиги ( $\delta_m$ ) эса қуйидагича аниқланади:  $\delta_m = 0,674\sigma$ .

6-жадвал

## Неш-Сатклифф мезони бўйича баҳолаш кўрсаткичлари

Таблица 6

## Параметры оценки по критерию Неша-Сатклиффа

Table 6

## Evaluation parameters according to the Nash-Sutcliffe criterion

Жуда яхши	Яхши	Қониқарли	Қониқарсиз
$0,75 < NSE \leq 1,00$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$NSE \leq 0,50$
$-0,75 \geq NSE \geq -1,00$	$-0,65 \geq NSE \geq -0,75$	$-0,50 \geq NSE \geq -0,65$	$NSE \geq -0,50$

Прогнозларнинг ўзини оқлаш даражаси – Р ни ҳисоблашда йўл қўйилиши мумкин бўлган хатоликкача бўлган четлашишлар ҳисобланган прогнозларни ўзини оқлаган, деб қабул қилинади:

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100\% \quad (8)$$

бу ерда:  $m$  – тўғри чиққан прогнозлар сони;  $n$  – умумий прогнозлар сони [Георгиевский, Шаночкин, 1987]. Прогнозларнинг ўзини оқлаши фоизларда ифодаланиб, прогнозларнинг муддатига боғлиқ ҳолда қуйидагича баҳоланади (7-жадвал).

7-жадвал

## Прогнозларнинг ўзини оқлаш даражасига кўра баҳолаш кўрсаткичлари

Таблица 7

## Параметры оценки прогнозов по оправдываемости

Table 7

## Evaluation parameters according to forecast success rate

	Қисқа муддатли прогнозлар	Узоқ муддатли прогнозлар
Аъло	$R > 90$	$R > 90$
Яхши	$87 < R < 93$	$84 < R < 90$
Қониқарли	$80 < R < 87$	$75 < R < 84$
Қониқарсиз	$R < 80$	$R < 75$

MODSNOW маълумотлари асосида ҳисобланган қор қоплами индекси бўйича прогнозлаш усулидан фойдаланиб 2001-2021 йиллар даври бўйича узоқ муддатли прогнозлар яъни, бутун вегетация даври ва ундаги ҳар бир ой учун прогнозлар тузилди. Прогнозлаш дастлаб вегетация даври бошланишидан олдинги (март ойи охиридаги) маълумотларга асосланган ҳолда бажарилди, прогнозлар кузатилган ҳақиқий қийматлар билан таққосланиб прогнозлаш усулининг самаралилиги юқоридаги мезонлар асосида аниқланди (8-жадвал).

Шунингдек, прогнозлаш ҳар ойдаги янгиланган маълумотларга асосланган ҳолда ҳам бажарилди ва прогнозлар кузатилган ҳақиқий қийматлар билан таққосланиб, прогнозлаш усулининг самаралилиги юқоридаги мезонлар асосида аниқланди (9-жадвал).

**Хулоса.**

1. Писком дарёси ойлик ўртача сув сарфлари бўйича тузилган прогнозлаш регрессия тенгламалари самарадорлиги май, июнь, июль ойлари учун юқори бўлди ва

прогноزلарнинг ўзини оқлаши 62-95% ни ташкил этган бўлса, фақат март ойи охиридаги маълумотлардан фойдаланиб бажарилган прогноزلарда ўзини оқлаш даражаси 62-90% ни ташкил этди.

8-жадвал

**MODSNOW маълумотлари асосида ҳисобланган қор қоплами индекси  
бўйича тузилган прогноزلар самарадорлиги  
(март ойи охиридаги қор қоплами маълумотлари бўйича)**

Таблица 8

**Эффективность прогнозов на основе индекса снежного покрова,  
рассчитанного по данным MODSNOW  
(по данным о снежном покрове на конец марта)**

Table 8

**The effectiveness of forecasts based on the snow cover index calculated by MODSNOW  
data (according to snow cover data at the end of March)**

Ойлик прогноزلар	Мезонлар				P, %
	R	S/σ	NSE	E, %	
$Q_{IV}=1,556SCI_{10-3(2376-2876)}+0,717Q_3+1,203SCA_{3(2376-2876)}+195,3$	0,72	0,69	0,52	16,1	61,9
$Q_V=0,624SCI_{10-3(2376-2876)}+3,052Q_2+0,825SCA_{3(1876-2376)}-60,4$	0,74	0,67	0,55	11,9	71,4
$Q_{VI}=2,289SCI_{10-3(2376-2876)}+2,268Q_3+2,398SCA_{3(1876-2376)}-319,1$	0,82	0,58	0,67	8,6	90,5
$Q_{VII}=2,863SCI_{10-3(2876-3376)}+1,714Q_3+3,089SCA_{3(1876-2376)}-452,3$	0,74	0,67	0,55	13,9	76,2
$Q_{VIII}=1,39SCI_{10-3(2876-2376)}+0,517Q_3+1,287SCA_{3(1876-2376)}-169,8$	0,63	0,78	0,40	14,8	61,9
$Q_{IX}=0,332SCI_{10-3(3376-3876)}+1,029Q_3+0,375SCA_{3(1876-2376)}-32,8$	0,60	0,80	0,37	13,5	66,7

**Изоҳ:** R-жуфт корреляция коэффициентини, S/σ-самарадорлик мезони, NSE-Неш Сатклифф мезони, E-нисбий хатолик, P-оқланиши, %

9-жадвал

**MODSNOW маълумотлари асосида ҳисобланган қор қоплами индекси  
бўйича тузилган прогноزلар самарадорлиги**

Таблица 9

**Эффективность прогнозов на основе индекса снежного покрова,  
рассчитанного по данным MODSNOW**

Table 9

**The effectiveness of forecasts based on the snow cover index calculated by  
MODSNOW data**

Ойлик прогноزلар	Мезонлар				P, %
	R	S/σ	NSE	E, %	
$Q_{IV}=1,556SCI_{10-3(2376-2876)}+0,717Q_3+1,203SCA_{3(2376-2876)}+195,3$	0,72	0,69	0,52	16,1	61,9
$Q_V=0,526SCI_{10-4(2376-2876)}+3,136Q_2+0,573SCA_{4(2376-2876)}+14,8$	0,79	0,61	0,62	8,2	66,7
$Q_{VI}=0,078SCI_{10-5(2376-2876)}+1,138Q_5+1,05SCA_{4(2376-2876)}+53,7$	0,87	0,50	0,75	8,9	81,0
$Q_{VII}=1,295SCI_{10-6(2876-3376)}+0,827Q_6+5,714SCA_{4(2876-3376)}-49,1$	0,96	0,27	0,93	6,6	95,2
$Q_{VIII}=0,705SCI_{10-7(2876-3376)}+0,324Q_7+2,41SCA_{3(2876-3376)}+3,2$	0,83	0,56	0,68	11,6	76,2
$Q_{IX}=0,156SCI_{10-8(3376-3876)}+0,165Q_8+49,032SCA_{3(3376-3876)}+6,3$	0,84	0,54	0,71	9,8	81,0
<b>Вегетация даври учун прогноз (март ойи охиридаги маълумотлар бўйича)</b>					
$Q_{IV-IX}=1,533SCI_{10-3(2376-2876)}+1,094Q_3+1,657SCA_{3(1876-2376)}-212,6$	0,80	0,60	0,64	8,9	85,7
<b>Май-сентябрь ойлари учун прогноз (апрель ойи охиридаги маълумотлар бўйича)</b>					
$Q_{V-IX}=1,523SCI_{10-3(2876-3376)}+1,17Q_3+1,748SCA_{3(1876-2376)}-216,1$	0,88	0,48	0,77	7,8	85,7

**Изоҳ:** R-жуфт корреляция коэффициентини, S/σ-самарадорлик мезони, NSE- Неш Сатклифф мезони, E-нисбий хатолик, P-оқланиши, %

2. Тузилган регрессия тенгламалари асосида 2001-2021 йиллар учун прогнозлар тайёрланди ва прогнозларнинг самаралилиги турли мезонлар ёрдамида баҳоланди, прогнозларнинг ўзини оқлаш даражаси аниқланди.

3. Писком дарёсининг тўйинишида қор қопламанинг ҳиссаси катта бўлганлиги сабабли юқоридаги прогнозлаш тенгламаларидан илмий ва амалий мақсадларда, хусусан, дарё оқимини прогнозлашда фойдаланиш мумкин.

4. Дарё оқими бошқарувини оптималлаштиришда хусусан, дарёда барпо этилаётган сув омбори ва ГЭС фаолиятини самарали ташкил этишда, экстремал сувли йилларда зарур чора тadbирларни кўриш каби масалаларда прогнозларнинг аҳамияти жуда юқори.

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

## АДАБИЁТЛАР

*Вайновский П.А., Густоев Д.В.* Учебный практикум «Статистическое прогнозирование гидрометеорологических временных рядов», сост. РГГМУ – СПб., 2019. – 240 с.

*Гафуров А.А., Ахмедова Т.А., Тургунов Д.М., Гафуров А.А.* Қор қоплами динамикасини масофадан зондлаш орқали дарё оқимини прогнозлаш масалалари (Яккабоғдарё мисолида) // Ўзбекистон География жамияти ахбороти. 58-жилд. 2020. – Б. 220-225.

*Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В.* Прогнозы стока горных рек. Текст лекций. – Л.: Изд. ЛПИ, 1987. – 55 с.

*Калашикова О.Ю., Гафуров А.А.* Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын // Лёд и Снег, 2017. № 4. – С. 507-517.

*Калашикова О.Ю., Гафуров А.А., Оморова Э.А.* Прогноз водности реки Нарын на месяцы вегетации на основе снимков MODIS // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 3, 2020. DOI:10.26104/NNTIK.2019.45.557

*Ниязов Дж. Б., Калашикова О. Ю., Гафуров А. А.* Методика прогноза водности высокогорных рек Центральной Азии на основе снимков MODIS // Центральноазиатский журнал исследований воды. 2020 – № 6(2). – С. 26-37.

*Шулц В.Л., Маиранов Р.* Ўрта Осиё гидрографияси. – Тошкент: Ўқитувчи. 1969. – 327 б.

*Biondi D., Gabriele F., Iacobellis V., Mascaro G., Montanari A.* Validation of hydrological models: Conceptual basis, methodological approaches and a proposal for a code of practice // Physics and Chemistry of the Earth, 2012. – PP. 70-76.

*Eric A.S., Kerr T., Nelson C.O., Aspe D.L.* Developing a Snowmelt Forecast Model in the Absence of Field Data // Water Resources Management. 2016. doi 10.1007/s11269-016-1271-4

*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., Kalashnikova O., Apel H.* Hydrological forecast based on the snow cover index, derived from basin-wide and elevation specific remote sensing snow cover data in mountainous basins // Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly Vol. 21, 2019. – EGU2019-12817.

*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 2016 (75):1078 doi 10.1007/s12665-016-5869-x

*Nahat A.* Hydrological forecasting in catchments with glaciers. Norwegian University of Science and Technology. Master thesis. 2015. – 254 p.

*Rango A., Salomonson V., Foster J.* Seasonal streamflow estimation in the Hymalayan region employing meteorological satellite snow cover observations. // Water Resources Research. 1977. Vol. 13. N. 1. – PP. 109–112.

Riggs G., Hall D. MODIS Snow Cover Algorithms and Products – Improvements for Collection 6. 68th Eastern Snow Conference McGill University, Montreal, Quebec, Canada 2011. – PP. 163–171.

## ПРОГНОЗ СТОКА РЕКИ ПСКЕМ НА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Д.У. ЯРАШЕВ<sup>1</sup>, А.А. ГАФУРОВ<sup>2</sup>, А.А. ГАФУРОВ<sup>3</sup>, Г.У. УМИРЗАКОВ<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, dyarashev0896@gmail.com

<sup>2</sup> Немецкий Исследовательский Центр наук о Земле, Потсдам, gafurov@gfz-potsdam.de

<sup>3</sup> Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, akmal.a.gafurov@gmail.com

<sup>4</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, g.umirzakov@gmail.com

**Аннотация.** В статье изучены возможности долгосрочного прогнозирования стока горных рек за вегетационный период по данным динамики снежного покрова MODIS на примере реки Пскем. В работе разработаны уравнения регрессии прогнозирования на основе значений индекса снежного покрова, рассчитанных по данным дистанционного зондирования MODIS, и прогнозирован сток реки Пскем за вегетационный период. Оценена степень оправданности и эффективности прогнозов по различным принятым критериям.

**Ключевые слова:** речной сток, прогноз стока, вегетационный период, дистанционное зондирование, снежный покров, индекс снежного покрова, MODIS, уравнение регрессии, эффективность прогноза, NSE, относительная ошибка.

## FORECASTING RUNOFF OF PSKEM RIVER FOR VEGETATION PERIOD BASED ON SNOW COVER MONITORING

D.U. YARASHEV<sup>1</sup>, A.A. GAFUROV<sup>2</sup>, A.A. GAFUROV<sup>3</sup>, G.U. UMIRZAKOV<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, dyarashev0896@gmail.com

<sup>2</sup> GFZ German Research Centre for Geosciences (GFZ Potsdam), gafurov@gfz-potsdam.de

<sup>3</sup> Center of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, akmal.a.gafurov@gmail.com

<sup>4</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, g.umirzakov@gmail.com

**Abstract.** The article studies possibilities of long-term forecasting of mountain river runoff for vegetation period by using MODIS snow cover dynamics as an example Pskem River. In this work, forecasting regression equations were developed based on snow cover index estimated by MODIS remote sensing data, and the runoff of the Pskem River for vegetation period was predicted. Forecast performance and efficiency was evaluated according to various accepted criteria.

**Keywords:** river runoff, runoff forecast, vegetation period, remote sensing, snow cover, snow cover index, MODIS, regression equation, performance criterion, NSE, relative error.

## REFERENCES

Gafurov A.A., Axmedova T.A., Turg'unov D.M., Gafurov A.A. Qor qoplami dinamikasini masofadan zondlash orqali daryo oqimini prognozlash masalalari (Yakkabog'daryo misolida) [Special issues on river runoff prediction and dynamics of the snow cover using remote sensing data (case study of Yakkabagdarya river)] // O'zbekiston Geografiya jamiyati axboroti, 58-jild, 2020, № 1. – B. 220-225. (in Uzbek)

Georgievskiy Yu.M., Shanochkin S.V.- Prognozy stoka gornyx rek [Forecast runoff mountain rivers]. – L.: Izd. LPI, 1987. – 55 s. (in Russian)

Kalashnikova O.Yu., Gafurov A.A. Ispolzovanie nazemnyx i sputnikovyx dannyx o snejnom pokrove dlya prognoza stoka reki Naryn [Water availability forecasting for Naryn River using ground-based and satellite snow cover data] // Lyod i Sneg, 2017. – S. 507-517. (in Russian)

*Kalashnikova O.Yu., Gafurov A.A., Omorova E.A. Prognoz vodnosti reki Naryn na mesyasy vegetatsii na osnove snimkov MODIS [MODIS snow cover for the forecasting water availability on the high water season of the Naryn river] // Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana 2020 № 3. – S. 14-18. (in Russian)*

*Shuls V.L., Mashrapov R. O'rta Osiyo gidrografiyasi [Hydrography of Central Asia]. – Toshkent: O'qituvchi, 1969. – 327 b. (in Uzbek)*

*Vaynovskiy P.A., Gustoev D.V. Statisticheskoe prognozirovanie gidrometeorologicheskix vremennyx ryadov. Uchebnyy praktikum [Statistical forecasting of hydrometeorological time series. Practicals], RGGMU – SPb., 2019. – 240 s. (in Russian)*

**УДК: 551.578**

## **ИҚЛИМ ЎЗГАРИШИНИНГ ОҲАНГАРОН ДАРЁСИ ҲАВЗАСИДАГИ ҚОР ҚОПЛАМИ ДИНАМИКАСИГА ТАЪСИРИ**

**Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>, Ж.К. МАХМУДОВ<sup>1\*</sup>, А.Ж. МАМАРАИМОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, jahongirmahmud@mail.ru

**Аннотация:** Мақолада Оҳангарон дарё ҳавзасининг тоғли қисмида метеорологик кўрсаткичлар ва қор қоплами ўзгаришлари динамикаси таҳлил қилинган. Ҳавзадаги Дуқант метеорология станцияси ва Қамчиқ қор кўчки станцияларининг 1991-2020 йиллардаги маълумотлари таҳлили натижасида ўртача йиллик ҳаво ҳароратининг кўтарилаётганлиги ва ёгинлар миқдорининг камаётганлиги аниқланган. Ҳавзанинг тоғли қисмида қор қопламли кунларнинг камайиб бораётганлиги кузатишмоқда. MODIS сунъий йўлдоши маълумотларини MODSNOW-Tool дастурида қайта ишлаш асосида 2000-2020 йилларда 31 март ҳолатига қор қоплами майдонининг ўзгаришлари кўриб чиқилган.

**Калит сўзлар:** қор қоплами, ҳаво ҳарорати, ёгинлар миқдори, иқлим ўзгариши, MODIS, MODSNOW, Оҳангарон дарёси, дарё ҳавзаси.

**Кириш.** Дунёда дарёлар сув оқимининг ҳосил бўлишида мавсумий қор қопламининг аҳамияти катта. Замонавий иқлим ўзгариши шароитида сўнгги ўн йилликда бутун Евросиё бўйлаб қор қопламининг майдонлари ва қор билан қопланганлик даврининг давомийлиги сезиларли даражада қисқармоқда [Второй..., 2014]. Шу сабабли, дунёда қор қоплами динамикасини ўрганиш, қор қоплами майдонини ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришга катта эътибор қаратилмоқда. Жумладан, чет эллик А.В.Погорелов (2001), W.Immerzeel et al. (2010), J.Adam et al. (2009), I.D.Dobrev (2011); A.G.Klein (2011), С.Е.Woodcock (2014), W.W.Immerzeel et al. (2010) ва бошқа тадқиқотчилар томонидан иқлим ўзгариши шароитида қор қоплами динамикасининг ўзгаришларини турли ҳавзалар мисолида ўрганилган.

Маълумки, Ўзбекистон ва унга туташ бўлган тоғли ҳудудларда шаклланадиган дарёларнинг асосий сув манбаи қорларнинг эриши ҳисобланади. Ўрта Осиё тоғ дарё ҳавзалари мисолида қор қоплами динамикаси ўзгаришини тадқиқ этишни такомиллаштириш масалалари ўтган асрнинг 70-90-йилларида Г.Е.Глазырин, Б.К.Царёв, М.И.Геткер, В.Н.Шамсутдинов, Е.Г.Какурина, Ф.И.Перцигер ва бошқа олимлар томонидан ўрганилган. Сўнгги йилларда Ўрта Осиё минтақасида қор қопламини сунъий йўлдош ёрдамида масофадан зондашда MODSNOW дастуридан фойдаланишга катта эътибор берилмоқда [Mamaraimov et al., 2022]. Юқорида келтирилган тадқиқотларда Оҳангарон дарё ҳавзасида иқлим ўзгариши шароитида қор қопламининг ўзгариш динамикаси ўрганилмаган.

\* Масъул муаллиф: jahongirmahmud@mail.ru, тел.: +998 94 620-86-08