

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ХИЗМАТИ МАРКАЗИ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ВА АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

ИЛМИЙ ЖУРНАЛ

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ  
И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**HYDROMETEOROLOGY  
AND ENVIRONMENTAL MONITORING**

SCIENTIFIC JOURNAL

№4

2022

ISSN 2181-1261

Ўзбекистон Республикаси  
Гидрометеорология хизмати маркази  
(Ўзгидромет)

Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти  
(ГМИТИ)

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ  
ВА АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ**

Илмий журнал



**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ  
И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Научный журнал



**HYDROMETEOROLOGY  
AND ENVIRONMENTAL MONITORING**

Scientific journal

**№ 4  
2022**

Тошкент

## ТАХРИР КЕНГАШИ

### Тахрир кенгаши раиси:

Ҳабибуллаев Шерзод  
Ҳабибуллаҳўжаевич

### Масъул котиб:

Рўзиева Малоҳат Бахтиёрвна

### Тахрир кенгаши аъзолари:

Тажиев Баходир Саъдуллаевич  
Алихонов Борий Ботирович  
Абдурахманов Иброҳим Юлчиевич  
Хамраев Шавкат Раҳимович  
Нишонов Баҳриддин Эркинович

## ТАХРИР ҲАЙЪАТИ

### Бош муҳаррир:

Холматжанов Бахтияр Маҳаматжанович,  
г.ф.д.

### Бош муҳаррир ўринбосари:

Ҳикматов Фазлиддин,  
г.ф.д., проф.

### Тахрир ҳайъати аъзолари:

Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич, ф.-м.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Аденбаев Бахтиёр Ембергенович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Агзамов Файзулла Саидакбарович, и.ф.н. (Ўзбекистон); Азизов Азамат Атакузиевич, к.ф.н., доц. (Ўзбекистон); Азизова Раъно Гаффаровна, к.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Арушанов Михаил Львович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Аҳмедова Тамара Абдурахимовна, тех.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Бабушкин Олег Леонидович, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Верещагина Наталья Григорьевна, к.ф.н. (Ўзбекистон); Гуния Гарри Сергеевич, ф.-м.ф.д., г.ф.д., проф. (Грузия); Гушина Дарья Юрьевна, г.ф.д. (Россия); Дергачёва Ирина Викторовна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Камалов Баходир Асамович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Карандаева Лидия Михайловна, тех.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Мамаджанова Гавхар Аҳматхоновна, ф.-м.ф.д. (Ўзбекистон); Мурадов Шухрат Одилович, тех.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Мягков Сергей Владимирович, тех.ф.д., к.и.х. (Ўзбекистон); Нишонов Мухтор Мадаминович, ф.-м.ф.н., доц. (Ўзбекистон); Петров Юрий Васильевич, ф.-м.ф.н., проф. (Ўзбекистон); Рахмонов Комилжон Раджабович, г.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Рафиков Ваҳоб Асомович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Тилляходжаева Зухраҳон Джахангировна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Тлеумуратова Бибигуль Сариевна, ф.-м.ф.д. (Ўзбекистон); Тургунов Данияр Маннапжанович, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Умаров Мухаммад Исмадуллаевич, қ.х.ф.н. (Ўзбекистон); Умирзақов Ғуломжон Ўнгарбоевич, қ.х.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Холбаев Гулман Холбаевич, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Фазилов Али Раҳматджанович, тех.ф.д., доц. (Тожикистон); Фролова Наталья Леонидовна, г.ф.д., проф. (Россия); Цинцадзе Тенгиз Нодарович, тех.ф.д., проф. (Грузия); Чембарисов Эльмир Исмаилович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Чередниченко Александр Владимирович, г.ф.д., проф. (Қозғоғистон); Чуб Виктор Евгеньевич, г.ф.д. (Ўзбекистон); Эгамбердиев Хамракул Турсункулович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Юнусов Голиб Ходжаевич, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Якубов Мурод Адилевич, тех.ф.д., проф. (Ўзбекистон).

Журналда чоп этилган материаллардан фойдаланилганда “Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги” илмий журналдан олинди”, деб кўрсатилиши шарт. Мақолада келтирилган далиллар ва маълумотлар учун муаллифлар жавобгар. Тахририят тақриздан ўтмаган мақолаларни қайтариш мажбуриятини олмага.

Журналнинг электрон шаклида жойлаштирилган барча материаллар нашр қилинган ҳисобланади ва муаллифлик ҳуқуқи объекти саналади.

“Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги” илмий журнали Ўзбекистон Республикаси Президенти Администрацияси ҳузуридаги Ахборот ва оммавий коммуникациялар агентлиги томонидан 2020 йил 6 июлда №1083-сон Гувоҳнома билан Оммавий ахборот воситаси давлат рўйхатидан ўтказилган.

“Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги” илмий журнали Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2021 йил 30 апрелдаги 296/5-сон қарори билан 01.00.00 – Физика-математика фанлари, 06.00.00 – Қишлоқ хўжалиги фанлари ва 11.00.00 – География фанлари бўйича диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхатига киритилган.

**Таъсисчи:** Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази

**Тахририят манзили:** Ўзбекистон, 100052, Тошкент шаҳри, Юнусобод тумани, Бодомзор йўли 1-тор кўча, 72. Тел.: +998 71 235-87-59; e-mail: info@nigmi.uz

ISSN 2181-1261

© Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази, 2022

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

### Председатель редакционного совета:

Хабибуллаев Шерзод  
Хабибуллахужаевич

### Ответственный секретарь:

Рузиева Малохат Бахтиёровна

### Члены редакционного совета:

Тажиев Баходир Саъдуллаевич  
Алихонов Борий Ботирович  
Абдурахманов Иброхим Юлчиевич  
Хамраев Шавкат Рахимович  
Нишонов Бахриддин Эркинович

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Главный редактор:

Холматжанов Бахтияр Махаматжанович,  
д.г.н.

### Заместитель главного редактора:

Хикматов Фазлиддин,  
д.г.н., проф.

### Члены редакционной коллегии:

Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич, д.ф.-м.н., проф. (Узбекистан); Аденбаев Бахтиёр Ембергенович, д.г.н, доц. (Узбекистан); Агзамов Файзулла Саидакбарович, к.э.н. (Узбекистан); Азизов Азамат Атакузиевич, к.х.н., доц. (Узбекистан); Азизова Раъно Гаффаровна, к.х.н., с.н.с. (Узбекистан); Арушанов Михаил Львович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Ахмедова Тамара Абдурахимовна, к.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Бабушкин Олег Леонидович, к.г.н., с.н.с. (Узбекистан); Верещагина Наталья Григорьевна, к.х.н. (Узбекистан); Гуния Гарри Сергеевич, д.ф.-м.н., д.г.н., проф. (Грузия); Гущина Дарья Юрьевна, д.г.н. (Россия); Дергачёва Ирина Викторовна, д.ф.г.н. (Узбекистан); Камалов Баходир Асамович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Карандаева Лидия Михайловна, к.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Мамаджанова Гавхар Ахматхоновна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Мурадов Шухрат Одилович, д.т.н., проф. (Узбекистан); Мягков Сергей Владимирович, д.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Нишонов Мухтор Мадаминвич, к.ф.-м.н., доц. (Узбекистан); Петров Юрий Васильевич, к.ф.-м.н., проф. (Узбекистан); Рахмонов Комилжон Раджабович, д.ф.г.н., доц. (Узбекистан); Рафиков Вахоб Асомович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Тилляходжаева Зухраhon Джахангиронна, д.ф.г.н. (Узбекистан); Глеумуратова Бибигуль Сарibaевна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Тургунов Данияр Маннапжанович, д.ф.г.н. (Узбекистан); Умаров Мухаммад Исматуллаевич, к.с.х.н. (Узбекистан); Умирзаков Гуломжон Унгарбаевич, д.ф.с.-х.н. (Узбекистан); Холбаев Гулман Холбаевич, к.г.н., с.н.с. (Узбекистан); Фазылов Али Рахматджанович, д.т.н., доц. (Таджикистан); Фролова Наталья Леонидовна, д.г.н., проф. (Россия); Цинцадзе Тенгиз Нодарович, д.т.н., проф. (Грузия); Чембарисов Эльмир Исмаилович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Чередниченко Александр Владимирович, д.г.н., проф. (Казахстан); Чуб Виктор Евгеньевич, д.г.н. (Узбекистан); Эгамбердиев Хамракул Турсункулович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Юнусов Голиб Ходжаевич, д.г.н., доц. (Узбекистан); Якубов Мурод Адilович, д.т.н., проф. (Узбекистан).

При использовании материалов, опубликованных в журнале, следует указать «взяты из научного журнала «Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды». Авторы несут ответственность за факты и информацию, представленные в статье. Редакция не берет на себя обязательство возвращения статей, не прошедших рецензирование.

Все материалы, размещенные в электронном варианте журнала, считаются опубликованными и являются объектами авторского права.

Научный журнал «Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды» зарегистрирован в Государственном реестре средств массовой информации Свидетельством №1083 Агентства информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан от 6 июля 2020 г.

Постановлением Президиума Высшей аттестационной комиссии Республики Узбекистан №296/5 от 30 апреля 2021 г. научный журнал «Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды» включен в перечень научных изданий для публикации основных научных результатов диссертаций по направлениям 01.00.00 – Физико-математические науки, 06.00.00 – Сельскохозяйственные науки и 11.00.00 – Географические науки.

**Учредитель:** Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан.

**Адрес редакции:** Узбекистан, 100052, г. Ташкент, Юнусабадский район, ул. 1-й проезд Бодомзор йули, 72. Тел.: +998 71 235-87-59; e-mail: info@nigmi.uz

ISSN 2181-1261

© Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, 2022

## EDITORIAL COUNCIL

### Chairman of the Editorial Council:

Sherzod Khabibullakhujaevich  
Khabibullaev

### Assistant Editor:

Ruzieva Malokhat Bakhtiyorovna

### Members of the Editorial Council:

Bakhodir Sadullaevich Tajiev  
Boriy Botirovich Alikhonov  
Ibrohim Yulchievich Abdurakhmanov  
Shavkat Rakhimovich Khamraev  
Bakhriddin Erkinovich Nishonov

## EDITORIAL BOARD

### Editor-in-Chief:

Bakhtiyar Makhmatjanovich Kholmatjanov,  
*D.Sc. in Geog.*

### Deputy Editor-in-Chief:

Fazliddin Khikmatov,  
*D.Sc. in Geog., Prof.*

### Members of the Editorial Board:

**Bakhtiyor Fayzievich Abdurakhimov**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Bakhtiyor Emberganovich Adenbaev**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Fayzulla Saydakbarovich Agzamov**, *Ph.D. in Econ. Sci. (Uzbekistan)*; **Azamat Atakuzievich Azizov**, *Ph.D. in Chem. Sci. (Uzbekistan)*; **Rano Gaffarovna Azizova**, *Ph.D. in Chem. Sci. (Uzbekistan)*; **Mikhail Lvovich Arushanov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Tamara Abdurakhimovna Akhmedova**, *Ph.D. in Tech. Sci. (Uzbekistan)*; **Oleg Leonidovich Babushkin**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Natalya Grigoryevna Vereshchagina**, *Ph.D. in Chem. Sci. (Uzbekistan)*; **Garry Sergeevich Gunia**, *D.Sc. in Phys. & Math. & Geog. (Georgia)*; **Darya Yuryevna Gushchina**, *D.Sc. in Geog. (Russia)*; **Irina Viktorovna Dergacheva**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Bakhodir Asamovich Kamalov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Lidiya Mikhaylovna Karandaeva**, *Ph.D. in Tech. Sci. (Uzbekistan)*; **Gavkhar Akhmatkxonovna Mamadjanova**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Shukhrat Odilovich Muradov**, *D.Sc. in Tech. (Uzbekistan)*; **Sergey Vladimirovich Myagkov**, *D.Sc. in Tech. (Uzbekistan)*; **Mukhtor Madaminovich Nishonov**, *Ph.D. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Yuriy Vasilyevich Petrov**, *Ph.D. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Komiljon Radjabovich Rakhmonov**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Vakhob Asomovich Rafikov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Zukhrakhon Djakhangirovna Tillyakhodjaeva**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Bibigul Saribaevna Tleumuratova**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Daniyar Mannapjanovich Turgunov**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Muxammad Ismatullayevich Umarov**, *Ph.D. in Agricult. Sci. (Uzbekistan)*; **Gulomjon Ungarbaevich Umirzakov**, *Ph.D. in Agri. Sci. (Uzbekistan)*; **Gulman Kholbaevich Kholbaev**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Ali Rakhmatjanovich Fazylov**, *D.Sc. in Tech. (Tajikistan)*; **Natalya Leonidovna Frolova**, *D.Sc. in Geog. (Russia)*; **Tengiz Nodarovich Tsintsadze**, *D.Sc. in Tech. (Georgia)*; **Elmir Ismailovich Chembarisov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Alexandr Vladimirovich Cherednichenko**, *D.Sc. in Geog. (Kazakhstan)*; **Viktor Evgenievich Chub**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Khamrakul Tursunkulovich Egamberdiev**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Golib Khodjaevich Yunusov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Murod Adilovich Yakubov**, *D.Sc. in Tech. (Uzbekistan)*.

When using materials published in the journal, it should be noted that they are "taken from the Scientific journal "Hydrometeorology and Environmental Monitoring". The authors are responsible for the evidence and information presented in the article. The Editorial Board does not undertake obligation to return the articles that have not passed peer review.

All materials posted in the electronic form of the journal are considered as published and protected for copyright.

The Scientific journal "Hydrometeorology and Environmental Monitoring" is registered in the State Register of Mass Media by Certificate No. 1083 of the Agency of Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan dated July 6, 2020.

By the Decree of the Presidium of Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan No. 296/5 dated April 30, 2021, the Scientific journal "Hydrometeorology and Environmental Monitoring" is included in the list of scientific publications for the publication of the main scientific results of dissertations in the areas 01.00.00 – Physical and mathematical sciences, 06.00.00 – Agricultural sciences and 11.00.00 – Geographical sciences.

**Founder:** Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan.

**Editorial office address:** 72, 1<sup>st</sup> Bodomzor yuli str., Yunusobod district, Tashkent, 100052, Uzbekistan. Tel: +998 71 2358759; e-mail: info@nigmi.uz

ISSN 2181-1261

© Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, 2022

# МУНДАРИЖА

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

- М.Л. Арушанов, Х.У. Умеров, А.И. Вдовенко**  
Вейвлет-ёйиш ва нейрон тармоқларидан фойдаланувчи  
гибрид моделлар ёрдамида ҳарорат вақт қаторларини прогнозлаш ..... 8
- З.Ш. Ўсаров, З.Э. Қуранбоева**  
Кенг миқёсдаги атмосфера жараёнларининг Ўзбекистонда мавсумий  
ёгингарчиликка таъсирини баҳолаш (Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия  
тебраниши мисолида) ..... 20
- Б.М. Холматжанов, Э.И. Абдулахатов, Д.Ў. Ярашев,  
С.У. Бегматов, Ф.М. Халматжанов**  
Йилнинг совуқ даврида инсон организми иссиқлик ҳиссиётига шамолнинг  
таъсирини баҳолаш (Тошкент вилояти мисолида) ..... 29
- Н.И. Рахматова, Л.Ю. Шардакова, Б.Э. Нишонов, В.С. Рахматова,  
Р.В. Таряникова, Д.А. Беликов**  
Ўзбекистон ҳудудида қурғоқчиликни ECMWF ERA-5 реанализ  
маълумотлари асосида баҳолаш ..... 38

## ГИДРОЛОГИЯ

- З.Ф. Хакимова**  
Оҳангарон ҳавзаси дарёлари оқимининг шаклланишига  
метеорологик омилларнинг таъсирини баҳолаш ..... 50
- К.Р. Рахмонов, Х.Х. Нурлибоев, И.М. Ҳўжамова**  
Ўрта Зарафшон ҳавзаси кичик дарёлари сув ва  
муаллақ оқизиклари оқимининг ўзгарувчанлиги ҳақида ..... 62
- Б.Э. Нишонов, Д.М. Турғунов, Д.Ў. Ярашев, Ғ.Ў. Умирзақов**  
Оҳангарон ҳавзасида масофадан зондлаш орқали қор қоплами  
динамикасини ўрганиш ва дарё оқимини прогнозлаш ..... 69

## АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

- С.С. Сувонқулов, Ғ.Ў. Умирзақов, Ҳ.А. Мамиров, Ф.Н. Акбаров,  
Д.К. Эшмуратов, М.А. Петров**  
Музликлардан тўйинадиган кичик тоғ дарёларининг гидрологик  
мониторинги (Баркироксой мисолида) ..... 80
- Л.Ю. Шардакова, А.Р. Ахмедова, Н.И. Рахматова, Б.Э. Нишонов**  
Оролбўйи минтақасида 2010-2021 йилларда чанг бўронларининг  
ҳудуд ва вақт бўйича таҳлили ..... 90

# СОДЕРЖАНИЕ

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

**М.Л. Арушанов, Х.У. Умеров, А.И. Вдовенко**

Прогнозирование временных рядов температуры гибридными моделями с использованием вейвлет-разложения и нейронной сети ..... 8

**З.Ш. Усаров, З.Э. Куранбоева**

Оценка влияния крупномасштабных атмосферных процессов на сезонные осадки в Узбекистане (на примере колебания Восточная Атлантика – Западная Россия) ..... 20

**Б.М. Холматжанов, Э.И. Абдулахатов, Д.У. Ярашев,**

**С.У. Бегматов, Ф.М. Халматжанов**

Оценка влияния ветра на теплоощущение организма человека в холодный период года (на примере Ташкентской области) ..... 29

**Н.И. Рахматова, Л.Ю. Шардакова, Б.Э. Нишонов, В.С. Рахматова,**

**Р.В. Таряникова, Д.А. Беликов**

Оценка засушливости территории Узбекистана на основе данных реанализа ECMWF ERA-5 ..... 38

## ГИДРОЛОГИЯ

**З.Ф. Хакимова**

Оценка влияния метеорологических факторов на формирование стока рек Ахангаранского бассейна ..... 50

**К.Р. Рахмонов, Х.Х. Нурлибоев, И.М. Хужамова**

Об изменчивости стока воды и взвешенных наносов малых рек бассейна Среднего Зеравшана ..... 62

**Б.Э. Нишонов, Д.М. Тургунов, Д.У. Ярашев, Г.У. Умирзаков**

Изучение динамики снежного покрова методом дистанционного зондирования в бассейне Ахангаран и прогнозирование речного стока..... 69

## МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**С.С. Суванкулов, Г.У. Умирзаков, Х.А. Мамиров, Ф.Н. Акбаров,**

**Д.К. Эшмуратов, М.А. Петров**

Гидрологический мониторинг малых горных водотоков ледникового питания (на примере Баркракская) ..... 80

**Л.Ю. Шардакова, А.Р. Ахмедова, Н.И. Рахматова, Б.Э. Нишонов**

Пространственно-временной анализ пыльных бурь в Приаралье за 2010-2021 годы ..... 90

## CONTENTS

## METEOROLOGY

- B.M.L. Arushanov, H.U. Umerov, A.I. Vdovenko**  
Prediction of the time series of temperature by hybrid models using wavelet decision and neural network ..... 8
- Z.Sh. Usarov, Z.E. Kuranboyeva**  
Assessment of impact of large-scale atmospheric processes on seasonal precipitation in Uzbekistan (case study of Eastern Atlantic – Western Russia oscillation) ..... 20
- B.M. Kholmatjanov, E.I. Abdulakhatov, D.U. Yarashev, S.U. Begmatov, F.M. Khalmatjanov**  
Assessment of the influence of wind on the heat sensation of the human body in the cold period of the year (on example of the Tashkent region) ..... 29
- N.I. Rakhmatova, L.Yu. Shardakova, B.E. Nishonov, V.S. Rakhmatova, R.V. Taryannikova, D.A. Belikov**  
Aridity assessment of Uzbekistan territory based on reanalysis data ECMWF ERA-5 ..... 38

## HYDROLOGY

- Z.F. Khakimova**  
Assessment of the influence of meteorological factors on the formation of the runoff of the rivers of the Akhangaran basin ..... 50
- K.R. Rakhmonov, Kh.Kh. Nurliboev, I.M. Khujamova**  
About variability of stream and suspended sediment runoffs of small rivers in the Middle Zerafshan basin ..... 62
- B.E. Nishonov, D.M. Turgunov, D.U. Yarashev, G.U. Umirzakov**  
Studying snow cover dynamics by remote sensing in the Ahangaran basin and forecasting of river runoff..... 69

## ENVIRONMENTAL MONITORING

- S.S. Suvankulov, G.U. Umirzakov, H.A. Mamirov, F.N. Akbarov, D.K. Eshmuratov, M.A. Petrov**  
Hydrological monitoring of glacier-fed small mountain rivers (on the example of Barkraksay) ..... 80
- L.Yu. Shardakova<sup>1</sup>, A.R. Akhmedova, N.I. Rakhmatova, B.E. Nishonov**  
Spatio-temporal analysis of dust storms in Aral Sea region for 2010-2021 ..... 90

**МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY**

УДК 550.51

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ГИБРИДНЫМИ МОДЕЛЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-РАЗЛОЖЕНИЯ И НЕЙРОННОЙ СЕТИ****М.Л. АРУШАНОВ<sup>1\*</sup>, Х.У. УМЕРОВ<sup>1</sup>, А.И. ВДОВЕНКО<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, mikl-arushanov@rambler.ru<sup>2</sup> Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан

**Аннотация.** В данном исследовании проанализировано влияние преобработки временных рядов на основе вейвлет-разложения в сочетании с нейронными сетями в целях прогноза рядов реконструированных температур. Рассмотрены подходы с использованием нескольких моделей и анализируются их прогностические возможности в гибридном сочетании. Вейвлет-преобразование используется, как инструмент подавления шумовой составляющей временного ряда температуры, а прогностическая модель строится на основе технологий Нейронных сетей и регрессионных методов прогноза временных рядов.

**Ключевые слова:** временные ряды, реконструированные температуры, вейвлет-разложение, нейронные сети, прогнозирование, гибридные модели.

**Введение.** Прогнозирование временных рядов – одно из основных направлений в метеорологии. Существует множество динамико-стохастических моделей прогноза, начиная от базовых моделей (простая скользящая средняя, линейная регрессия и пр.), до более продвинутых моделей, таких как авторегрессионная интегрированная скользящая средняя (ARIMA) и нейронные сети.

Динамико-стохастические прогностические модели представляются в виде детерминированной составляющей и случайного шума  $\varepsilon_t$ :

$$y_{t+1} = A(y_t) + \varepsilon_t, \quad (t=1, 2, \dots)$$

где  $A$  – определённый прогностический оператор.

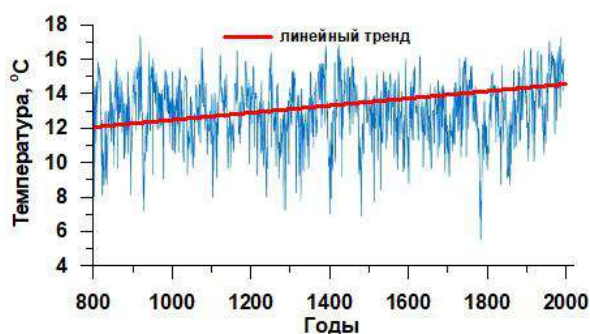
Таким образом, основная задача моделирования сводится к минимизации шумовой составляющей с использованием различных разложений исходной функции, например, таких как, Фурье и вейвлет-преобразования [Арушанов, 2015; Будаков, Фомин, 1967; Витязев, 2001]. Последнее обладает существенным преимуществом по сравнению с преобразованием Фурье, поскольку вейвлет-преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но и о том, насколько устойчив период колебаний той или иной гармоники во времени.

Вейвлет-преобразование стало очень популярным во многих областях науки, включая физико-математические, экономические и социальные [Ли, 1998; Малла, 2005; Риуль, Веттерли, 1991; Alexandridis, Zapranis, 2013]. Однако, в метеорологии в целях решения задач прогноза вейвлет-преобразование и нейронные сети пока не нашли широкого использования.

\* Ответственный автор: mikl-arushanov@rambler.ru, тел.: +998 90 997-61-46

В данной статье сделана попытка в некоторой степени возместить этот пробел путём рассмотрения гибридных моделей прогноза среднегодовых температур на основе вейвлет-преобразования, нейронных сетей [Медведев, Потемкин, 2001] и классических методов [Пановский, Брайер, 1972].

**Используемый материал.** В работе использованы дендрологические данные реконструированной температуры на территории полуострова Ямал [Hantemirov et al., 2022] за 8 тысячелетий (взято 1220 лет – 800-2020 гг.). На рис. 1 приведен временной ход реконструированной температуры воздуха на территории полуострова Ямал и её тренд на 1220-летнем периоде.



**Рис. 1. Временной ход температуры воздуха на территории полуострова Ямал, реконструированный по колебаниям ширины годичных колец деревьев**

**Fig. 1. Time variation of the reconstructed air temperature on the territory of the Yamal Peninsula based on fluctuations in the width of annual tree rings**

**Методы исследования.** Для разложения исходных рядов с помощью вейвлет-преобразования используется следующая формула [Алексеев, 2013]:

$$W(f(a,b)) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot dt \quad (1)$$

где  $\psi_{a,b} = \frac{1}{|a|^{1/2}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$  – функция материнского вейвлета;  $a$  – масштабирующий параметр,  $b$  – параметр сдвига,  $1/(|a|^{1/2})$  – параметр нормировки вейвлет-функции, обеспечивающий  $\|\psi_{a,b}\| = 1$ . Прямое вейвлет-преобразование (1) можно рассматривать как разложение сигнала по всем возможным сдвигам и растяжениям/сжатиям сигнала  $f(t)$ . Преобразование (1) при задании вектора  $a$  в некотором диапазоне ( $a_{min} \div a_{max}$ ) позволяет получить из исходной функции  $f(t)$  множество функций  $W[f(a, b)]$ , изменяющихся с разными частотами (от высокочастотных до низкочастотных). При таком подходе обработки сигнала  $f(t)$  характерные детали, которые скрыты при одном разрешении, могут быть обнаружены при другом.

Используя анализ с несколькими разрешениями, можно исследовать, как общую структуру, так и детали мелкой структуры ряда. Шумоподавление с разным разрешением с использованием вейвлет-преобразования позволяет получить более гладкий ряд, не изменяя при этом его основную структуру. Это оказывается полезным в задачах прогностических моделей [Ли, 1998; Jin, Kim, 2015].

Концептуально, вейвлет-коэффициенты описывают особенности ряда, а их малые значения, как правило, представляют шумовую составляющую, которая легко исключается путём отбрасывания малых коэффициентов по заданному пороговому значению. В этом достоинство вейвлет-преобразования, которое по своему содержанию аналогично фильтрации исходных рядов с помощью разложений по системе естественных ортогональных составляющих [Мещерская и др., 1970].

В метеорологии, как правило, данные выражаются дискретными последовательностями, для разложения которых используется дискретное вейвлет-преобразование (DWD) [Арушанов, 2015].

Процесс DWD может быть выполнен путем пропускания последовательности через полуполосные цифровые фильтры нижних и верхних частот [Канасевич, 1985]. При этом разрешение по частоте удваивается, потому что в отфильтрованных последовательностях существует только половина исходной полосы. После пропуска последовательностей через фильтры половина выборок может быть отсеяна по критерию Найквиста (т.е. половина выборок является избыточной). Следовательно, после субдискретизации на два, временное разрешение уменьшается вдвое. Восстановление исходного ряда  $f(t)$  по вычисленным масштабированным (аппроксимирующим) информативным коэффициентам производится путем обратного преобразования [Алексеев, 2013]:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_k W_\varphi(j_0, k) \cdot \varphi_{j_0, k}(t) + \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k W_\psi(j, k) \cdot \psi_{j, k}(t) \quad (2)$$

Введем обозначения:  $a_1, a_2, \dots, a_m$  – аппроксимации ряда на уровнях ( $1 \dots m$ );  $d_1, d_2, \dots, d_m$  – детали распределения ряда на соответствующих уровнях. Тогда исходный ряд  $f(t)$  в формуле (2) на нулевом уровне с некоторой точностью (точностью заданного числа уровней детализации) может быть представлен в виде:

$$f = a_m + d_m + d_{m-1} + \dots + d_1 \quad (3)$$

здесь  $a$  – низкочастотные функции, а детали  $d_i$  с малыми значениями  $i$  очень малы, как высокочастотные функции.

В формуле (3) аппроксимации  $a_i$  и детали  $d_i$  с увеличением уровня аппроксимации  $i$  стремятся к const. По сути,  $a_i$  и  $d_i$  – это временной ряд той или иной степени гладкости. Заметим, что из-за значимых искажений на границах вейвлет-преобразования, следует исключать граничные значения в разложение [Alexandridis, Zapranis, 2013].

Описанную выше процедуру можно повторить для дальнейшего разложения. Рис. 2 иллюстрирует этот процесс для 3-уровневой декомпозиции, где  $f$  – исходная последовательность,  $D1$  – дискретные вейвлет-коэффициенты (DWC) первого уровня,  $D2$  – DWC второго уровня,  $D3$  и  $A3$  – DWC третьего уровня [Jin, Kim, 2015]. Заметим, что исходная последовательность  $f$  может быть синтезирована последовательностями низких и высоких частот, т.е.  $f = a_3 + d_3 + d_2 + d_1$ .

### Сценарии моделирования.

1. Применим непрерывное вейвлет-преобразование к исходному ряду.
2. Используем дискретное вейвлет-разложение (DWT) ряда реконструированных среднегодовых температур июля на полуострове Ямал на ряд приближений (аппроксимаций) и ряды деталей компонентов: одну аппроксимационную составляющую (аппроксиматор) и пять детализированных компонент. Аппроксимационный компонент можно рассматривать как тренд исходного ряда. Детализированные компоненты могут представлять зашумленность исходного ряда.

3. Выберем методы прогнозирования для аппроксиматора и рядов детализации. Определим структурные параметры выбранных моделей.
4. Применим методы прогнозирования для каждого компонента.
5. Проведём восстановление прогнозируемого ряда и сравним результаты. Впоследствии, как ожидается, можно сделать вывод о том, представляют ли компоненты детализации шум или являются информационным компонентом.

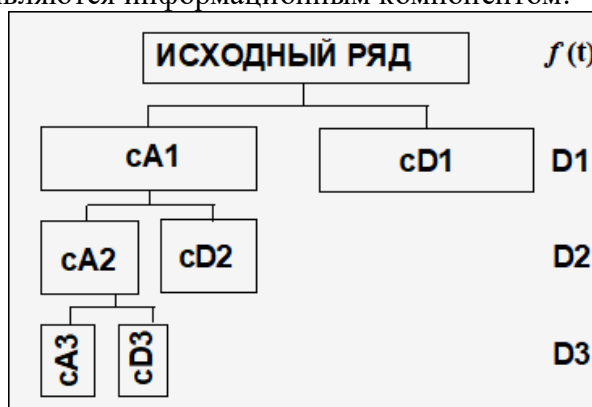


Рис 2. Структура вейвлет-разложения

Fig 2. The structure of the wavelet decomposition

**Выбор моделей.** Наиболее распространенными моделями в прогнозировании временных рядов, особенно при параметрической оценке, являются авторегрессионные интегрированные скользящие средние (ARIMA) и обобщенные авторегрессионные модели условной гетероскедастичности (GARCH). GARCH модели основаны на идее несогласованной дисперсии в общем временном ряде [Алексеев, 2013; Росси, 2004].

Сплайн-модели [Вагер, Серков, 1987] широко используются при интерполяции различных пространственно-временных рядов, а с использованием стратегии экстраполяции могут применяться и в задачах прогноза.

Отметим так же, что в последнее время набрали популярность методологии машинного обучения, такие как искусственные нейронные сети (ИНС), которые используются во многих прогнозных исследованиях [Риуль, Веттерли, 1991; Alexandridis, Zapranis, 2013; Jin, Kim, 2015], поскольку универсальность этих моделей позволяет применять их к любым геофизическим процессам, в частности, атмосферным.

На основании вышесказанного, рассматриваются следующие модели прогноза.

1. GARCH (*Generalized AutoRegressive Conditional Heteroscedasticity*) – обобщенные авторегрессионные модели условной гетероскедастичности [Jin, Kim, 2015] (модель условной дисперсии со смещением (распределение Гаусса) – временной ряд  $u(t)$  с функцией условной дисперсии)

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

где  $p$  – порядок GARCH-членов условной дисперсии  $\sigma^2$  (прошлые условные отклонения);  $q$  – порядок ARCH-членов  $u^2$  (прошлые значения временного ряда). Выбор ARCH и GARCH лагов проводился экспериментально.

2. Сплайн-модель, основанная на кубической сплайн-интерполяции, со стратегией экстраполяции различных кубических полиномов. На каждом отрезке функция приближается кубическим многочленом

$$f(x) = a(x-x_1)^3 + b(x-x_1)^2 + c(x-x_1) + d$$

для коэффициентов  $a, b, c, d$  на интервале  $[x_1, x_2]$ .

Для регулярной сетки узлы алгоритма экстраполяции представляются в виде последовательности разложений по координатам точек, а коэффициенты разложений представлены аналитически. В итоге ордината прогнозируемой точки не зависит от шага сетки, что существенно для оценки ближайшего соседа, следующего в серии регулярных наблюдений, когда принципиальна не величина интервала между измерениями, а его неизменность. Моделирование проводилось функцией МАТЛАБа `interp1(X1,Y1,dTest,'spline','extrap')` [Дьяконов, 2012].

3. ANN (*Artificial Neural Networks*) – искусственные нейронные сети с временной задержкой [Медведев, Потемкин, 2001] (рис. 3).

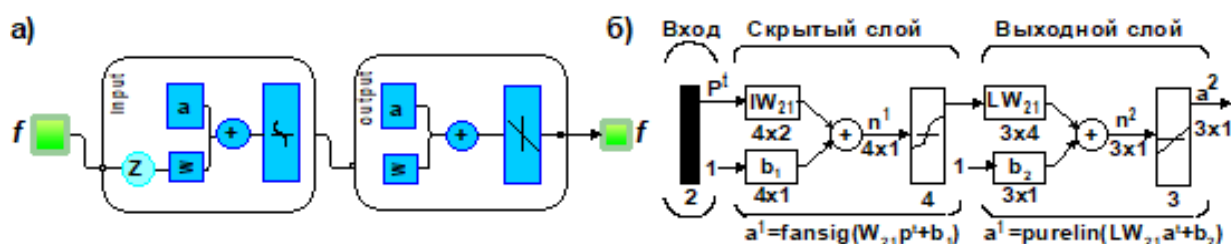


Рис. 3. Нейросеть прямого распространения (ANN):

а) графическая схема, б) структурная схема

Fig. 3. Feed-forward neural network (ANN): a) graphic diagram, b) block diagram

4. NarNET - Нелинейная авторегрессионная нейронная сеть [Медведев, Потемкин, 2001] (рис. 4.).

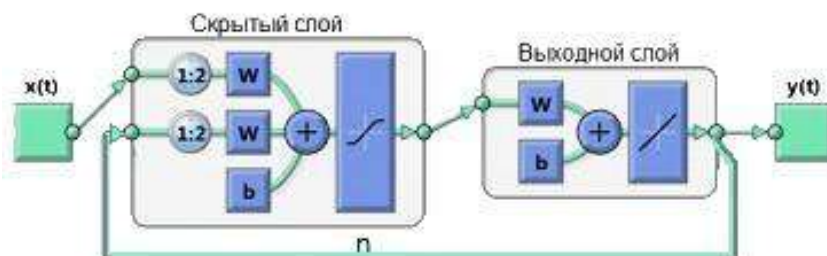


Рис. 4. Структура нелинейной авторегрессионной нейронной сети

Fig. 4. Structure of a nonlinear autoregressive neural network

С помощью команды `closeloop(net)`, замыкался контур этой сети для получения рекуррентной сети – генератора. Шаг запаздывания и количество нейронов скрытого слоя подбирались экспериментально и составили 2/14 и 3/12 для ANN и NarNET соответственно.

Оценка точности прогнозирования производилась по среднеквадратичной ошибке:

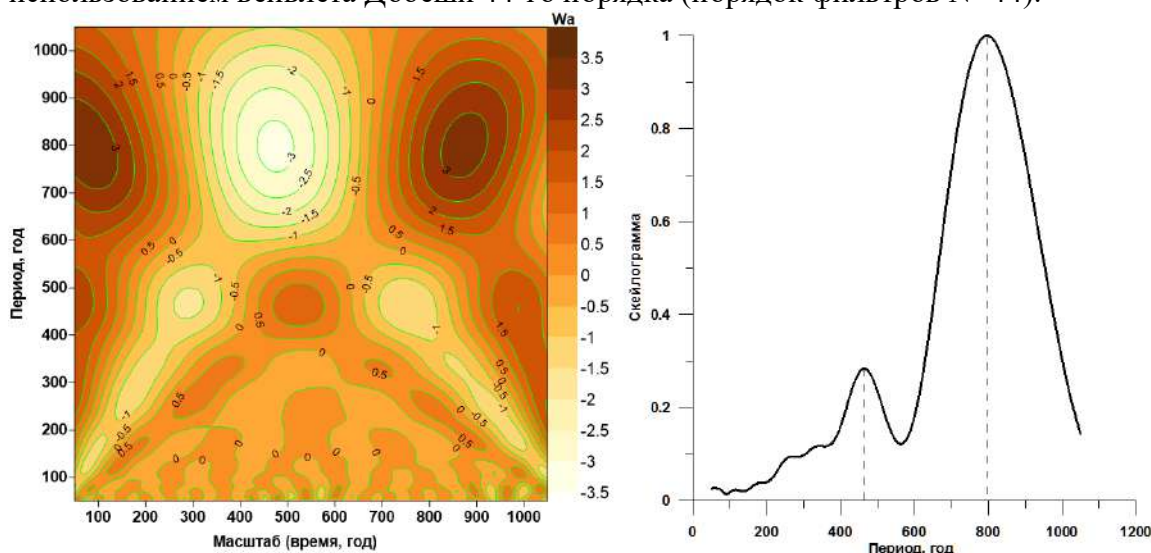
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (4)$$

где  $\hat{Y} = \{ \hat{Y}_i \}$  – вектор прогнозов, который генерируется из выборки  $n$  точек данных (учебная выборка) по всем переменным;  $Y = \{ Y_i \}$  – вектор наблюдаемых значений прогнозируемой переменной (независимая выборка).

В рамках предварительного анализа с использованием вейвлета Morle были получены амплитудная вейлет-функция (АВФ) и скейлограмма температурного ряда за период с 881-2019 гг. (рис. 5). АВФ отображает детали частотного образа температурного ряда: в нижней части отчетливо видны высокочастотные компоненты с периодом 50 лет, а в средней и верхней – устойчивые колебания на частотах, соответствующих периодам 480 и 800 лет, отчетливо проявившиеся в интегральном спектре – скейлограмме.

На основании анализа полученных результатов и с учетом эффекта переобучения нейронных сетей (на отметке 600 лет переобучение проявилось отчетливо) был выбран период исследования в 320 лет. Из них ряд в 300 лет составил учебную выборку, ряд в 20 лет – независимую.

**Основные результаты и их обсуждение.** Все расчёты выполнялись в среде МАТЛАБ. Для расчета дискретных преобразований обычно применяются вейлет-функции семейства Добеши порядка «db<sub>4</sub>», «db<sub>26</sub>» и «db<sub>44</sub>» [Жмурко, 2017]. Нами, в качестве базисного вейвлета, был выбран «db<sub>44</sub>». На рис. 6 показано пятиуровневое вейлет-разложение исследуемого ряда в течение 300 лет за период 1800-1999 гг. с использованием вейвлета Добеши 44-го порядка (порядок фильтров N=44).



**Рис. 5. Амплитудная вейлет-функция  $W_a$  (а) и скейлограмма температуры воздуха (б)**

**Fig. 5. Wavelet amplitude function  $W_a$  (a) and air temperature scalogram (b)**

Простая структура аппроксиматора  $A$  показывает тенденцию изменения температур, т.е. общую картину, так называемый «лес». При рассмотрении «деревьев», т.е. детализации, на уровне  $d_5$ , например, можно видеть, что периоды относительной стабилизации температур по шкале 10-60 лет (1710-1760 гг.) и 150-220 лет (1856-1920 гг.) сменялись значительными перепадами на остальных периодах. Если мы рассмотрим  $d_4$ , то временное разрешение увеличится, и мы сможем более подробно отразить периоды стационарности и значимых колебаний.

Вейлет-реконструкция исследуемого ряда, представлена на рис. 6. Среднеквадратичная ошибка реконструкции составила  $\sigma = 8,2065 \cdot 10^{-6}$ , что вполне обосновывает использование вейлет анализа для решения поставленной задачи.

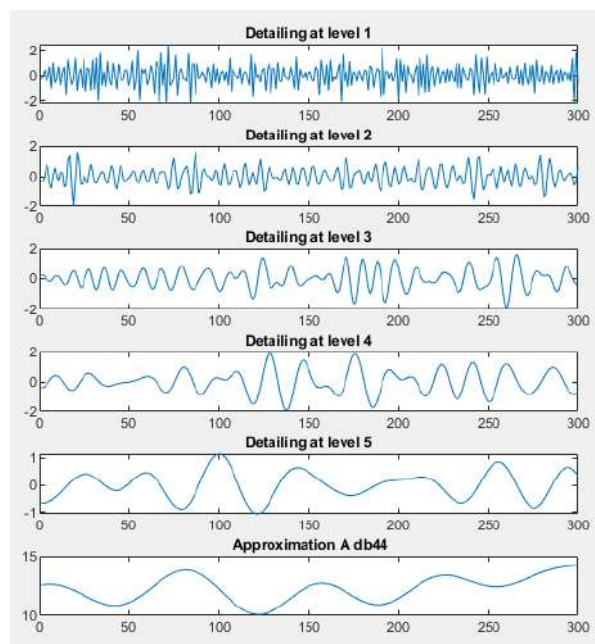


Рис. 6. Вейвлет-разложение исходного ряда на 5 уровней

Fig. 6. Wavelet decomposition of the original series into 5 levels

На рис. 7 приведена графика аппроксиматора (низкочастотная часть вейвлет-разложения), которая четко описывает основную тенденцию изменения временного ряда температуры.

Методология гибридных моделей предполагает обучение нескольких моделей на одном и том же временном ряде. Далее выполняется оценка полученных по разным моделям прогнозов, которые могут быть усреднены.

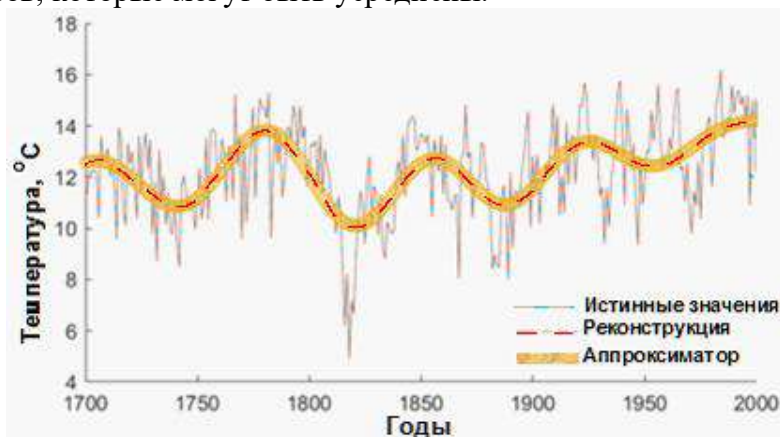


Рис. 7. Вейвлет-реконструкция температурного ряда

Fig. 7. Wavelet reconstruction of the temperature series

На рис. 8 представлены результаты прогноза аппроксиматора  $A$  различными моделями. Итоги подтвердили выбор моделей для прогноза коэффициентов вейвлет-разложения: spline и ANN.

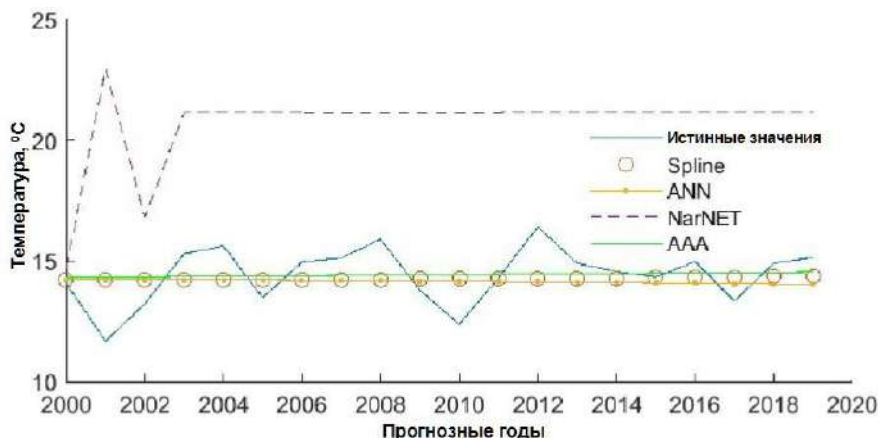


Рис. 8. Прогноз аппроксиматора различными моделями

Fig. 8. Approximator prediction by various models

Полученные ряды коэффициентов  $a_5$ ,  $d_5$ ,  $d_4$ ,  $d_3$ ,  $d_2$  и  $d_1$  прогнозировались на 20 шагов (лет). Для прогнозирования  $a_5$  использовалась модель ANN с двумя шагами задержки и 14-ю шагами нейросети скрытого слоя. Для прогноза  $d_4$ ,  $d_3$ ,  $d_2$  и  $d_1$  использовалась сплайн-модель со стратегией экстраполяции – `interp1(X1,Y1,dTest,'spline','extrap')`. На рис. 9 представлены результаты прогноза.

Далее, сигнал преобразуется обратно во временную область путем выполнения обратного преобразования (2). Одним из недостатков является то, что разложение сигнала путем преобразования приводит к перекрытиям на краях соответствующих частотно-временных рядов и усиливается выбором уровня декомпозиции [Rumaih et al., 1996].

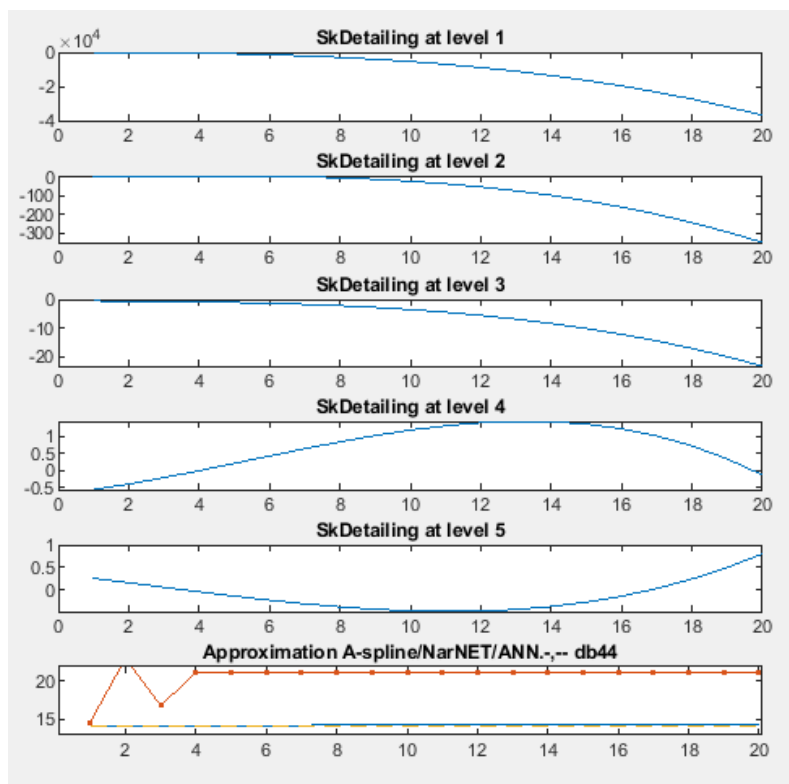
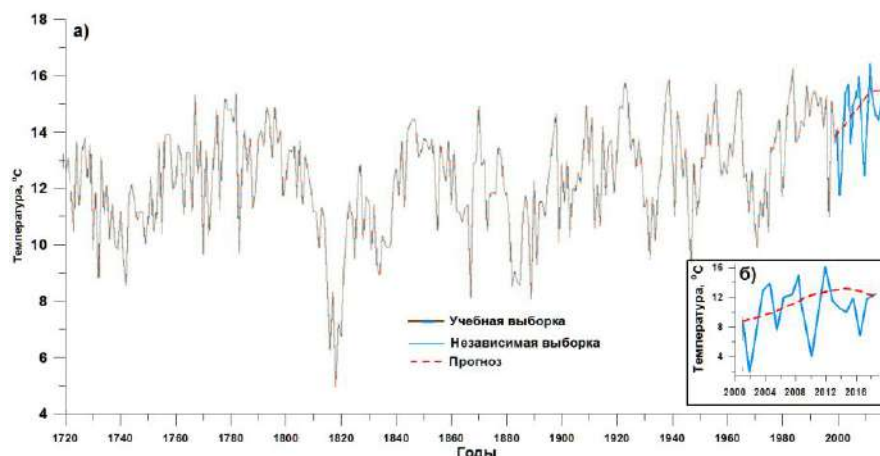


Рис. 9. Прогноз на 20 шагов (лет) вейвлет разложения

Fig. 9. Forecast for 20 steps (years) of the wavelet decomposition

При оценке полученных коэффициентов детализации на этапе реконструкции прогноза первые три уровня высокочастотного разложения не учитывались, т.к. прогнозные оценки выходили за допустимый уровень. В результате суммирования прогнозных оценок была получена реконструкция прогноза на 20 лет (2000-2019 гг.). Далее полученные результаты сравнивались с данными независимой выборки. На рис. 10 представлены результаты прогноза, а на рис. 11 – прогноз с предварительной реконструкцией.

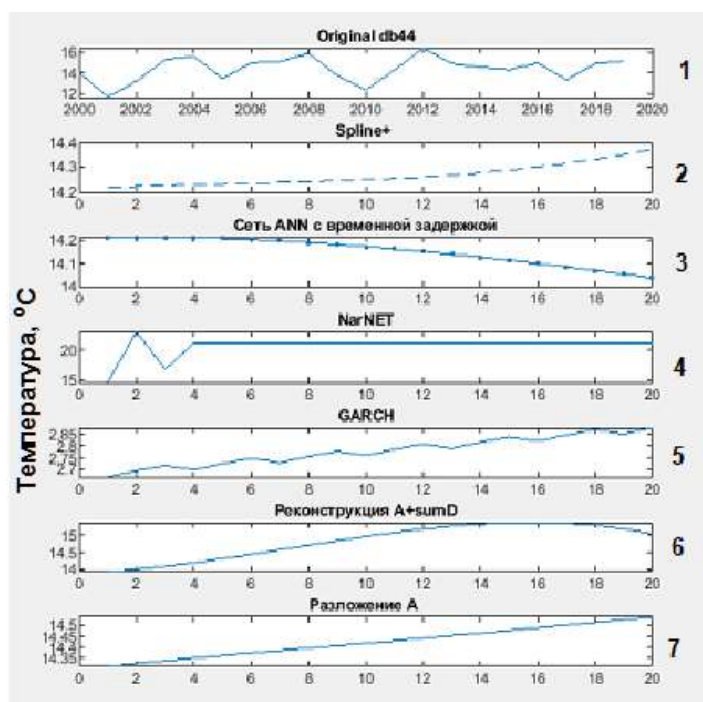


**Рис. 10. Результаты прогноза с использованием вейвлет-разложения**

*Примечание:* а) временной ход ряда учебной выборки температуры + прогноз;  
б) прогноз на период 2000-2019 гг.

**Fig.10. Prediction results using wavelet decomposition**

*Note:* а) the time course of a series of training sample temperature + forecast;  
b) forecast for the period 2000-2019.



**Рис. 11. Результаты прогноза температуры различными моделями**

**Fig. 11. Temperature forecast results by various models**

Также были проведены расчеты прогноза ряда с обучением по аппроксиматору различными моделями и сравнение результатов с оригинальным рядом (рис. 11). Первый ряд – исходные данные, 2-5 прогнозы по различным моделям, 6 – реконструкция  $f = a_5 + d_5 + d_4$ , 7 – распределение аппроксиматора  $a_5$ .

В таблицах 1-2 представлены оценки полученных результатов в виде среднеквадратичной ошибки прогнозов, рассчитанные по данным независимой выборки, и коэффициенты корреляции моделей прогноза и аппроксиматора в зависимости от объема учебной выборки, соответственно.

По полученным результатам видно, что выборка в 200 лет практически по всем показателям уступает другим (300, 400 лет). При этом модель GARCH дала значительно смещенный прогноз, что выразилось высоким среднеквадратичным отклонением, при значимом коэффициенте корреляции. Модель NarNET дала неудовлетворительный результат и по среднеквадратичному отклонению и коэффициенту корреляции. Хотя на выборке 400 лет – результат значительно улучшился. Следует отметить, что при прямом прогнозировании, без использования вейвлетов, все модели, кроме ANN, дали неудовлетворительные результаты. Как следует из таблиц 1, 2 модель «A+sumD» показала высокие результаты.

Таблица 1

**Среднеквадратичное отклонение между моделями прогноза  
и данными независимой выборки**

Table 1

**Standard deviation between forecast models and independent sample data**

Модель	Объем учебной выборки, лет		
	200	300	400
	Среднеквадратичная ошибка		
<b>SPLINE</b>	1,344	1,316	1,317
<b>ANN</b>	1,339	1,411	1,351
<b>NarNET</b>	41,847	43,433	2,660
<b>GARCH</b>	132,595	136,820	137,105
<b>A+sumD</b>	208,424	<b>1,418</b>	<b>1,413</b>
<b>AAA</b>	1,293	<b>1,274</b>	<b>1,274</b>

Таблица 2

**Корреляция моделей прогноза и аппроксиматора**

Table 2

**Correlation of forecast and approximator models**

Модель	Объем выборки, лет		
	200	300	400
	Коэффициент корреляции		
<b>SPLINE</b>	-0,624	0,944	0,944
<b>ANN</b>	-0,613	-0,970	-0,647
<b>NarNET</b>	-0,608	0,393	0,588
<b>GARCH</b>	0,558	0,981	0,981
<b>A+sumD</b>	0,681	0,907	0,907

По выбранной методике проводилось вейвлет разложение, обучающие процедуры по технологиям Нейронных сетей за период с 1700 по 2019 гг. и рассчитывался прогноз на последующие годы, начиная с 2020 до 2040 года (рис. 12).

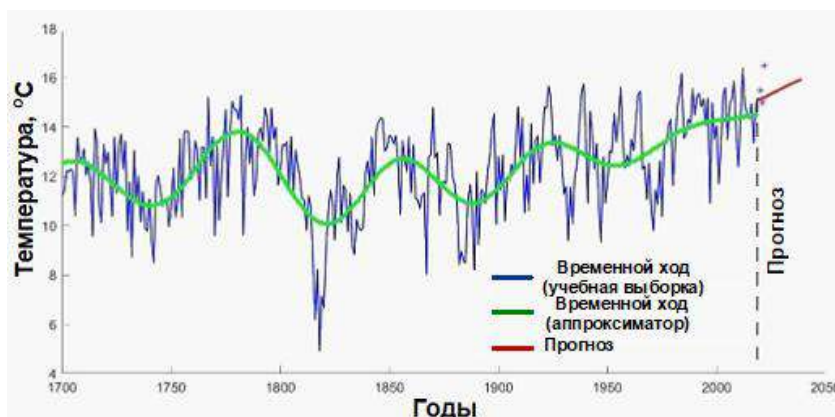


Рис.12. Результаты прогнозирования по разработанной модели

Fig.12. Results of forecasting according to the developed model

**Выводы.** В итоге можно отметить, что выбранный подход в целом себя оправдал и для долгосрочного прогнозирования можно использовать вейвлет-разложение вместе с нейронными сетями. Особое внимание необходимо уделять корректному исключению шумовых компонентов в вейвлет-разложении, «не выплеснув ребёнка вместе с водой».

Построение модели включает следующие этапы: 1) декомпозиция ряда с использованием заданной вейвлет-функции и вычисление вейвлет-частотных характеристик ряда; 2) декомпозиция ряда на аппроксимирующие составляющие с последующим их прогнозированием с использованием технологий Нейронных сетей.

**Вклад авторов.** **М.Л. Арушанов:** постановка задачи, анализ, редакция текста; **Х.Н. Умеров:** разработка алгоритма гибридных моделей, программная реализация в оболочке МАТЛАБ, анализ. **А.И. Вдовенко:** подготовка базы данных реконструированных температур. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

*Алексеев В.И.* Анализ и прогнозирование циклических временных рядов с использованием вейвлетов и нейросетевых нечетких правил вывода // Вестник Югорского госуниверситета, 2013. Вып. 3(30). – С. 3-10.

*Арушанов М.Л.* Практические вопросы использования вейвлет-преобразования в метеорологии. – Ташкент: НИГМИ, 2015. – 51 с.

*Витязев В.П.* Вейвлет-анализ временных рядов. – СПб.: СПУ. 2001. – 58 с.

*Дьяконов В.П.* Матлаб. – М.: ДМК. 2012. – 768 с.

*Жмурко Д.Ю.* Анализ данных сахарного подкомплекса АПК с применением вейвлет-преобразования (часть 2 – дискретные вейвлет преобразования) // Научный журнал КубГАУ, 2017. №130(06). – С. 12-19.

*Канасевич Э.Р.* Анализ временных последовательностей в геофизике. – М.: Недра, 1985. – 399 с.

*Ли Г.* Вейвлеты и оценка вейвлетов // Журнал экономической теории и эконометрики, 1998. №4(1). – С. 123-157.

*Малла С.* Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.

*Медведев В.С., Потемкин В.Г.* Нейронные сети. МАТЛАБ 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. 2001. – 630 с.

*Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И.* Естественные составляющие метеорологических полей. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 199 с.

*Росси Э.* Одномерные GARCH-модели // Квантиль. 2004. №8. – 67 с.

Alexandridis A.K., Zapranis A.D. Wavelet neural networks: A practical guide // Neural Networks, 2013. №42. – С. 3–27.

Hantemirov R.M., Corona C., Guillet S., Shiyatov S.G., Stoffel M., Osborn T.J., Melvin T.M., Gorlanova L.A., Kukarskih V.V., Surkov A.Y., Arx G., Fonti P. Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia // Nature Communications, 2022. No. 3. – PP. 3-10.

Jin J., Kim J. Forecasting Natural Gas Prices Using Wavelets, Time Series, and Artificial Neural Networks // PLoS ONE, 2015. 10(11). – PP. 11-21.

Rioul O., Vetterli M. Wavelets and Signal Processing // IEEE SP Magazine, 1991. No. 10. – PP. 14-38.

Rumaih A., Ejaz Ahmed R., Bakry S.H., Al Dhalaan A. A methodology for network topology design with link and node failure tolerances // International Journal of Network Management, 1996. No. 6(1). – PP. 42–63.

## ВЕЙВЛЕТ-ЁЙИШ ВА НЕЙРОН ТАРМОҚЛАРИДАН ФОЙДАЛАНУВЧИ ГИБРИД МОДЕЛЛАР ЁРДАМИДА ҲАРОРАТ ВАҚТ ҚАТОРЛАРИНИ ПРОГНОЗЛАШ

М.Л. АРУШАНОВ<sup>1</sup>, Х.У. УМЕРОВ<sup>1</sup>, А.И. ВДОВЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, mikl-arushanov@rambler.ru

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази

**Аннотация.** Тадқиқот ишида реконструкцияланган ҳароратлар қаторларини прогнозилаш мақсадида нейрон тармоқларидан фойдаланган ҳолда вақт қаторларини вейвлет-ёйиш асосида маълумотларни қайта ишлашнинг таъсири таҳлил қилинган. Бир нечта моделлардан фойдаланиши ёндашуви кўриб чиқилган ва уларнинг гибрид комбинациясининг прогноз имкониятлари таҳлил қилинган. Вейвлет алмаштиришидан ҳарорат вақт қаторининг шовқин компонентини бартараф этиши воситаси сифатида фойдаланилади, прогнозилаш модели эса нейрон тармоғи технологиялари ва вақт қаторларини прогнозилашнинг регрессион усуллари асосида қурилган.

**Калим сўзлар:** вақт қаторлари, реконструкцияланган ҳароратлар, вейвлет-ёйиш, нейрон тармоқлар, прогнозилаш, гибрид моделлар.

## PREDICTION OF THE TIME SERIES OF TEMPERATURE BY HYBRID MODELS USING WAVELET DECISION AND NEURAL NETWORK

M.L. ARUSHANOV<sup>1</sup>, H.U. UMEROV<sup>1</sup>, A.I. VDOVENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, mikl-arushanov@rambler.ru

<sup>2</sup> Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan

**Abstract.** This study analyzes the impact of time series preprocessing based on wavelet decomposition in combination with neural networks in order to predict the reconstructed temperature series. Approaches using several models are considered and their predictive capabilities in a hybrid combination are analyzed. The wavelet transform is used as a tool for suppressing the noise component of the temperature time series, and the predictive model is built on the basis of Neural Network technologies and regression methods for forecasting time series.

**Keywords:** time series, reconstructed temperatures, wavelet decomposition, neural networks, forecasting, hybrid models.

## REFERENCES

Alekseev V.I. Analiz i prognozirovanie tsiklicheskih vremennih ryadov s ispolzovaniem veyvletov i neurosetevih nechetkih pravil vivoda [Analysis and forecasting of cyclic time series using wavelets and

neural network fuzzy inference rules] // Vestnik Yugorskogo Gosuniversiteta, 2013. Vyp. (30). – S. 3-10. (in Russian)

Arushanov M.L. *Practicheskie voprosi ispolzovaniya veivlet-preobrazovaniya v meteorologii* [Practical issues of using the wavelet transform in meteorology]. – Tashkent: NIGMI, 2015. – 51 s. (in Russian)

Vityazev V.P. *Veivlet analiz vremennih ryadov* [Wavelet analysis of time series]. – SPb.: SPU. 2001. – 58 s. (in Russian)

Dyakonov V.P. *Matlab* [MATrix LABoratory]. – M.: DMK. 2002. – 768 s. (in Russian)

Jmurko D.Yu. *Analiz danih sahnogo podkompleksa s primeneniem veivlet preobrazovaniya* [Analysis of data from the sugar subcomplex of APK using wavelet transform] // Nauchnyy jurnal KubGAU, 2017. No. 130(06). – S. 12-19. (in Russian)

Kanasevich E.R. *Analiz vremennih posledovatel'nostey v geofizike* [Analysis of time sequences in geophysics] – M.: Nedra, 1985. – 399 s. (in Russian)

Li G. *Veivleti i ochenki veivletov* [Wavelets and Wavelet Estimation] // Jurnal ekonomicheskoi teorii i ekonomicheskikh issledovaniy, 1998. No. 4(1). – S. 123-157. (in Russian)

Malla S. *Veivlety i obrabotka signalov* [Wavelets in signal processing]. – M.: Mir, 2005. – 671 s. (in Russian)

Medvedev V.S., Potemkin V.G. *Neironnie seti. MATLAB 6* [Neural networks. MATLAB 6]. – M.: DIALOG-MIFI. 2001. – 630 s. (in Russian)

Meshcherskaya A.V., Rukhovets L.V., Yudin M.I., Yakovleva N.I. *Yestestvennie sostavlyayushie meteorologicheskikh poley* [Natural components of meteorological fields]. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 199 s. (in Russian)

Rossi E. *Odnomernie GARCH-modeli* [One-Dimensional GARCH Models] // Kvantil, 2004. No. 8. – 67 s. (in Russian)

УДК: 551.582

## КЕНГ МИҚЁСДАГИ АТМОСФЕРА ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ЎЗБЕКИСТОНДА МАВСУМИЙ ЁГИНГАРЧИЛИККА ТАЪСИРИНИ БАҲОЛАШ (ШАРҚИЙ АТЛАНТИКА – ҒАРБИЙ РОССИЯ ТЕБРАНИШИ МИСОЛИДА)

З.Ш. ЎСАРОВ<sup>1\*</sup>, З.Э. ҚУРАНБОЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, usarovzohid94@gmail.com

**Аннотация.** Мақола кенг миқёсдаги атмосфера циркуляцияларидан бири бўлган Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия (EATL/WRUS) тебранишининг Ўзбекистон ҳудудидида шаклланидиган мавсумий ёгингарчиликка таъсирини миқдорий баҳолаш масалаларига бағишланган. Тадқиқотни бажаришида республикада жойлашган 15 та метеорологик станцияларнинг 1990-2020 йилларда қайд этилган ўртача ойлик ёгингарчилик маълумотларидан фойдаланилди. Олиб борилган таҳлилларга кўра, мамлакатимизда Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия (EATL/WRUS) атмосфера жараёни билан мавсумий ёгингарчилик орасида боғлиқлик борлиги аниқланди. Пирсон корреляцияцион усули асосида аниқланган мавсумий боғлиқлик бўйича энг юқори боғланиш Қариши (0,61) ва Самарқанд (0,54) метеостанцияларида кузатилган бўлса, энг паст боғланиш республиканинг шимолий чўл ҳудудларида аниқланди.

**Калит сўзлар:** Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия тебраниши (EATL/WRUS), атмосфера циркуляциялари, синоптик жараёнлар, Пирсон корреляцияси.

**Кириш.** Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия тебраниши (East Atlantic – Western Russia EATL/WRUS) йил давомида Евросиё қитъасига таъсир кўрсатувчи асосий учта

\*Масъул муаллиф: usarovzohid94@gmail.com, тел.: +998 97 391-10-94

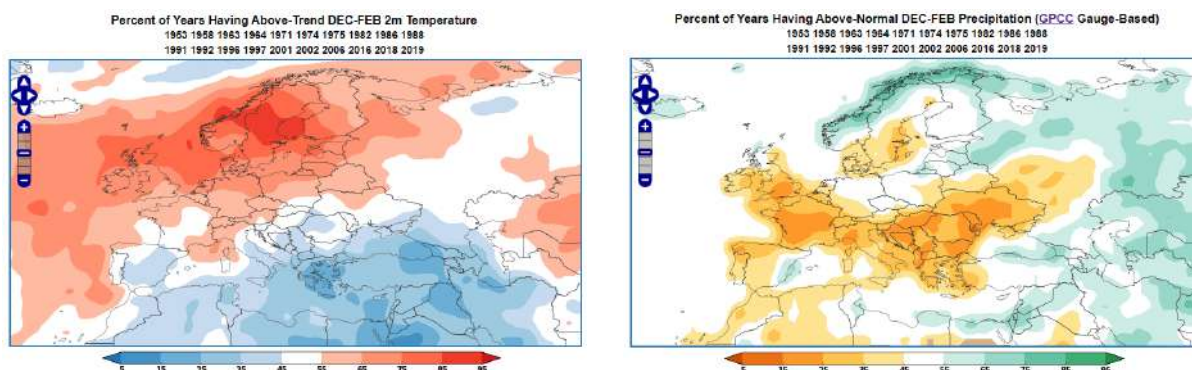
атмосфера циркуляцион жараёнларидан биридир. Бу жараён Барнстон ва Ливезей томонидан Евросиё-2 циркуляцион жараёни сифатида илк бор илмий муомалага киритилган [Barnston, Livezey, 1987]. EATL/WRUS жараёни тўртта асосий аномалия марказларидан иборат бўлиб, бошқа йирик циркуляцион жараёнлар каби ижобий ва салбий фазаларга эга. Жараён ўзининг ижобий фазали даврида бевосита Европа ва Шимолий Хитойда жойлашган антициклон ёки юқори босимли ҳудуд аномалиялари, Шимолий Атлантиканинг маркази ва Каспий денгизининг шимолида жойлашган паст босимли майдон аномалиялари билан ифодаланади. EATL/WRUS тебранишининг ижобий фазасида Осиё ва Хитойнинг шарқий қисмида нисбатан нам об-ҳаво, Марказий Европа ва Ўрта Ер денгизи ҳавзасида қуруқ об-ҳаво кузатилади (1-расм). Аксинча, циркуляцион жараённинг салбий фазали даврида эса Шарқий Хитойда ва Осиёда нисбатан қуруқ, Европада намгарчилик кузатилиши қайд этилган (2-расм). EATL/WRUS ижобий фазасида ҳаво ҳарорати ҳам ўзига хос равишда Шарқий Осиёда нисбатан илиқ ва Россиянинг ғарбий қисмидан шимоли-шарқий Африкагача совуқ (1-расм), салбий фазасида эса Осиё бўйлаб нисбатан совуқ ва Россиянинг Европа қисми ва Африка шимоли-шарқида илиқ шароитлар кузатилган (2-расм).

EATL/WRUS юқорида қайд этилгандек, Европа ва Осиё бўйлаб об-ҳаво тизимида йилнинг турли даврларида ўзига хос таъсир этиши мумкин. Масалан, 1999-2001 ва 2007-2012 йиллар мобайнида Ўрта Ер денгизи ҳавзаси ҳудуди бўйлаб кузатилган қурғоқчиликда EATL/WRUS роли катта эканлиги илмий тадқиқотларда қайд этилган [Mathbout, 2021]. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, EATL/WRUS Ўрта Ер денгизи ҳавзасида кузатиладиган ёғингарчиликка жуда кучли таъсир кўрсатади. EATL/WRUS салбий (ижобий) фазасида бўлиши (3-расм) ҳудуд бўйлаб қиш мавсумида аномал намгарчилик (аномал қурғоқчилик) кузатилишига сабаб бўлади. Шунингдек, EATL/WRUS Шимолий Атлантика Тебраниши (NAO) жараёни каби ўзининг ижобий/салбий фазаларида таъсир майдонлари бўйлаб циклонларнинг ривожланиши ва кучли бўронлар кузатилишига олиб келади [Нестеров, 1998].

Марказий Осиё, жумладан, Ўзбекистонда синоптик масштабдаги циркуляцион жараёнлар ва уларнинг турли даврлардаги динамикаси ўзбекистонлик бир қатор олимлар томонидан тадқиқ этилган [Бугаев, Джорджио, 1957; Инагамова, Мухтаров, 2003; Холматжанов, 2019]. Уларнинг даврийлиги эса С.И.Инагамова таҳрири остидаги йилномаларда қайд қилинган [Инагамова, 2007]. Синоптик жараёнларнинг мамлакатимизда кузатиладиган гидрометеорологик ҳодисалар билан ўзаро боғлиқлиги кўп сонли тадқиқотчилар томонидан ўрганилган [Салихова, Тукеева, 1979; Mamadjanova, 2019]. Бироқ, сўнгги йилларда EATL/WRUS жараёни каби кенг кўламли атмосфера циркуляциясининг мамлакатимиз иқлимига таъсири бўйича нисбатан кам сонли илмий тадқиқот ишлари олиб борилган бўлиб, уларда асосан NAO, ENSO, Скандинавия ва EATL/WRUS жараёнларининг ҳаво ҳарорати ва ёғингарчилик билан ўзаро боғлиқлиги бўйича ижобий натижалар олинган [Khaydarov, Gerlitz, 2019]. Кенг миқёсдаги атмосфера жараёнларидан Ҳинд океани муссонининг Орол ҳавзаси дарёлари оқимида таъсири ҳам ўрганилган [Schiemann, 2012]. Бироқ, мазкур олимлар томонидан бажарилган ишларда EATL/WRUS тебранишининг Ўзбекистон ҳудудида шаклландиган ёғингарчилик билан ўзаро боғлиқлигига таянч тадқиқот предмети сифатида алоҳида эътибор қаратилмаган.

**Ишнинг мақсади ва вазифалари.** Мазкур тадқиқот ишининг асосий мақсади атмосферадаги кенг миқёсли жараёнлар, жумладан Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия жараёни билан республикада кузатилган мавсумий ёғингарчиликнинг боғлиқлигини миқдорий баҳолашдан иборат. Тадқиқотнинг мақсадига мос равишда: 1) илмий адабиётларда мавжуд тадқиқот ишига оид ишларни таҳлил қилиш, 2) республикада ҳудудидаги танланган метеорология станциялари иқлимий маълумотлар базасини яратиш, 3) станциялардан олинган метеорологик маълумотларнинг, хусусан, ёғингарчиликнинг

Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия жараёни билан боғлиқлигини миқдорий баҳолаш масалалари ишнинг асосий вазифалари этиб белгиланди.

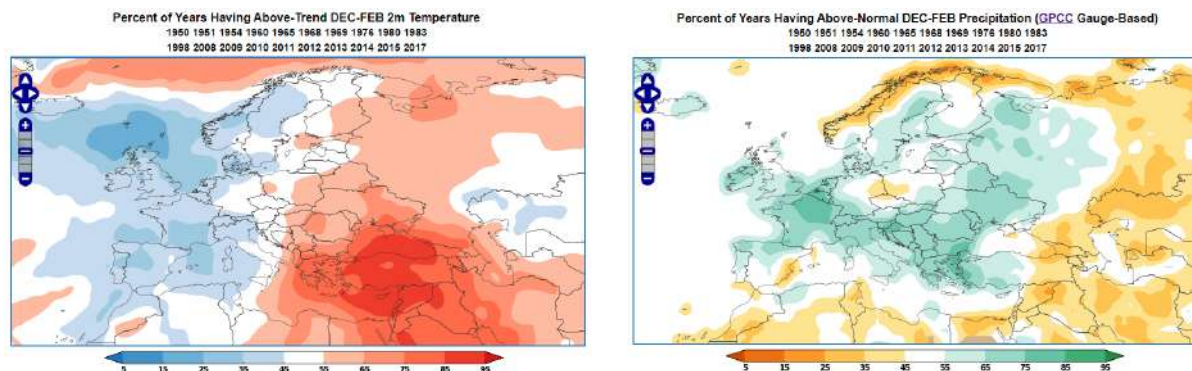


1-расм. Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия (EATL/WRUS) жараёнининг ижобий фазада даврида ҳарорат (чап томонда) ва ёғингарчиликнинг (ўнг томонда) тақсимланиши. Манба: [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

Рис. 1. Распределение температуры (слева) и осадков (справа) во время положительной фазы Восточно-атлантического – Западно-русского (EATL/WRUS) колебания. Источник: [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

Fig. 1. Distribution of temperature (left) and precipitation (right) during the positive phase of the East Atlantic – West Russia (EATL/WRUS) process.

Source: [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

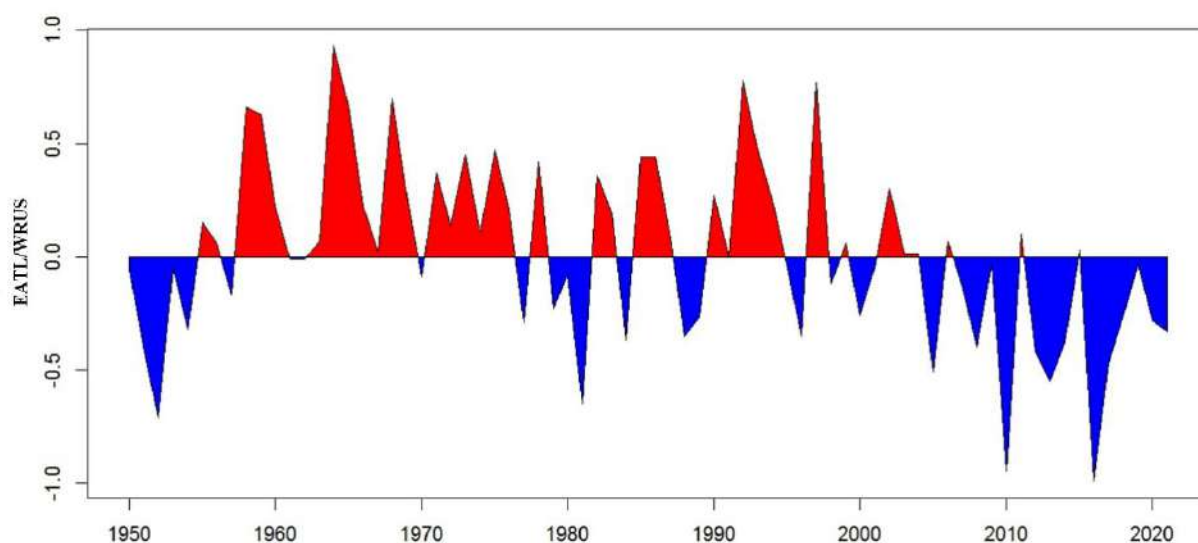


2-расм. Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия (EATL/WRUS) жараёнининг салбий фазада даврида ҳарорат (чап томонда) ва ёғингарчиликнинг (ўнг томонда) тақсимланиши. Манба: [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

Рис. 2. Распределение температуры (слева) и осадков (справа) во время отрицательной фазы Восточно-атлантического – Западно-русского (EATL/WRUS) колебания. Источник: [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

Fig. 2. Distribution of temperature (left) and precipitation (right) during the negative phase of the East Atlantic – West Russia (EATL/WRUS) process

Source: [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)



3-расм. Шарқий Атлантика – Ғарбий Россия (EATL/WRUS) индексининг йиллараро тебраниш графиги. Манба: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

Рис. 3. График межгодовых колебаний индекса Восточной Атлантики – Западной России (EATL/WRUS)  
Источник: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

Fig. 3. A graph of the interannual fluctuations of the East Atlantic – West Russia (EATL/WRUS) indices. Source: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

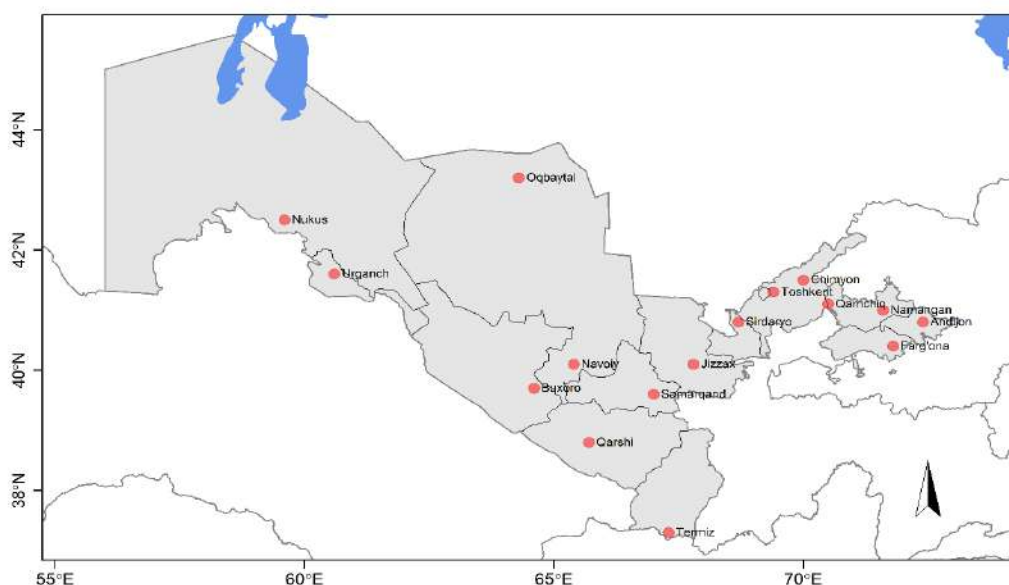
**Ишининг тадқиқот объекти ва предмети.** Кенг миқёсли атмосфера циркуляцияси EATL/WRUS жараёни тадқиқот ишининг объекти ҳисобланади. EATL/WRUS жараёнининг республикада қайд этилган иқлимий кўрсаткичлар, хусусан, ёғингарчилик билан корреляцион боғланишлари тадқиқот ишининг предмети ҳисобланади.

**Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усули.** Тадқиқот ишида Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази кузатув тармоғига кирувчи 15 та метеостанцияларда қайд этилган кўп йиллик (1990-2020 йй.) ёғингарчилик миқдорлари маълумотларидан фойдаланилди. EATL/WRUS циркуляцион индексининг 1990-2020 йилларда кузатилган тебраниш қийматлари АҚШнинг NOAA сайтидан олинди ва ўртача миқдорлари ҳисобланди [<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>].

Тадқиқот ишини бажаришда географик тавсифлаш, маълумотларни қайта ишлаш ва статистик таҳлил (Пирсон корреляцион боғланиши) усулларида кенг фойдаланилди. Пирсон корреляцион усули асосида танланган метеостанциялардаги ёғингарчилик қийматлари ва EATL/WRUS индекси орасидаги боғланишлар статистик баҳоланди. Метеорологик маълумотларни қайта ишлашда “MS Excel”, “XLSTAT” ҳамда “R” дастурларидан фойдаланилди.

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** EATL/WRUS циркуляцион жараёни ва республикада кузатилган ёғингарчилик орасидаги мавсумий боғлиқликни аниқлаш учун танланган метеостанциялар (4-расм) қуйидаги гуруҳларга ажратилди: Фарғона водийси (Фарғона, Наманган, Андижон), марказий (Тошкент, Сирдарё, Жиззах, Самарқанд), жанубий (Қарши ва Термиз), шимол ва шимоли-ғарбий (Навоий, Бухоро, Оқбайтал, Урганч, Нукус) ҳамда тоғли (Чимён ва Қамчиқ) худудлар. Метеостанцияларнинг кўп йиллик (1990-2020 йй.) ёғингарчиликка оид маълумотлари қайти ишланди ва таҳлил қилинди. Республикада ёғингарчиликнинг асосий қисми

ёғадиган ойлар, хусусан, декабрь, январь, февраль, март ва апрель ойлари танлаб олинди ва 3 ойлик мавсумий ёғинларнинг декабрь-февраль (ДЯФ), январь-март (ЯФМ), февраль-апрель (ФМА) ойлари учун ўртача кўп йиллик қийматлари ҳисобланди. EATL/WRUS индексининг декабрь, январь, февраль (ДЯФ) ойлари учун 30 йиллик ўртача қиймати ҳисобланди. EATL/WRUS (ДЯФ) учун олинган қийматларнинг юқорида қайд этилган метеостанцияларнинг мавсумий ёғин миқдорлари билан ўзаро корреляцион боғлиқлиги Пирсон усули асосида статистик таҳлил қилинди. Бунда EATL/WRUS декабрь-февраль (ДЯФ) индекси қийматлари олиниб, Ўзбекистондаги метеостанцияларнинг (ДЯФ) 0 ой силжитиш, EATL/WRUS (ДЯФ) ва Ўзбекистондаги метеостанцияларнинг (ЯФМ) –1 ой силжитиш, EATL/WRUS (ДЯФ) ва Ўзбекистондаги метеостанцияларнинг (ФМА) –2 ой силжитиш қийматларини Пирсон корреляцион ифодаси асосида мавсумий боғланишлари ҳисобланди (1-жадвал).



4-расм. Ўзбекистон ҳудудида тадқиқот иши учун танлаб олинган метеорология станцияларининг жойлашув картаси

Рис. 4. Карта расположения метеорологических станций, выбранных для исследования по территории Узбекистана

Fig. 4. Map of weather stations in Uzbekistan selected for research

Дастлабки EATL/WRUS (ДЯФ) ҳамда Ўзбекистон метеостанцияларнинг (ДЯФ) 0 ой силжитиш учун олинган энг юқори корреляция қийматлари Қарши (0,61) ва Самарқанд (0,55) метеостанцияларида, ушбу давр учун энг паст қийматлари Нукус ва Оқбайтал метеостанцияларида қайд этилди. Кейинги давр учун ҳам EATL/WRUS (ДЯФ) ва Ўзбекистондаги метеостанцияларнинг (ЯФМ) –1 ой силжитиш учун энг юқори корреляция қиймати Қарши метеостанциясида (0,51) қайд этилиб, энг паст кўрсаткич эса шимолий ҳудудларга тўғри келди. Сўнги танлаб олинган ойлар, яъни Ўзбекистондаги метеостанцияларнинг –2 ой силжитилган (ФМА) қийматлари ва EATL/WRUS (ДЯФ) индекси қийматларининг энг юқори боғлиқлиги яна Қарши (0,56) метеостанциясида қайд этилди (1-жадвал). Аҳамиятли жиҳати шундаки, метеостанцияларда кузатишган ёғингарчилик бўйича ойлари силжитиш орқали корреляция кўрсаткичи камайиб бориши аниқланди. Бу эса ўз ўрнида EATL/WRUS билан ёғингарчилик орасидаги боғлиқлик тўғридан-тўғри ўша мавсумнинг ўзида, яъни, (ДЯФ) мавсумида кузатилиши

1-жадвал

**EATL/WRUS индекси ва метеостанцияларда қайд этилган мавсумий ёғингарчилик орасида корреляцион боғланишлар**

Таблица 1

**Корреляционные связи между индексом EATL/WRUS и сезонными осадками, зарегистрированными на метеостанциях**

Table 1

**Correlation results between EATL/WRUS index and seasonal precipitation recorded at weather stations**

Худуд	Станциялар	Корреляция коэффициентлари		
		EATL/WRUS (ДЯФ) Ёғин (ДЯФ)	EATL/WRUS (ДЯФ) Ёғин (ЯФМ)	EATL/WRUS (ДЯФ) Ёғин (ФМА)
Шимол ва шимоли-ғарбий	Нукус	-0,001	0.065	0.179
	Урганч	0,154	0.027	-0.134
	Навой	0,441	0.262	0.167
	Бухоро	0,368	0.236	0.180
	Оқбайтал	0,026	-0.065	-0.036
Марказий	Тошкент	0,452	0.223	0.195
	Самарқанд	0,546	0.363	0.331
	Жиззах	0,462	0.260	0.266
	Сирдарё	0,470	0.108	0.132
Жанубий	Қарши	0,613	0.514	0.562
	Термиз	0,286	0.085	0.084
Фарғона водийси	Фарғона	0,198	0.049	0.256
	Андижон	0,368	0.145	0.180
	Наманган	0,489	0.381	0.371
Тоғли	Чимён	0,395	0.170	0.144
	Қамчиқ	0,098	0.135	0.264

мумкинлигини исботлайди. EATL/WRUS тебраниши индексларининг республикада кузатиладиган ёғингарчилик жараёнларига таъсиринини баҳолаш шимолий худудларда боғлиқланишлар кучсиз, марказий ва шарқий худудларда эса таъсир кўлами каттарок эканлигини кўрсатди. Жараён асосан республика худудига Ғарбий Россиядан кириб келувчи 5-тур (совуқ хавонинг шимоли-ғарбдан кириб келиши) ва 10-тур (хавонинг ғарбдан келиши) Ўрта Осиё синоптик жараёнлари билан бевосита боғлиқ. Ушбу тадқиқот ишида эришилган натижаларни [Khaydarov, Gerlitz, 2019] тадқиқот иши билан

солиштирганда деярли ўхшашликни кўриш мумкин. Жумладан, кенг миқёсли жараёнлар (Шимолий Атлантика Тебраниши ва ENSO) билан худуддаги метеостанцияларда қайд этилган ёғинлар миқдорлари орасидаги корреляцион боғланиш М. Khaydarov ва L. Gerlitz томонидан 0,6 қиймат атрофида эканлиги аниқланган.

**Хулоса.** Тадқиқот ишининг мақсади ва вазифаларига асосланган ҳолда эришилган натижаларга кўра хулоса сифатида куйидагиларни қайд этиш мумкин.

1. Кенг миқёсли циркуляцион жараён EATL/WRUS феномени ва республика худудидаги станцияларда кузатилган ёғингарчилик миқдорлари орасида корреляцион боғланиш мавжуд эканлиги қайд этилди.

2. Бошқа йирик атмосфера жараёнларига нисбатан EATL/WRUS тебраниши Россиянинг ғарбий қисмидан юртимизга кириб келишида масофанинг нисбатан қисқалиги ва рельеф жиҳатидан тўсиқларнинг камлиги туфайли тўғридан-тўғри Ўзбекистон иқлимига ўз таъсирини кўрсатади. Бу ҳолат асосан республиканинг шарқий ва жануби-шарқий худудларида ўз аксини топади.

3. Келгусида таҳлилга жалб этиладиган метеорология станциялари сонини кўпайтириш орқали корреляцион боғланишлар миқдорларининг аниқлигини янада ошириш мақсадга мувофиқ.

4. EATL/WRUS тебранишининг республикада кузатиладиган об-ҳаво, хусусан, ёғингарчилик ва ҳароратнинг шаклланишидаги аҳамиятини тадқиқ этиш узок муддатли об-ҳаво ва экстремал гидрометеорологик ҳодисаларни прогнозлаш усулларини такомиллаштириш имкониятини яратади.

**Миннатдорчилик.** Муаллифлар ушбу илмий мақолани тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти илмий тадқиқотчилари Г.А.Мамаджанова ва О.Л.Бабушкинга ўз миннатдорчиликларини билдирадилар.

**Муаллифлар ҳиссаси.** **З.Ш. Ўсаров:** методология, маълумотларни йиғиш, натижаларни таҳлил қилиш, мақола матнини ёзиш. **З.Э. Қуранбоева:** маълумотлар таҳлили, “R” дастури ёрдамида графиклар яратиш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган матнини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Иногамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т.* Особенности синоптических процессов Средней Азии. – Ташкент: САНИГМИ, 2003. – 486 с.

*Иногамова С.И., Мухтаров Т.М.* О колебаниях повторяемости и продолжительности типов региональной циркуляции Средней Азии // Труды НИГМИ. 2007. Вып. 9(254). – С. 115-135.

*Иногамова С.И.* Сезонные различия повторяемости и продолжительности синоптических процессов Средней Азии // Труды НИГМИ. 2009. Вып. 14(259). – С. 109-156.

*Иногамова С.И.* Современные тенденции изменений повторяемости и суммарной продолжительности синоптических процессов Средней Азии, их влияние на метеорологические явления // Труды НИГМИ. 2009. Вып. 14(259). – С. 25-83.

Календарь типов синоптических процессов Средней Азии. Вып. 4. / Под ред. С.И.Иногамовой. – Ташкент: НИГМИ, 2013. – 89 с.

*Нестеров Е.С.* Особенности состояния океана и атмосферы в разных фазах североатлантического колебания // Метеорология и гидрология. 1998. № 8. – С. 74–82.

*Салихова Д.Х.* Аэросиноптический метод краткосрочного прогноза снего-дождевых паводков в р. Кашкадарье // Теоритическая и прикладная метеорология. – Ташкент: Фан. 1975. Вып. 2. – С. 77-80.

*Салихова Д.Х.* Аэросиноптические условия формирования и прогноз паводков на горных реках (Ферганская долина, Кашкадарьинский бассейн). Автореф. дисс на соиск. ученой степени канд. географ. наук. – Ташкент, 1975. –17 с.

Салихова Д.Х., Тулеева Л.М. Аэросиноптический метод прогноза паводков на р. Варзоб // Тр. САРНИГМИ. 1979. Вып. 65 (146). – С. 9-12.

Синоптические процессы Средней Азии. Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М., Петросянц М.А., Пиеничный А.Я., Романов Н.Н., Чернышева О.Н. // Под ред. Сарымсакова Т.А., Бугаева В.А., Джорджио В.А., Петросянца М.А., Чернышевой О.Н. – Ташкент: АН Уз, 1957. – 477 с.

Холматжанов Б.М. Региональная циркуляция атмосферы, особенности ее влияния на изменение климата Средней Азии и загрязнение воздуха в горных районах Узбекистана. Дисс. на соиск. ученой степени док. географ. наук. – Ташкент, 2019. – 299 с.

Barnston, A.G., Livezey, R.E. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Weath. Rev, 1987. 115, 1083-1126.

Khaydarov M., Gerlitz L. Climate variability and change over Uzbekistan – an analysis based on high resolution CHELSA data // Central Asian Journal of Water Research, 2019. 5(2), 1-19. <https://www.doi.org/10.29258/cajwr/2019-r1.v5-2/1-19.eng>

Mamadjanova G., Wild S., Walz M.A., Leckebusch G.C. The role of synoptic processes in mudflow formation in the piedmont areas of Uzbekistan // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2018. 18, – PP. 2893-2919.

Mamadjanova G. Assessment of large-scale atmospheric circulation patterns impact on precipitation variability initiation for mudflow occurrences in Uzbekistan. American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 2019. San-Francisco, USA.

Schiemann R., Glazirina M.G. & Schär C. On the relationship between the Indian summer monsoon and river flow in the Aral Sea basin // Geophysical Research Letters, 2007. 34 (5).

Mathbout Sh., Lopez-Bustins J.A., Royé D., Martin-Vide J. Mediterranean-Scale Drought: Regional Datasets for Exceptional Meteorological Drought Events during 1975–2019 // Atmosphere, 2021. No. 8: 941.

Электрон ресурслар:

АҚШнинг NOAA сайти <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

Жаҳон иқлим хизмати сайти [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА СЕЗОННЫЕ ОСАДКИ В УЗБЕКИСТАНЕ (НА ПРИМЕРЕ КОЛЕБАНИЯ ВОСТОЧНАЯ АТЛАНТИКА – ЗАПАДНАЯ РОССИЯ)

З.Ш. УСАРОВ<sup>1</sup>, З.Э. КУРАНБОЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, [usarovzohid94@gmail.com](mailto:usarovzohid94@gmail.com)

**Аннотация.** Статья посвящена количественной оценке влияния колебания Восточная Атлантика – Западная Россия (EATL/WRUS), являющегося одной из крупномасштабных атмосферных циркуляций, на сезонные осадки по территории Узбекистана. В исследовании использовались среднемесячные данные осадков, зарегистрированные в 1990-2020 гг. по 15 метеостанциям республики. Выявлено, что существует связь между колебанием Восточная Атлантика – Западная Россия (EATL/WRUS) и сезонными осадками по территории страны. По корреляционному методу Пирсона наибольшая сезонная корреляция наблюдалась на метеостанциях Карши (0,61) и Самарканд (0,54), а наименьшая корреляция - в северных пустынных районах республики.

**Ключевые слова:** колебание Восточная Атлантика – Западная Россия (EATL/WRUS), атмосферные циркуляции, синоптические процессы, корреляция Пирсона.

**ASSESSMENT OF IMPACT OF LARGE-SCALE ATMOSPHERIC PROCESSES ON SEASONAL PRECIPITATION IN UZBEKISTAN (CASE STUDY OF EASTERN ATLANTIC – WESTERN RUSSIA OSCILLATION)****Z.Sh. USAROV<sup>1</sup>, Z.E. KURANBOYEVA<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, usarovzohid94@gmail.com

**Abstract.** *The article is devoted to the assessment of the impact of the large-scale atmospheric circulation – the Eastern Atlantic – Western Russia (EATL/WRUS) oscillation on the seasonal precipitation in Uzbekistan. The average monthly precipitation data recorded during 1990-2020 in 15 meteorological stations across the country were used in the research. Results show that there is a correlation between the Eastern Atlantic – Western Russia (EATL/WRUS) atmospheric process and seasonal precipitation in the country. According to the Pearson correlation, the highest seasonal correlation was observed in Karshi (0.61) and Samarkand (0.54) weather stations, while the lowest correlation was found in the northern desert regions of the country.*

**Keywords:** *Eastern Atlantic – Western Russia oscillation (EATL/WRUS), atmospheric circulations, synoptic processes, Pearson correlation.*

**REFERENCES**

- Bugaev V.A., Djordjio V.A., Kozik Ye.M., Petrosyants M.A., Pshenichniy A.Ya., Romanov N.N., Chernisheva O.N. Sinopticheskie protsessi Sredney Azii [Synoptic processes of Central Asia] // –Tashkent: AN Uz, 1957. – 477 s. (in Russian)
- Inogamova S.I., Muxtarov T.M., Muxtarov Sh.T. Osobennosti sinopticheskix protsessov Sredney Azii [Features of synoptic processes in Central Asia]. – Tashkent: SANIGMI, 2003. – 486 s. (in Russian)
- Inogamova S.I., Muxtarov T.M. O kolebaniyax povtoryaemosti i prodoljitelnosti tipov regionalnoy sirkulyatsii Sredney Azii [On fluctuations in the frequency and duration of types of regional circulation in Central Asia ] // Trudi NIGMI, 2007. Vip. 9 (254). – S. 115-135. (in Russian)
- Inogamova S.I. Sezonnii razlichiya povtoryaemosti i prodoljitelnosti sinopticheskix protsessov Sredney Azii [Seasonal differences in frequency and duration of synoptic processes in Central Asia] // Trudi NIGMI, 2009. Vip. 14(259). – S. 109-156. (in Russian)
- Inogamova S.I. Sovremennii tendentsii izmeneniy povtoryaemosti i summarnoy prodoljitelnosti sinopticheskix protsessov Sredney Azii, ikh vliyanie na meteorologicheskie yavleniya [Modern trends in the frequency and total duration of synoptic processes in Central Asia, their impact on meteorological phenomena] // Trudi NIGMI, 2009. Vip. 14 (259). – S. 25-83. (in Russian)
- Kalendar tipov sinopticheskix protsessov Sredney Azii [Calendar of types of synoptic processes in Central Asia] // Pod red. S.I.Inogamovoy. – Tashkent: NIGMI, 2013. Vip 4. – 89 s. (in Russian)
- Kholmatjanov B.M. Regionalnaya sirkulyatsiya atmosferi, osobennosti yeyo vliyaniya na izmenenie klimata Sredney Azii i zagryaznenie vozduxa v gornix rayonax Uzbekistana [Regional atmospheric circulation, features of influence on climate change in Central Asia and air pollution in the mountain regions of Uzbekistan] // –Tashkent, 2019. – 299 s. (in Russian)
- Nesterov Ye.S. Osobennosti sostoyaniya okeana i atmosferi v raznix fazax severoatlanticheskogo kolebaniya [Peculiarities of the State of the Ocean and the Atmosphere in Different Phases of the North Atlantic Oscillation] // Meteorologiya i gidrologiya. №8. 1998. – S. 74- 82. (in Russian)
- Salikhov D.X. Aerosinopticheskiy metod kratkosrochnogo prognoza snego-dojdevix pavadkov v r. Kashkadare [Aerosynoptic method of short-term forecast of snow-rainfall floods in the Khashkadarya river] // Teoriticheskaya i prikladnaya meteorologiya. – Tashkent: Fan, 1975. Vip. 2. – S. 77-80. (in Russian)
- Salikhov D.X. Aerosinopticheskiye usloviya formirovaniya i prognoz pavadkov na gornix rekax (Ferganskaya dolina, Kashkadarinskiy basseyn) [Aerosynoptic conditions of formation and forecast of floods on mountain rivers (Fergana Valley, Kashkadarya basin)] // Avtoref. diss. na soisk. uchenoy stepeni kand. geograf. nauk. –Tashkent, 1975. –17 s. (in Russian)

Salikhov D.X., Tukeev L.M. Aerosinopticheskiy metod prognoza pavodkov na reke Varzob [Aerosynoptic method for forecasting floods in the Varzob river] // Trudi NIGMI, 1979. Vip. 65 (146). – 9-12 s. (in Russian)

*Electronic resources:*

USA NOAA web-site <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

World Climate Service web-site [www.worldclimateservice.com](http://www.worldclimateservice.com)

УДК: 551.586

## ЙИЛНИНГ СОВУҚ ДАВРИДА ИНСОН ОРГАНИЗМИ ИССИҚЛИК ҲИССИЁТИГА ШАМОЛНИНГ ТАЪСИРИНИ БАҲОЛАШ (ТОШКЕНТ ВИЛОЯТИ МИСОЛИДА)

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,2\*</sup>, Э.И. АБДУЛАХАТОВ<sup>2</sup>, Д.Ў. ЯРАШЕВ<sup>2</sup>,  
С.У. БЕГМАТОВ<sup>2</sup>, Ф.М. ХАЛМАТЖАНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz, farhod.Holmatjonov.75@mail.ru

<sup>2</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, erik\_sen@mail.ru, drxnaryashev@mail.ru, sardor0752@gmail.com

**Аннотация.** Мақолада Тошкент вилоятининг 14 та ҳамда тадқиқот объектига яқин бўлган 4 та метеорология станцияларида маҳаллий вақт бўйича соат 14.00 да қайд этилган 10 йиллик (2011-2020 йиллар) метеорологик кузатиш маълумотлари таҳлил этилди. Йилнинг совуқ даври (октябрь-март) учун ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициентини асосида ҳисобланган иссиқлик ҳиссиёти шароитларига шамол тезлиги таъсирини ҳисобга олган ҳолда кўп йиллик ўртача биоиклимий шароитларнинг вақт бўйича ўзгариш хусусиятлари аниқланди. Тадқиқот объектининг турли баландлик минтақларида биоиклимий шароитлар декадалик тақсимотининг ГАТ карталари ArgGIS 10.8 дастури муҳитида IDW интерполяциялаш усули ёрдамида яратилди.

**Калит сўзлар:** туризм, биоиклимий шароит, иссиқлик ҳиссиёти, биоиклимий индекс, ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициентини, ГАТ.

**Кириш.** Туризм саноатининг фаолияти иқлимий шароитларга боғлиқлиги сабабли муайян мавсумийликка эга. Иқлим ўзгаришининг глобал миқёсда туризмнинг ривожланишига сезиларли таъсири сабабли бу муаммони тадқиқ этишга катта эътибор берилмоқда. Комфорт ва хавфсиз иқлимий шароитлар туризмнинг ривожланиши учун зарурий шартлар бўлиб, иқлимий комфорт биоиклимий индекслар ёрдамида баҳоланади. Иқлимий комфорт шароитларини тадқиқ этиш шаҳарсозлик, соғлиқни сақлаш, спорт ва бошқа инсон фаолияти турлари учун ҳам катта аҳамият касб этади.

Тошкент вилояти ўзининг табиий ва рекреацион салоҳияти бўйича республиканинг бошқа вилоятларига нисбатан турфа хил дам олиш ва диққатга сазовор масканларнинг кўплиги билан ажралиб туради. Дам олувчилар ва сайёҳлар учун жойнинг комфорт шароитларини баҳолашда табиий шароит, нодир табиий ва маданий-тарихий объектларнинг мавжудлиги ва хилма-хиллиги, ландшафтларнинг рекреацион имкониятлари ва албатта, жойнинг биоиклимий шароитлари асосий омиллар сифатида ҳисобга олинади [Абдулахатов, Холматжонов, 2022].

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 31 декабрдаги “2019-2021 йилларда Тошкент вилоятида туризм соҳасини жадал ривожлантириш тўғрисида”ги 1053-сон қарорида [<https://lex.uz/ru/docs/4673605>] белгиланган вазифаларга

\* Масъул муаллиф: b.xolmatjanov@nuu.uz, тел.: +998 99 878-51-27

мувофик, Тошкент вилоятида бир қатор тоғ-биосфера дам олиш масканлари яратилди. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 27 августдаги “Бўстонлик туманида бошқарувнинг алоҳида тартибини жорий этиш орқали туризмни жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-6053-сон Фармони [<https://lex.uz/docs/4971096>] ижросини амалга оширишда ҳудудларнинг биоиклимий шароитларини баҳолаш алоҳида долзарбликка эга. Кузатилаётган иқлим ўзгариши шароитида турли хил баландлик минтақаларида жойлашган Тошкент вилояти ҳудудида туристик тадбирларни самарали ташкил этиш учун туристик дестинацияларда мавжуд биоиклимий шароитлар албатта эътиборга олинishi зарур.

Жаҳонда туризм мақсадларида фойдаланиш учун биоиклимий шароитларни тадқиқ этишга бағишланган кўп сонли илмий ишлар эълон қилинган. Мавжуд илмий адабиётларда биоиклимий шароитларни тавсифловчи ахборотни биоиклимий индекслар ёрдамида ҳавола қилиш қабул қилинган [Холматжонов ва бошқ., 2021]. Сўнги 50 йил давомида бир қатор биоиклимий индекслар муомалага киритилган ва ташқи муҳитнинг инсон танаси иссиқлик ҳиссиёти шароитларига таъсирини тадқиқ этишда улардан кенг фойдаланилмоқда. Ушбу индекслар “эмпирик индекслар” ва “рационал индекслар”га ажратилади [Brake et al., 2002; Blazejczyk et al., 2012; Yan et al., 2013]. Эффе́ктив ҳарорат (ET) [Houghton et al., 1923], ҳарорат ва намлик индекси (ТН) [Thom, 1957], шамол таъсири индекси (WEI) [Terjung, 1966] ва бошқа бир қатор индекслар “эмпирик индекслар” қаторига кириб, инсон организмнинг субъектив иссиқлик ҳиссиёти ёки физиологик реакцияларини тавсифловчи индекслар ҳисобланади. “Рационал индекслар” муайян ҳисоблаш моделларига асосланган бўлиб, туризм иқлим индекси (ТСИ) [Mieczkowski, 1985], физиологик эквивалент ҳарорат (РЕТ) [Ho’ppe, 1999; Matzarakis, 2014], иқлимий туризм индекси (СИТ) [De Freitas et al., 2008], универсал туризм иқлим индекси (УТСИ) [Blazejczyk et al., 2012] ва бошқа кўрсаткичлар гуруҳидан иборат.

МДХ мамлакатларида С.С.Андреев, И.А.Арнольд, Д.Ассман, В.Г.Бокша, Н.М.Воронин, О.Е.Гарабати́ров, Е.Г.Головина, В.И.Русанов, М.В.Исаева, Ю.П.Переведенцев, А.В.Шумихина ва бошқа кўплаб олимларнинг илмий ишларида турли ҳудудларнинг биоиклимий шароитлари инсон саломатлигига таъсири, иқлимий терапия, шаҳарсозлик ва биометеорологиянинг бошқа турли муаммоларини тадқиқ этиш орқали баҳоланган [Абдикулов, 2022].

Ўзбекистонда илк биометеорологик тадқиқотлар ўтган асрнинг 60-90-йилларида Б.А.Айзенштат ва Л.П.Лукина томонидан амалга оширилган бўлса [Айзенштат, 1978; Айзенштат, Лукина, 1982], ҳозирги вақтда бу турдаги тадқиқотлар Ю.В.Петров, Б.М.Холматжанов, М.М.Махмудов, Ф.И.Абдикулов ва бошқалар томонидан давом эттирилмоқда. Б.М.Холматжанов, Ф.И.Абдикулов ва С.У.Бегматовларнинг тадқиқот ишларида Ўзбекистон ҳудуди учун биоиклимий шароитларни тадқиқ этишда Ю.В.Петров ва А.Қ.Абдуллаев томонидан биометеорологик индекс сифатида таклиф этилган ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффи́циенти (ТГК)дан фойдаланиб, Бухоро, Тошкент, Самарқанд ҳамда Хива шаҳарлари учун “иқлимий-туристик-ахборот схема”лари ишлаб чиқилган [Холматжонов ва бошқ., 2020, 2021]. Ф.И.Абдикулов Самарқанд вилоятининг биоиклимий шароитларининг вақт ва макондаги ўзгаришини тадқиқ этиб, ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффи́циенти орқали аниқланган иссиқлик ҳиссиёти зоналарининг такрорланувчанлиги ва унинг ўзгаришларини баҳолаган [Абдикулов, 2022]. Бироқ, мазкур тадқиқот ишларида инсон организми иссиқлик ҳиссиётига шамол тезлигининг таъсири инобатга олинмаган.

ТГК ёрдамида биоиклимий шароитларни баҳолашда шамол тезлигини ҳисобга олиш масаласи Э.И.Абдулаҳатов ва Ф.М.Халматжановларнинг тадқиқот ишларида учрайди [Абдулаҳатов, Халматжанов, 2022]. Мазкур тадқиқот ишида Тошкент вилояти Оҳангарон дарё ҳавзасида жойлашган Дукант тоғли метеорология станциясида шамол

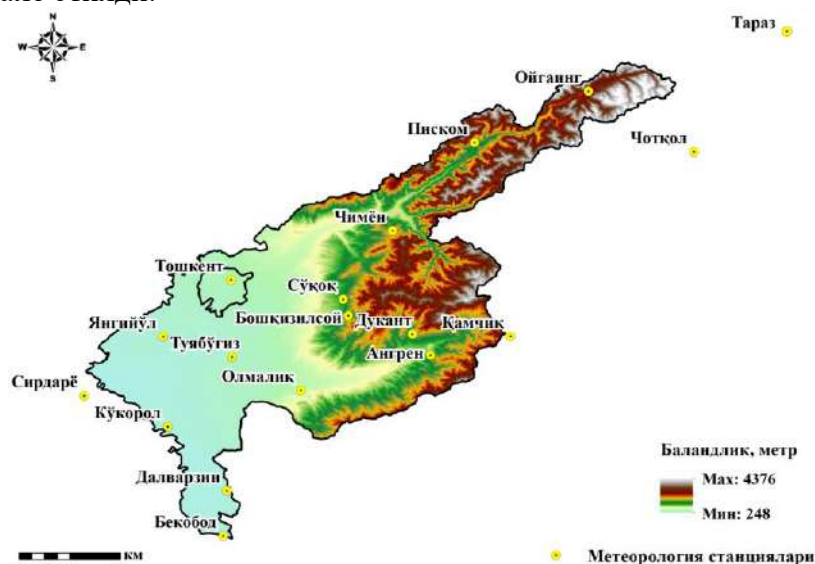
таъсирини эътиборга олинганида иссиқлик ҳиссиёти шароитларининг йил ичида тақсмоти шамол омилини инobatга олмай ҳисобланган иссиқлик ҳиссиёти шароитларига нисбатан совуқроқ зоналарга силжиши кўрсатиб берилган. Аммо, Ўзбекистоннинг турли баландлик минтақалари учун шамол омилининг биоиклимий шароитларга таъсирини баҳолаш бўйича илмий тадқиқот ишлари бажарилмаган.

**Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари.** Тошкент вилояти ҳудудида йилнинг совуқ даврида 14.00 кузатув муддати учун иссиқлик ҳиссиёти шароитларининг декадалик тақсмотини аниқлаш тадқиқотнинг **мақсади**, метеорологик кузатув маълумотлари асосида ТГК ни ҳисоблаш, натижаларни статистик қайта ишлаш орқали унинг вақт давомидаги (декада) ўзгарувчанлигини баҳолаш ҳамда аниқланган иссиқлик ҳиссиёти зоналарини ГАТ ёрдамида карталаштириш тадқиқотнинг **вазифаси** ҳисобланади.

**Тадқиқот объекти ва предмети.** Тошкент вилояти ҳудуди тадқиқот **объекти**, унинг биоиклимий шароитлари эса тадқиқотнинг **предмети** ҳисобланади.

Тошкент вилояти Ўзбекистоннинг шимоли-шарқий қисмида жойлашган. Мазкур ҳудуд Чирчиқ ва Оҳангарон дарёлари ҳавзаларини ўз ичига олиб, жануби-ғарбда Сирдарё дарёси билан чегараланади. Вилоятнинг шимоли-ғарбида унинг чегараси Ўзбекистон билан Қозоғистоннинг Келес водийси, Қоржонтов ва Угом тизмаси орқали ўтадиган чегарасигача, шимоли-шарқда ва шарқда республикамизнинг Қирғизистон билан Талас, Писком ва Чотқол тизмалари орқали ўтадиган чегарасига тўғри келади. Жануби-шарқда Курама тизмаси ҳавзани Фарғона водийсидан ажратиб туради [Абдулахатов ва бошқ., 2022; Заитов ва бошқ., 2021]. Тадқиқот объектининг орографияси мураккаб тузилишга эга: унинг жануби-ғарбий қисми текислик, шимоли-шарқий ва шарқий қисми тоғли ҳудудлардан иборат (1-расм).

**Бирламчи маълумотлар.** Тадқиқот ишини бажаришда Ўзгидрометнинг Гидрометеорология фондида сақланаётган 15 та метеорология станцияларида 2011-2020 йиллар мобайнида қайд этилган муддатли кузатув маълумотларидан фойдаланилди. Биоиклимий шароитлар ГАТ карталарини яратишда Қозоғистоннинг Тараз, Қирғизистоннинг Чотқол ҳамда Сирдарё метеорология станцияларида қайд этилган маълумотлар жалб этилди.



1-расм. Тадқиқот объекти ва метеорология станциялари жойлашув карта-схемаси

Рис. 1. Карта-схема объекта исследования и расположения метеорологических станций

Fig. 1. Map-scheme of the study area and location of meteorological stations

**Тадқиқот усуллари.** Тошкент вилоятида шаклланувчи иссиқлик ҳиссиёти шароитларини баҳолаш Ю.В.Петров ва А.Қ.Абдуллаевлар томонидан таклиф этилган ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициенти ёрдамида бажарилди [Петров, Абдуллаев, 2010; Холматжанов ва бошқ., 2020; 2021; Холматжонов, Бегматов, 2022; Kholmatjanov et al., 2020]:

$$K = \frac{t - \tau}{T} = \frac{\Delta}{T}, \quad (1)$$

бу ерда:  $T$  – ҳаво ҳарорати (Кельвин),  $t$  – ҳаво ҳарорати ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\tau$  – шудринг нуқтаси ҳарорати ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t - \tau = \Delta$  – шудринг нуқтаси дефицити ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Ҳаво ҳарорати ва ТГК боғлиқлиги асосида аниқланган инсон организми иссиқлик ҳиссиётининг 1 – ўта совуқ, 2 – совуқ, 3 – комфорт, 4 – нисбий комфорт, 5 – иссиқ ва 6 – ўта иссиқ зоналари таснифидан фойдаланилди [Холматжанов ва бошқ., 2021].

ТГК асосида аниқланган иссиқлик ҳиссиёти шароитларига шамол тезлигининг таъсирини ҳисобга олиш учун И.А.Арнольд томонидан таклиф этилган “об-ҳаво қаҳратонлиги” коэффициенти қўлланилди. Мазкур коэффицент эмпирик усул билан аниқланган бўлиб, унга кўра шамол тезлигининг 1 м/с га ортиши ҳаво ҳароратининг шартли равишда  $2^{\circ}\text{C}$  га пасайишига олиб келади ва қуйидаги формула бўйича ҳисобланади [Арнольд, 1962]:

$$T = t - 2V, \quad (2)$$

бу ерда:  $T$  – Арнольд бўйича “об-ҳаво қаҳратонлиги” коэффициенти,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $V$  – шамол тезлиги, м/с;  $t$  – ҳаво ҳарорати,  $^{\circ}\text{C}$ .

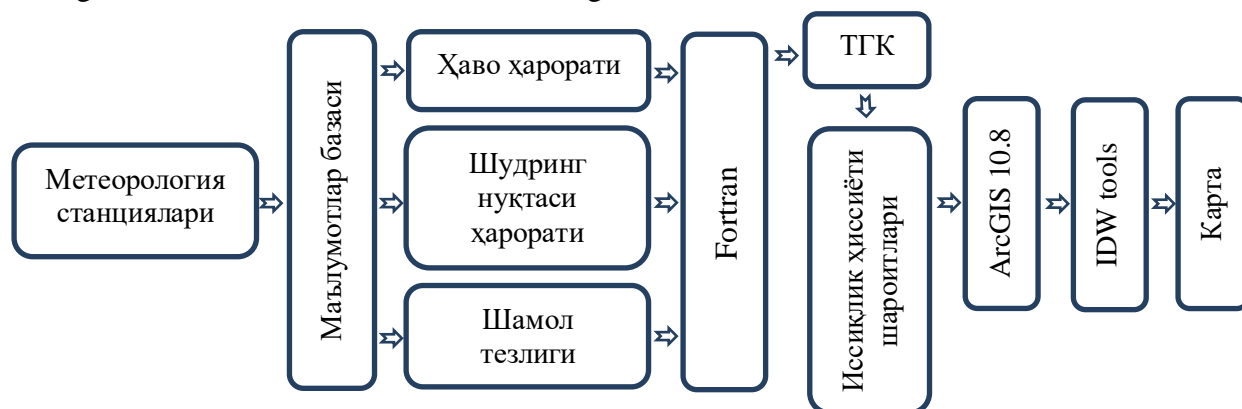
Метеорология станцияларида шамол тезлиги одатда 10 м баландликда ўрнатилган қурилмалар ёрдамида ўлчанади. Қолган барча метеорологик катталиклар ер сиртидан 2 м баландликда ўлчанганлиги сабабли, шамол тезлигини ҳам айнан шу баландлик учун аниқлаш талаб этилади. Одатда, атмосферанинг ер сиртига чегарадош қуйи қатламида шамол тезлиги баландлик бўйлаб ортиб боради. Атмосферанинг бу қатламида кузатиладиган турли стратификация шароитлари учун шамол тезлигининг баландлик бўйлаб ўзгаришлари атрофлича тадқиқ этилган бўлиб, тезликнинг баландлик бўйича тақсимоли логарифмик ёки кўрсаткичли функциялар орқали ифодаланади [Попов, 1975]. Тадқиқот ишида шамол тезлигининг баландлик бўйича ўзгаришини аниқлаш учун юқорида қайд этилган илмий адабиётларда келтирилган кўрсаткичли функциядан фойдаланилди:

$$V(z) = V_h (z/z_h)^{\alpha}, \quad (3)$$

бу ерда:  $V(z)$  –  $z$  баландликдаги шамол тезлиги, м/с;  $V_h$  – флюгер баландлигидаги шамол тезлиги (одатда  $h=10$  м), м/с;  $\alpha$  – тўшалган сиртнинг ғадир-будурлик коэффициенти. Ғадир-будурлик коэффициенти турли рельефлар учун турли қийматларга эга. Очiq денгиз қирғоқлари, кўл ва сув омборлари, текислик, чўл, дашт, ўрмон-дашт, тундра ҳудудларида  $\alpha_A=0,16$ , шаҳар ҳудудлари, баландлиги 10 метргача бўлган бино-иншоот ва турли қурилиш объектларидан иборат ҳудудларда  $\alpha_B=0,22$  ҳамда баландлиги 25 метрдан юқори қурилиш объектларидан иборат йирик шаҳарларда  $\alpha_C=0,33$  га тенг.

ТГКни ҳисоблаш, ҳисоблаш натижаларини статистик қайта ишлаш ва шамол омили таъсирида иссиқлик ҳиссиёти зоналарининг декадалар бўйича такрорланувчанлигини ҳисоблаш алгоритмлари тузилди ҳамда Fortran дастурлаш тилида ёзилган махсус

ҳисоблаш дастури ёрдамида бажарилди. Иссиқлик ҳиссиёти зоналари ArcGIS 10.8 дастури муҳитида IDW интерполяциялаш усули бўйича таҳлил қилинди ҳамда тақсимот карталарида акс эттирилди (2-расм). Карталаштириш жараёнида туризм соҳасига метеорологик хизмат кўрсатиш бўйича илғор жаҳон тажрибасидан фойдаланилди [Lo, Yeung, 2007; Matallah et al., 2020; Sharif, Oguz, 2020].



2-расм. Тадқиқот схемаси

Рис. 2. Схема исследования

Fig. 2. Flowchart of the study

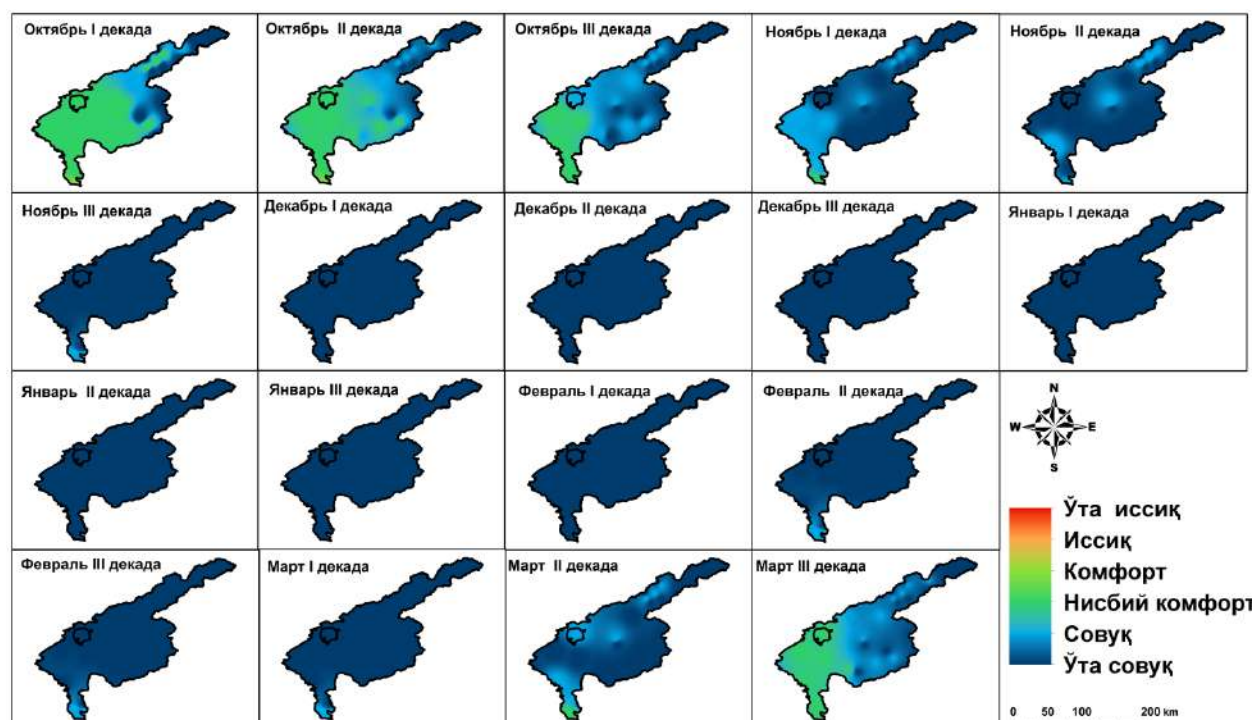
Биоиклимий шароитлар картаси сайёҳларга йилнинг совуқ даврида об-ҳаво шароитларини ҳисобга олган ҳолда таътил ва дам олиш вақтини режалаштириш имкониятини яратади ва куйидаги ташкил этувчиларни ўз ичига олади: совуқлик стресси (ТГК=1- ва 2-зона), термик комфорт (ТГК=3-зона), нисбий комфорт (ТГК=4-зона) ва иссиқлик стресси (ТГК=5- ва 6-зона).

**Тадқиқот натижалари ва уларнинг муҳокамаси.** Кўп йиллик кузатув маълумотларини ўртачалаш орқали йилнинг совуқ даврида 14.00 кузатув муддатидаги иссиқлик ҳиссиёти шароитларининг декадалар ичидаги қийматлари ҳисобланди. Тадқиқот даври мобайнида қайд этилган барча иссиқлик ҳиссиёти зоналарининг фоизларда ифодаланган такрорланувчанлиги ҳар бир ойнинг декадалар кесимида ҳисобланди. Декадага хос бўлган устувор иссиқлик ҳиссиёти зонаси сифатида такрорланувчанлиги энг катта бўлган ҳиссиёт зонаси қабул қилинди.

Олинган натижаларга кўра, Тошкент вилоятида қишнинг барча ойлари, ноябрнинг учинчи ва мартнинг биринчи ўн кунлигида сутканинг 14.00 муддатида тўлиқ ўта совуқ иссиқлик ҳиссиёт шароити (1-зона) устуворлик қилади (3-расм). Февралнинг иккинчи ва учинчи, мартнинг биринчи ва ноябрнинг учинчи ўн кунликларида фақат Тошкент вилоятининг жанубида жойлашган Бекобод станцияси ҳудудида совуқ иссиқлик ҳиссиёти шароити (2-зона) ҳукмронлик қилади. Ноябрьнинг биринчи ва иккинчи ҳамда мартнинг иккинчи декадасида вилоят ҳудудида 1-зона шароити устувор бўлса-да, тадқиқот объектининг жанубий ва жануби-ғарбий ҳамда Сўқоқ ва Писком тоғ метеорология станциялари ҳудудларида 2-зона шароитлари қайд этилади. Бекобод метеорология станцияси ҳудудида эса бу даврда комфорт шароитлари (3-зона) кузатилган. Октябрь ва мартнинг учинчи декадасида тадқиқот объектининг текислик қисми комфорт шароити (3-зона) билан тавсифланса, тоғ олди ва баъзи тоғ станциялари ҳудудларида совуқ зона (2-зона) шароитлари, баланд тоғли ҳудудларда эса 1-зона шароити устувор ҳисобланади.

Шундай қилиб, йилнинг совуқ даврида 14.00 кузатув муддати учун Тошкент вилоятининг текислик ҳудудларида туристик нуктаи-назардан энг қулай бўлган давр октябрнинг барча декадалари ҳамда мартнинг учинчи декадаси ҳисобланади. Ноябрьнинг

биринчи ва мартнинг иккинчи ўн кунлигида тадқиқот объектининг жанубида жойлашган Бекобод метеорология станциясида инсон организми иссиқлик ҳиссиёти шароитларининг комфорт зонаси кузатилади.



3-расм. Тошкент вилоятининг совуқ ярим йиллик учун биоиклимий шароит картаси

Рис. 3. Карта биоклиматических условий Ташкентской области для холодного полугодия

Fig. 3. Bioclimatic conditions map of the Tashkent region for the cold half-year

**Хулоса.** Мазкур ишда ТГК асосида биоиклимий шароитларни баҳолашда шамол тезлигини ҳисобга олиш масаласи кўриб чиқилди ва Тошкент вилоятининг турли баландлик минтақаларида 14.00 кузатув муддати учун иссиқлик ҳиссиёти зоналарининг тақсимот карталари яратилди. Вилоят ҳудудида тадқиқот даврида шамол тезлиги таъсирида иссиқлик ҳиссиёти зоналари октябрь, ноябрнинг биринчи ва иккинчи ҳамда мартнинг иккинчи ва учинчи ўн кунликларида баландлик минтақалари бўйича ўзгаришга эга эканлиги кўрсатиб берилди. Қиш ойлари, март ойининг биринчи ва ноябрнинг учинчи ўн кунликлари давомида тадқиқот объектининг барча станцияларда ўта совуқ иссиқлик ҳиссиёти шароитлари қайд этилиши аниқланди.

**Миннатдорчилик.** Мазкур тадқиқот Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтида амалга оширилаётган АЛ-47-тур21071175 “Биоиклимий шароитларни ҳисобга олган ҳолда туризм ҳудудларида турпакетларни диверсификацияловчи ҳамда Ўзбекистон туристик салоҳиятини кўрсатувчи картографик модел ва унинг мобил иловасини яратиш” амалий лойиҳаси доирасида бажарилди.

**Муаллифлар ҳиссаси.** **Б.М. Холматжанов:** мақола ғояси, натижаларни текшириш, натижалар таҳлили, матнни ёзиш, мақолани расмийлаштириш, раҳбарлик. **Э.И. Абдулахатов:** методология, натижалар таҳлили, матнни ёзиш, мақолани расмийлаштириш. **Д.Ў. Ярашев:** маълумотларни қайта ишлаш, ГАТ карталарини тузиш. **С.У. Бегматов:** маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш, натижалар таҳлили.

**Ф.М. Халматжанов:** маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш, натижалар таҳлили. Барча муаллифлар кўлэзмининг нашрга тайёрланган матнини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Абдулахатов Э.И., Халматжанов Ф.М.* Оҳангарон дарё хавзаси ландшафтларининг иқлимий характеристикаси ҳамда табиий ва рекреацион салоҳияти / Иқлим ўзгариши шароитида гидрометеорологик тадқиқотлар. Халқаро илмий-амалий конференция материаллари тўплами. ЎзМУ. – Тошкент: 2022. – Б. 31-36.

*Абдулахатов Э.И., Халматжанов Ф.М.* Инсон организми иссиқлик ҳиссиётига шамолнинг таъсирини баҳолаш / Географик тадқиқотлар: “Инновацион ғоялар ва ривожланиш истиқболлари” мавзусидаги II Халқаро илмий-амалий конференция тўплами. ЎзМУ. – Тошкент: 2022. – Б. 555-558.

*Абдулахатов Э.И., Халматжанов Ф.М., Ярашев Д.У.* Тошкент вилоятининг иқлимий тавсифи / Фундаментал ва амалий географик тадқиқотларда инновациялар. Республика илмий-амалий конференцияси. 2022 йил 14-15 октябрь. ЎзМУ. – Тошкент: 2022. – Б. 224-227.

*Абдиқулов Ф.И.* Самарқанд вилояти биоиклимий шароитлари ва улардан туризмни ривожлантиришда фойдаланиш имкониятлари. Геогр. фан. бўй. фалс. докт. (PhD) дисс. автореф. – Тошкент, 2022. – 44 б.

*Айзенитат Б.А.* Рекомендации по описанию климата большого города. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 109 с.

*Айзенитат Б.А., Лукина Л.П.* Биоклимат и микроклимат Ташкента. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 128 с.

*Андреев С.С.* Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного федерального округа России. – С-Пб.: Изд. РГГМУ, 2011. – 304 с.

*Арнольди И.А.* Акклиматизация человека на Севере и Юге. – М.: Медгиз, 1962. – 71 с.

*Заитов Ш.Ш., Абдулахатов Э.И., Ярашев Д.У.* Ўзбекистоннинг шимоли-шарқий дарё хавзаларида 2010-2019 йилларда кузатишган қурғоқчилик хавфини баҳолаш // Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги, 2021. №4. – С. 30-43.

*Петров Ю.В., Абдуллаев А.К.* К вопросу оценки сухости воздуха // Метеорология и гидрология. – М.: НИЦ «Планета», 2010. – № 10, – С. 90-95.

*Попов А.М.* Расчетные профили метеорологических характеристик в планетарном пограничном слое атмосферы. – Л.: ЛГМИ, 1975. – 98 с.

*Холматжанов Б.М., Петров Ю.В., Абдикулов Ф.И., Абдикулова М.Р., Сайтиддинов З.Ф., Махмудов М.М., Халматжанов Ф.М.* Условия теплового комфорта города Ташкент / Илм-фан ва инновацион ривожланиш, 2020. №2. – Б. 74-82.

*Холматжанов Б.М., Петров Ю.В., Абдикулов Ф.И.* Имом ал-Бухорий мажмуаси худудининг биоиклимий шароитлари // Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги, 2021. №2. – Б. 19-31.

*Холматжанов Б.М., Бегматов С.У.* Бухоро шахрининг биоиклимий шароитлари // Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги, 2022. №2. – Б. 21-32.

*Blazejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H., Tinz B.* Comparison of UTCI to selected thermal indices // International Journal of Biometeorology, 2012. Vol.56, No.3. – PP. 515-535.

*Brake R., Bates G.* A valid method for comparing rational and empirical heat stress indices // The Annals of Occupational Hygiene, 2002. Vol.46, No.2. – PP. 165-174.

*De Freitas C.R., Scott D., McBoyle G.* A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification // International Journal of Biometeorology, 2008. Vol.52, No.5. – PP. 399-407.

*Houghton F.C., Yaglo C.P.* Determining equal comfort lines // Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers, 1923. Vol.29. – PP. 165-176.

*Ho'ppe P.R.* The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment // International Journal of Biometeorology, 1999. Vol.39. – PP.71-75.

*Kholmatjanov B.M., Petrov Yu.V., Abdikulov F.I., Abdikulova M.R., Saypiddinov Z.F., Makhmudov M.M., Khalmatjanov F.M., Safarov F.B.* Bioclimatic Resources and Their Consideration for Tourism Development in Selected Destinations of Uzbekistan // Indonesian Journal of Law and Economics Review (IJLER). 7 (0). doi: 10.21070/ijler.2020.V7.481.

*Lo C.P., Yeung A.K.W.* Concepts and Techniques of Geographic Information Systems Prentice Hall, New Jersey. 2007. – 532 p.

*Matallah M.E., Alkama D., Ahriz A., Attia S.* Assessment of the Outdoor Thermal Comfort in Oases Settlements // Atmosphere, 2020. 11(2):185 – PP. 1-17. doi.org/10.3390/atmos11020185.

*Matzarakis A.* Transfer of climate data for tourism applications – The Climate-Tourism/Transfer-Information-Scheme // Sustain. Environ. Res., 2014.24(4). – PP. 273-280.

*Mieczkowski Z.* The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism // The Canadian Geographer/ Le G'oeographe Canadien, 1985. Vol.29, No.3, – PP. 220-233.

*Sharif Sh.H., Oguz H.* Assesment of bioclimatic comfort zones using the Rayman model: A case study of Sulaimani – Iraq // Turkish Journal of Forest Science, 2020. 4(2). – PP. 408-423.

*Terjung W.H.* Physiolog climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based on man// Annals of the Association of American Geographers, 1966. Vol.56, No.1. – PP.141-179.

*Thom E.C.* A New Concept for Cooling Degree Days // Weather Bureau, Silver Spring, MA, USA. 1957.

*Yan Y.C., Yue S.P., Liu X.H., Wang D.D., Chen H.* Advances in assessment of bioclimatic comfort conditions at home and abroad // Advances in Earth Science, 2013. Vol.28, No.10. – PP. 1119-1125.

*Электрон манбалар:*

<https://lex.uz/ru/docs/4673605>

<https://lex.uz/docs/4971096>

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕТРА НА ТЕПЛООЩУЩЕНИЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА (НА ПРИМЕРЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,2</sup>, Э.И. АБДУЛАХАТОВ<sup>2</sup>, Д.Ў. ЯРАШЕВ<sup>2</sup>,  
С.У. БЕГМАТОВ<sup>2</sup>, Ф.М. ХАЛМАТЖАНОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, bkhoh@mail.ru, farhod.Holmatjonov.75@mail.ru

<sup>2</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, erik\_sen@mail.ru, drxnuyarashev@mail.ru, sardor0752@gmail.com

**Аннотация.** В статье проанализированы данные 10-летних (2011-2020 гг.) метеорологических наблюдений в срок 14.00 по местному времени на 14 метеорологических станциях Ташкентской области и 4 метеорологических станциях, расположенных вблизи объекта исследования. Выявлены особенности временного изменения средних многолетних биоклиматических условий для холодного периода года (октябрь-март) с учетом влияния скорости ветра на условия теплоощущения, рассчитанные на основе термогигрометрического коэффициента сухости воздуха. Созданы ГИС карты декадного распределения биоклиматических условий в различных высотных зонах объекта исследования с использованием метода интерполяции IDW в программной среде ArcGIS 10.8.

**Ключевые слова:** туризм, биоклиматическое условие, теплоощущение, биоклиматический индекс, термогигрометрический коэффициент сухости воздуха, ГИС.

**ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF WIND ON THE HEAT SENSATION  
OF THE HUMAN BODY IN THE COLD PERIOD OF THE YEAR  
(ON EXAMPLE OF THE TASHKENT REGION)**

**B.M. KHOLMATJANOV<sup>1,2</sup>, E.I. ABDULAKHATOV<sup>2</sup>, D.U. YARASHEV<sup>2</sup>,  
S.U. BEGMATOV<sup>2</sup>, F.M. KHALMATJANOV<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, bkhoh@mail.ru, farhod.Holmatjonov.75@mail.ru

<sup>2</sup> Hydrometeorological Research Institute, erik\_sen@mail.ru, drxnnyarashev@mail.ru, sardor0752@gmail.com

**Abstract.** *The article analyzes the data of 10-year (2011-2020) meteorological observations at 14.00 local time at 14 meteorological stations of the Tashkent region and 4 meteorological stations located near the object of study. Based on the calculation of the thermohygrometric coefficient of air dryness, the features of the temporal change in the average long-term bioclimatic conditions for the cold period of the year (October-March) are revealed, taking into account the influence of wind speed on the conditions of heat sensation. GIS maps of the ten-day distribution of bioclimatic conditions in different altitudinal zones of the object of study were created using the IDW interpolation method in the ArcGIS 10.8 software environment.*

**Keywords:** *tourism, bioclimatic condition, thermal sensation, bioclimatic index, thermohygrometric coefficient of air dryness, GIS.*

## REFERENCES

*Abdulakhatov E.I., Khalmatjanov F.M.* Ohangaron daryo havzasi landshaftlarining iklmiiy harakteristikasi hamda tabiiy va rekreatsion salohiyati [Climatic characteristic and natural and recreational potential of the landscapes of the Akhangaran river basin] / Iklm uzgarishi sharoitida gidrometeorologik tadkikotlar: halkaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari tuplami. UzMU. – Toshkent: 2022. – B. 31-36. (in Uzbek)

*Abdulakhatov E.I., Khalmatjanov F.M.* Inson organizmi issiklik hissiyotiga shamolning tasirini baholash [Assessment of the influence of wind on the thermal sensation of the human organism] / Geografik tadkikotlar: “Innovatsion goyalar va rivojlanish istiqbollari” mavzusidagi II Khalkaro ilmiy-amaliy konferensiya tuplami. UzMU. – Toshkent: 2022. – B. 555-558. (in Uzbek)

*Abdulaxatov E.I., Khalmatjanov F.M., Yarashev D.U.* Toshkent viloyatining iklmiiy tavsifi [Climatic description of Tashkent region] / Fundamental va amaliy geografik tadkikotlarda innovatsiyalar. Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. 2022 yil 14-15 oktyabr. UzMU. – Toshkent: 2022. – B. 224-227. (in Uzbek)

*Abdikulov F.I.* Samarkand viloyati bioiklmiy sharoitlari va ulardan turizmni rivojlantirishda foydalanish imkoniyatlari [Bioclimatic conditions of the Samarkand region and opportunities for their use in the development of Tourism]. Geogr. fan.boy. fals. doct. (PhD) diss. avtoref. – Toshkent, 2022. – 44 b. (in Uzbek)

*Ayzenshtat B.A.* Rekomendatsii po opisaniyu klimata bolshogo goroda [Recommendations for describing the climate of a big city]. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 109 s. (in Russian)

*Ayzenshtat B.A., Lukina L.P.* Bioklimat i mikroklmat Tashkenta [Bioclimate and microclimate of Tashkent]. – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 128 s. (in Russian)

*Andreyev S.S.* Integralnaya otsenka klimaticheskoy komfortnosti na primere territorii Yujnogo federalnogo okruga Rossii [Integral assessment of climatic comfort on the example of the territory of the Southern Federal District of Russia]. – S-Pb.: Izd. RGGMU, 2011. – 304 s. (in Russian)

*Arnoldi I.A.* Akklimatizatsiya cheloveka na Severe i Yuge [Human acclimatization in the North and South]. – M.: Medgiz, 1962. – 71 s. (in Russian)

*Kholmatjanov B.M., Petrov Yu.V., Abdikulov F.I., Abdikulova M.R., Saypiddinov Z.F., Makhmudov M.M., Khalmatjanov F.M.* Usloviya teplovogo komforta goroda Tashkent [Conditions of

thermal comfort of the Tashkent city] // Ilm-fan va innovatsion rivojlanish, 2020. №2. – B. 74-82. (in Russian)

*Kholmatjanov B.M., Petrov Yu.V., Abdikulov F.I.* Imom Al-Buhoriy majmuasi hududining bioiklimiy sharoitlari [Bioclimatic conditions of the Imam Bukhari pilgrimage place] // *Gidrometeorologiya va atrof-muhit monitoringi*, 2021. №2. – B. 19-31. (in Uzbek)

*Kholmatjanov B.M., Begmatov S.U.* Buhoro shahrining bioiklimiy sharoitlari [Bioclimatic conditions of the Bukhara city] // *Gidrometeorologiya va atrof-muhit monitoringi*, 2022. №2. – B. 21-32. (in Uzbek)

*Petrov Yu.V., Abdullayev A.K.* K voprosu otsenki suhosti vozduha [On the problem of air dryness estimation] // *Meteorologiya i gidrologiya*. – M.: NIS “Planeta”, 2010. No 10, – S. 90-95. (in Russian)

*Popov A.M.* Raschetniye profili meteorologicheskikh harakteristik v planetarnom pogranichnom sloye atmosfery [Calculated profiles of meteorological characteristics in the planetary boundary layer of the atmosphere]. – L.: LGMI, 1975. – 98 s. (in Russian)

*Zaitov Sh.Sh., Abdulakhatov E.I., Yarashev D.U.* O‘zbekistonning shimoli-sharqiy daryo havzalarida 2010-2019 yillarda kuzatilgan qurg‘oqchilik havfini baholash [Assessment of drought risk in the north-eastern river basins of Uzbekistan in 2010-2019] // *Gidrometeorologiya va atrof-muhit monitoringi*, 2021. №4. – S. 30-43. (in Uzbek)

*Electronic resources:*

<https://lex.uz/ru/docs/4673605>

<https://lex.uz/docs/4971096>

УДК: 551.52:551.577.38

## ОЦЕНКА ЗАСУШЛИВОСТИ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА НА ОСНОВЕ ДАНЫХ РЕАНАЛИЗА ЕСМWF ERA-5

**Н.И. РАХМАТОВА<sup>1\*</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>,  
В.С. РАХМАТОВА<sup>1,2</sup>, Р.В. ТАРЯНИКОВА<sup>1</sup>, Д.А. БЕЛИКОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, natella.rakhmatova@gmail.com, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, traisa\_5@mail.ru

<sup>2</sup> Университет Киото, Япония, valeria.rakhmatova@gmail.com

<sup>3</sup> Университет Чиба, Япония, dmitry.a.belikov@gmail.com

**Аннотация.** *Узбекистан имеет аридный климат и расположен в зоне воздействия частых засух, которые усиливают влияние опустынивания и являются ключевым фактором в формировании пыльно-песчаных бурь. При анализе засушливости часто возникает проблема с метеорологическими данными из-за недостатка пункта наблюдений, к примеру, в отдаленных районах, богаре или пастбищах. В данной статье исследованы основные метеорологические параметры для оценки атмосферной засухи на основе данных реанализа ERA-5. В работе использован подход, в котором территория страны была условно разделена на пять зон с однородными географическими признаками, климатическими характеристиками, условиями водообеспеченности с привязкой к бассейнам основных рек. Проведен анализ внутригодовых изменений метеопараметров, получены долговременные тренды и территориальные изменения значений дефицита влажности воздуха, как показателя атмосферной засухи используемого Узгидрометом.*

**Ключевые слова:** *засуха, аридность, температура, осадки, дефицит влажности воздуха, ERA-5, реанализ, тренды, внутригодовая динамика, территориальное изменение, Узбекистан.*

\* Ответственный автор: natella.rakhmatova@gmail.com, тел.: +998 90 916-44-46

**Введение.** Одним из доминирующих опасных гидрометеорологических явлений в Узбекистане, которое затрагивает все слои населения, ключевые отрасли экономики и негативно влияет на состояние окружающей среды, является засуха [Всемирный банк, 2019]. Усиление процессов засухи и расширение зон опустынивания создает комплекс условий для возникновения пыльных бурь. При подтверждении сценария, предлагаемого ООН с учетом нынешних темпов опустынивания, к 2025 году каждый пятый житель Земли будет проживать на территории, подверженной засухе [Вейсов и др., 2021]. Согласно выводам МГЭИК, ожидаемые глобальные климатические изменения приведут к увеличению частоты экстремальных метеорологических явлений, в том числе и засух [Change, 2013; Pachauri, 2014; IPCC, 2018]. По национальным оценкам [Спекторман, Плоцен, 2015; ПРООН, 2015; Третий..., 2016], на территории Узбекистана в силу географических условий (длительного жаркого и сухого лета), дефицита водных ресурсов и климатических изменений также будет наблюдаться рост частоты и продолжительности засух.

В Узбекистане оценка засухи (частота, степень и площадь охвата) проводится на основе данных сети репрезентативных метеостанций, которая, однако, не имеет регулярного покрытия и достаточного охвата в малонаселенных и труднодоступных территориях, необходимых для детальных оценок и прогнозов засухи. Для более точного анализа, а также предупреждения и управления засухой, необходимо развивать систему мониторинга и методы прогноза с использованием различных индикаторов, для расчета которых требуются метеорологические данные, покрывающие всю территорию страны с высоким пространственным и временным разрешением за продолжительный период времени.

В настоящее время для исследований климата и опасных гидрометеорологических явлений широко используются результаты реанализа, которые получены путем расчетов по глобальной модели с усвоением данных наблюдений (наземных, аэрологических, спутниковых) [Hersbach, 2020]. Проведенные исследования показали, что для территории Узбекистана данные реанализа ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA-5 (температура, осадки и дефицит влажности) на сетке 0,1 градус хорошо согласуются с наземными наблюдениями по 74 станциям [Rakhmatova et al., 2021], что позволяет проводить более подробную оценку для всей территории страны.

**Целью** данной работы является исследование основных метеорологических параметров на основе данных реанализа ERA-5 для оценки явления атмосферной засухи по территории страны. **Объектом исследования** является вся территория Узбекистана, для которой характерно разнообразие форм рельефа и климатических условий. **Предметом исследования** являются пространственно-временные характеристики атмосферной засухи.

**Исходные данные и методы исследования.** Оценка засушливости проводилась согласно районированию, предложенному Т.Хамзиной и Г.Хасанхановой [Хамзина и др., 2020]. Территория страны была условно разделена на пять зон с однородными географическими признаками, климатическими характеристиками, условиями водообеспеченности с привязкой к бассейнам основных рек:

- бассейн Амударьи – Южная зона, Среднее течение и Нижнее течение;
- бассейн Сырдарьи – Ферганская долина и Среднее течение.

Выделенные территории являются также однородными по степени уязвимости водного и сельского хозяйства к изменению климата, и служат зонами планирования в пределах бассейнов рек. Данное районирование условно, так как проводилось в рамках границ административных областей (табл. 1).

В Узбекистане метеорологические измерения, ведутся на 85 метеостанциях, 34 агрометеорологических постах и охватывают фактически всю территорию республики

[Кутвал Х., 2022], однако, значительные площади остаются вне зоны наблюдений, поэтому в работе использованы данные реанализа ERA-5 с шагом в 0,1 градус и временным разрешением 1 час для вышеуказанных зон, границы которых представлены в таблице 1.

Основанием для использования данных реанализа ERA-5 послужила ранее проведенная работа [Rakhmatova, 2021], результаты которой приведены в таблице 2.

Из области исследования были исключены горные территории с высотой 1000 м н.у.м. и выше, так как они вносят искажение в средний зональный показатель [Щеглов, 2017].

В данной работе рассматривается временной промежуток 1981-2020 гг. с акцентом на вегетационный период (апрель-сентябрь), поскольку сельское хозяйство наиболее уязвимо к засухе, а развитие пыльных бурь напрямую зависит от состояния растительного покрова, который влияет на процесс ветровой эрозии почвы.

Дневной дефицит влажности воздуха ( $d$ ) является показателем атмосферной засухи, характеризующейся высокой температурой и пониженной влажностью. В Узбекистане, в качестве критерия атмосферной засухи одним из параметров является “Число дней с  $d \geq 50$  гПа”. Согласно работе [Бабушкин, 1974], значение  $d \geq 50$  гПа является критичным показателем и характеризует атмосферную засуху.

$d$  – разность между содержанием влаги в воздухе и количеством влаги, которое может удерживать воздух в состоянии насыщения, рассчитывается по формуле:

$$d = E - e, \quad (1)$$

где,  $E$  – давление насыщения водяного пара, гПа;  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа.

Таблица 1

Районирование территории Узбекистана по зонам планирования [Хамзина Т. и др.]

Table 1

Zoning the territory of Uzbekistan according to planning zones [Khamzina T. et al.]

№	Зоны планирования	Административные территории	Бассейн реки	Схема регионального деления
1	ЮЗ – Южная зона	Области: Кашкадарьинская, Сурхандарьинская	Амударья	
2	СТА – среднее течение	Области: Бухарская, Навоийская, Самаркандская		
3	НТА – нижнее течение	Каракалпакстан, Хорезмская область		
4	ФД – Ферганская долина	Области: Андижанская, Наманганская, Ферганская	Сырдарья	
5	СТС – среднее течение	Области: Джизакская, Сырдарьинская, Ташкентская		

Таблица 2

Статистический анализ данных наземных наблюдений  
и реанализа ERA-5 за период 1981-2018 гг. [Rakhmatova, 2021]

Table 2

Statistical analysis of ground-based observation data and  
ERA-5 reanalysis for the period 1981-2018 [Rakhmatova, 2021]

Параметр	Коэффициент корреляции	Ошибка	Стандартное отклонение
Температура среднемесячная (Т, °С)	0,98	-0,62	2,25
Температура максимальная (Т <sub>max</sub> , °С)	0,96	-2,04	2,98
Относительная влажность (f, %)	0,87	-3,72	9,60
Абсолютная влажность (а, г/м <sup>3</sup> )	0,88	-2,24	1,88
Осадки (Р, мм)	0,80	-7,24	22,61

Далее давление водяного пара получено на основе уравнения Августа-Роша-Магнуса [Alduchov, 1996], согласно которому давление насыщения водяного пара над испаряющей поверхностью  $E_s$  выражается через температуру  $T$  по формуле:

$$E_s = 0,61094 \exp \left[ \frac{17,625T}{T + 243,04} \right], \quad (2)$$

$E_s$  рассчитывается по формуле (2) с применением значений температуры  $T$  по данным реанализа.

В работе на основании данных ERA-5, согласно вышеприведенному зонированию проведен анализ:

- внутригодовых изменений метеопараметров за период 1981-2018 гг.;
- разности значений параметров между двумя рассматриваемыми периодами: 1981-2010 гг. – базовым климатическим и за последнее десятилетие 2011-2020 гг.;
- долговременных трендов за вегетационный период и за июль – месяц с наиболее высоким значением  $d$ ;
- территориального изменения значений  $d$  за вегетационный период за 2011-2020 гг. относительно 1981-2010 гг.

Расчет метеопараметров приведен следующим образом:

- средние значения температуры воздуха;
- дневной  $d$ ;
- сумма осадков;
- сумма дней с  $d \geq 50$  гПа.

Расчет  $d$  проводился за июль и весь вегетационный период, используя данные с максимальными температурами (в промежуток 14-17 ч. местного времени). Число дней с  $d \geq 50$  гПа просуммировано за весь период вегетации для каждого года.

**Основные результаты и их обсуждение.** На рисунке 1 для каждой из пяти зон представлено внутригодовое изменение средних многолетних значений метеорологических параметров (1981-2020 гг.), которое характеризует их климатические особенности:

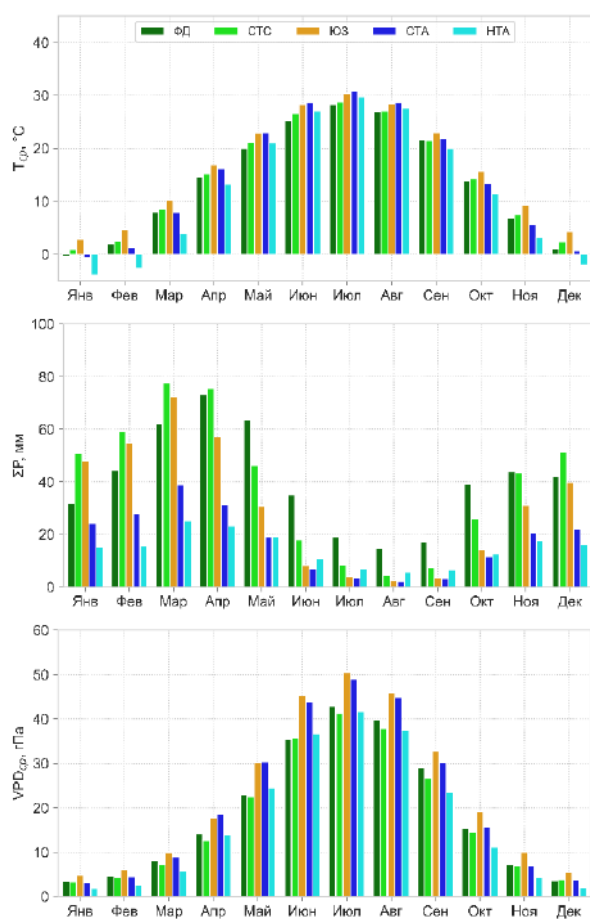
– зоны ЮЗ и СТА являются территориями наиболее подверженными высоким температурам и  $d$ ; для них характерен максимальный  $d$  практически весь вегетационный период (с апреля по сентябрь);

– минимальная сумма осадков приходится на территории пустынь Аралкум и Кызылкум, зоны НТА и СТА, соответственно; максимальные значения осадков на предгорные зоны ФД и СТС.

На рисунке 2 представлена разность среднемесячных многолетних значений между двумя рассматриваемыми периодами ( $\Delta$ ):

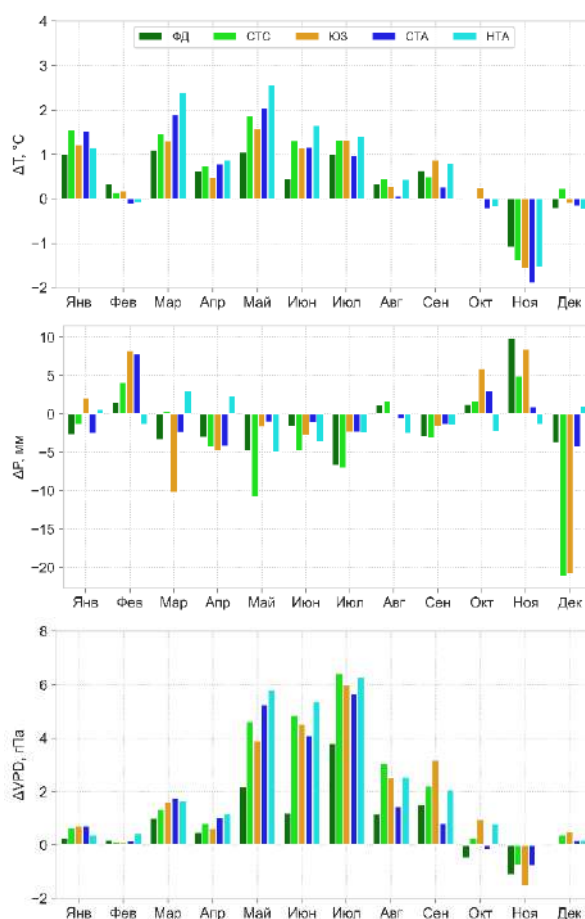
$$\Delta = \bar{X}_{10} - \bar{X}_{30}, \quad (3)$$

где,  $\bar{X}_{10}$  – текущее десятилетие (2011-2020 гг.);  $\bar{X}_{30}$  – базовый климатический период (1981-2020 гг.)



**Рис. 1. Сезонное изменение средних многолетних значений метеорологических параметров (1981-2020 гг.) по зонам**

**Fig. 1. Seasonal change in long-term average values of meteorological parameters (1981-2020) by territorial zoning**



**Рис. 2. Сезонное изменение разности средних значений метеорологических параметров за периоды (1981-2010 и 2011-2020 гг.) по зонам**

**Fig. 2. Seasonal change in the anomalies meteorological parameters for the periods (1981-2010 and 2011-2020) by territorial zoning**

Рисунки 1(в), 2(в) показывают, что максимальные значения  $d$  и максимальные отклонения от базового периода наблюдаются в июле для всех зон, поэтому представляет интерес более детально сравнить изменения между периодами для июля (месяца с максимальными температурами, минимальными осадками и значительным уровнем  $d$ ) и за вегетационный период.

Рисунок 2 показывает, что для последнего десятилетия характерно следующее:

– максимальное увеличение температуры наблюдается в зоне НТА в теплый период года – с марта по сентябрь;

– в ноябре отмечено снижение температуры по всей территории страны, что возможно обусловлено изменением продолжительности сезонов; как установлено в работе [Wang, 2021], по данным анализа температур за последние 30 лет летний сезон в средних широтах северного полушария увеличился на 17 дней, в то время как длительность остальных сезонов сократилась;

– с мая по август по всей территории растет  $d$ , самые значительные изменения (до 6-7 гПа) фиксируются в зонах НТА, СТА и ЮЗ;

– сокращение выпадения осадков наблюдается практически по всей территории в течение года, за исключением октября, ноября и февраля;

– максимальное сокращение осадков в СТС и ЮЗ составляет до 50% от среднемесячного многолетнего значения.

Из таблицы 3 следует по всем зонам наблюдается увеличение среднемесячных значений  $T$ ,  $d$ , числа дней с  $d > 50$  гПа. Разность температур между периодами находится в пределах 1,0 -1,7°C.

Анализ всего ряда данных (1981-2020 гг.) за июль месяц показал:

– в последнее десятилетие максимальный рост, среднемесячной температуры,  $d$  и числа дней с  $d > 50$  гПа наблюдается в зонах НТА и ЮЗ;

– среднемесячное значение  $d$  для июля за период 2011-2020 возросло во всех зонах, и приблизился к значению 50 гПа, а в ЮЗ выше 50 гПа;

– увеличилось число дней с  $d > 50$  гПа – особенно в зоне НТА и СТС; за весь период представленной информации максимальное число равное 28 дней с  $d > 50$  гПа наблюдалось дважды: в 2015 г. – в ЮЗ и 2019 г. – в СТА.

*Таблица 3*

**Изменение среднемесячных значений метеопараметров за июль по зонам за период 1981-2010 и 2011-2020 гг.**

*Table 3*

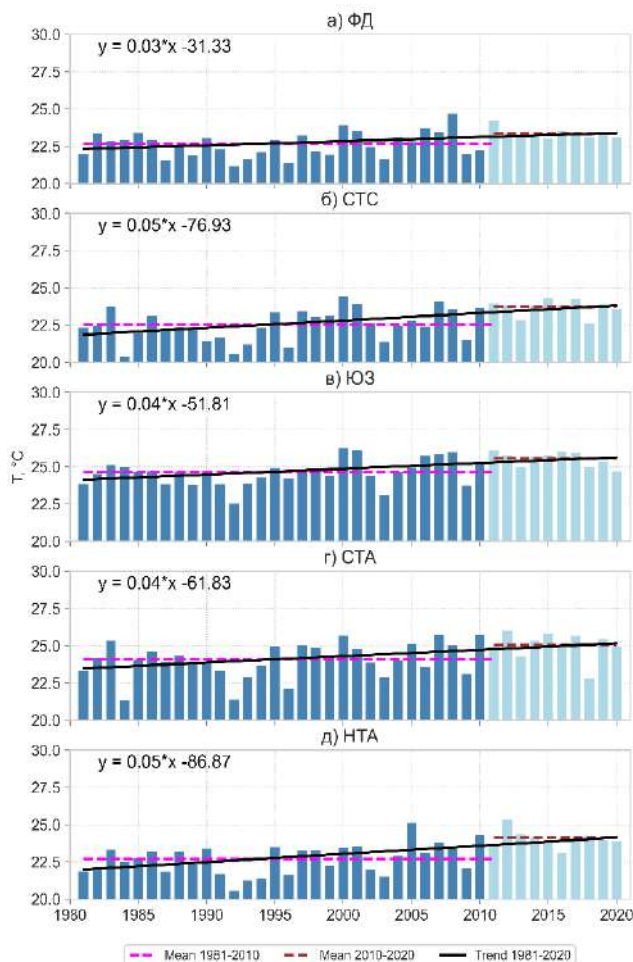
**Changes in the average monthly values of meteorological parameters for July by territorial zoning for the period 1981-2010 and 2011-2020**

Зона	$T$ , °C			$d$ , гПа			Число дней с $d > 50$ гПа		
	1981-2010	2011-2020	$\Delta$	1981-2010	2011-2020	$\Delta$	1981-2010	2011-2020	$\Delta$
<b>ФД</b>	33,9	35,0	1,1	43,1	46,8	3,7	10	14	4
<b>СТС</b>	33,6	35,2	1,6	37,3	43,5	6,2	5	12	7
<b>ЮЗ</b>	36,0	37,4	1,4	48,0	53,0	4,9	18	24	5
<b>СТА</b>	35,3	36,7	1,3	44,5	49,0	4,4	15	19	4
<b>НТА</b>	33,6	35,3	1,7	39,3	45,1	5,8	7	15	8

Результаты анализа динамики и трендов метеорологических параметров за вегетационный период (апрель-сентябрь) по всем зонам (рис. 3-7) показали:

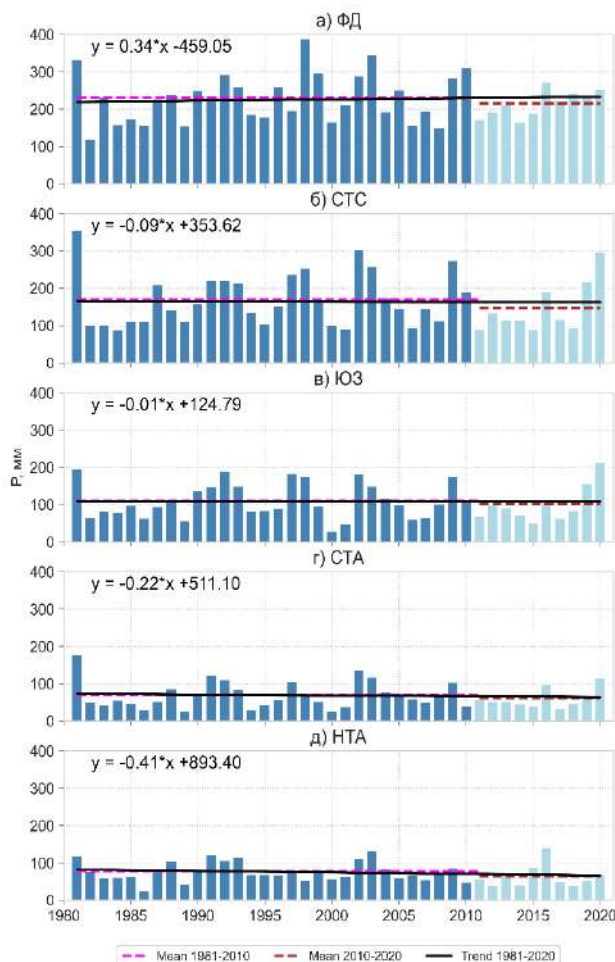
– средняя температура в последние 10 лет выросла относительно базового периода (30 лет) в зоне НТА на  $1,5^{\circ}\text{C}$ , во всех остальных около  $1^{\circ}\text{C}$ , в ФД изменения незначительные (рис. 3);

– изменение количества осадков в среднем незначительно по всей территории страны (рис. 4);



**Рис. 3.** Динамика средней температуры по зонам за вегетационный период 1981-2020 гг.

**Fig. 3.** The dynamics of the average temperature in territorial zoning for the vegetation season 1981-2020



**Рис. 4.** Динамика суммы осадков по зонам за вегетационный период 1981-2020 гг.

**Fig. 4.** The dynamics of the precipitation in territorial zoning for the vegetation season 1981-2020

– изменения средних значений  $d$  (рис. 5) за периоды 1981-2010 гг. и 2011-2020 гг. незначительные, колеблются в пределах 2-4 гПа; наиболее стабильная ситуация наблюдается в ФД, в остальных зонах характер колебаний синхронный;

– наиболее подверженной атмосферной засухе является ЮЗ, в которой в последнее десятилетие в среднем наблюдается более 60 дней с числом дней с  $d > 50$  гПа, и самый большой прирост по сравнению с климатическим периодом – 18 дней;

– в зоне СТА в среднем за период 2011-2020 гг. число дней с  $d \geq 50$  гПа достигает 50, в отдельные годы (2014, 2015, 2017, 2018) это значение увеличивается до 60 дней;

– рост числа дней с  $d > 50$  гПа более двух недель наблюдается в зонах НТА, СТС и ЮЗ (рис. 6).

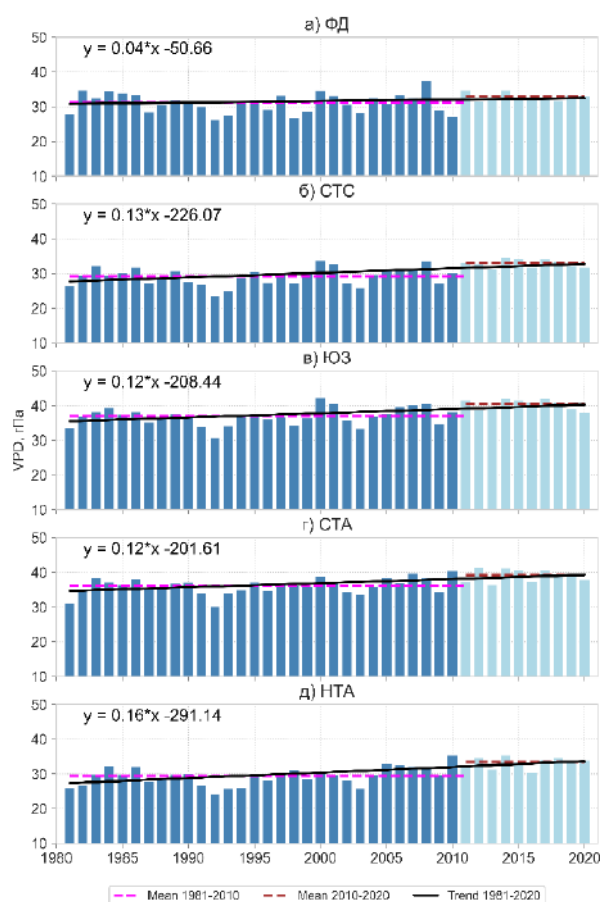


Рис. 5. Динамика среднего значения  $d$  по зонам за вегетационный период 1981-2020 гг.

Fig. 5. The dynamics of the average value of the  $d$  for territorial zoning for the growing season 1981-2020

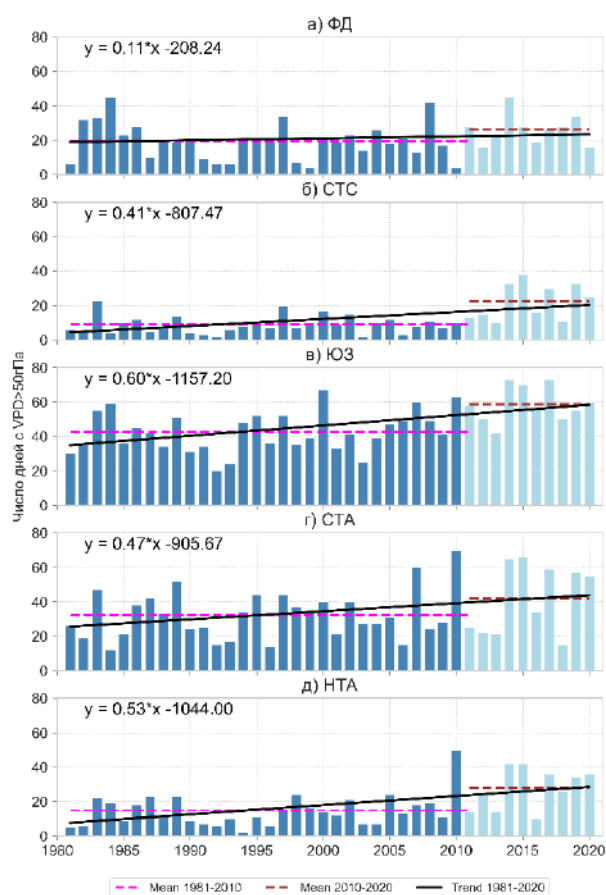


Рис. 6. Динамика числа дней с  $d > 50$  гПа по зонам за вегетационный период 1981-2020 гг.

Fig. 6. Dynamics of the number of days from the  $d > 50$  GPA for the territorial zoning for the growing season 1981-2020

На основе данных ERA-5 была построена карта распределения разности  $d$  за вегетацию между базовым периодом (1981-2010 гг.) и последним десятилетием (2011-2020 гг.). Наибольшие изменения, более 5 гПа, наблюдаются в ЮЗ (рис. 7), в зоне НТА преобладают территории с изменениями в 3-4 гПа, в зоне ФД ситуация осталась фактически неизменной.

**Выводы.** Анализ метеорологических данных реанализа ERA-5 для периода 1981-2020 гг. позволил выявить следующие особенности:

– внутригодовое изменение средних многолетних значений метеорологических параметров показывает, что зоны ЮЗ, СТА и НТА являются территориями наиболее подверженными высоким температурам и  $d$ ; наименьшие изменения температуры и  $d$  наблюдаются в ФД;

– изменения температуры, осадков относительно базового периода, в весенне-осенний сезоны подтверждают выводы, приведенные в работе [Wang, 2021], указывающие на увеличение продолжительности лета; такие изменения являются негативными так как

увеличивают период сухой и жаркой погоды, что создает соответствующие условия для формирования пыльно-песчаных бурь;

– по результатам расчета числа дней с  $d \geq 50$  гПа за вегетационный период наиболее значительные изменения с признаками засушливости проявляются в зонах ЮЗ и НТА, особенно в 2011, 2014, 2015 и 2017 гг.; в зоне НТА, возможно, это связано с последствиями Аральского кризиса; изменения, происходящие в ЮЗ вероятней всего обусловлены характером циркуляционных процессов, требующими изучения.

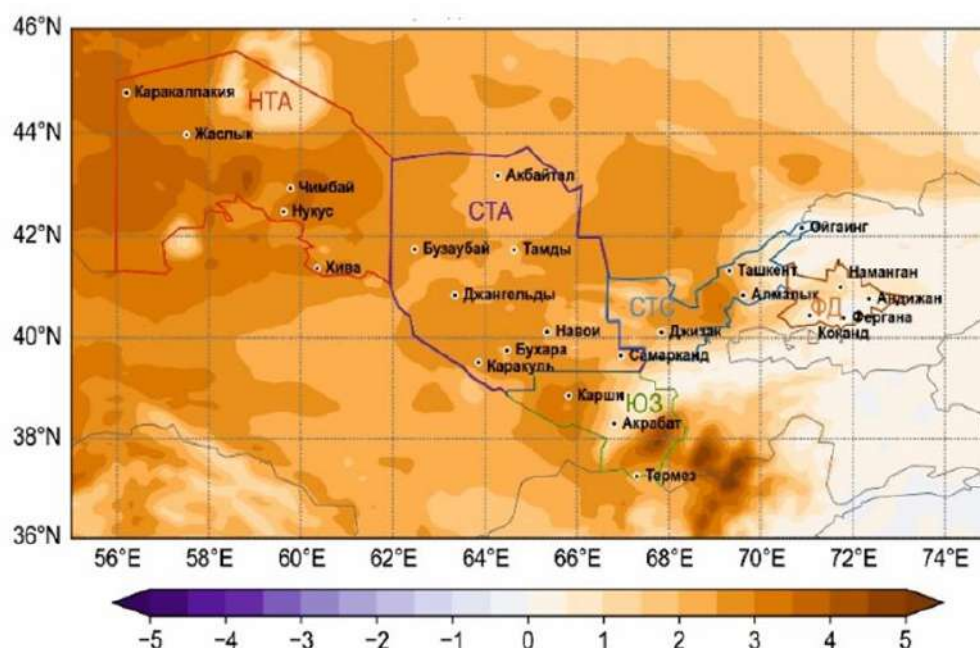


Рис. 7. Распределение разности  $d$  за вегетацию между периодами 1981-2010 гг. и 2011-2020 гг.

Fig. 7. Distribution of the  $d$  anomaly for the growing season between 1981-2010 and 2011-2020

Из вышесказанного следует, что в дальнейших исследованиях:

- целесообразно рассмотреть локальные особенности синоптических процессов в обозначенных зонах;
- необходимо уделить особое внимание изучению горных территорий, которые следует выделить как «подзоны»;
- для более детального исследования и выявления мелкомасштабных особенностей следует перейти к разбиению на большее количество зон; например, в работе [Kholmatjanov, 2020] рассматривается территориальное деление на 14 регионов;
- в результате незначительного изменения осадков, заметного роста температур и числа дней с  $d \geq 50$  гПа для диагностики засухи необходимо рассматривать комплексные индексы засухи, которые учитывают не только осадки, но и температуру воздуха, например SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index);
- изучить взаимосвязь территорий подверженных засухе с очагами возникновения пыльно-песчаных бурь.

**Благодарности.** Настоящее исследование выполнена в рамках прикладного проекта АЛ-5721122055 “Разработка технологии системы мониторинга пыльных бурь с

использованием наземных и спутниковых данных”, финансируемого Министерством инновационного развития Республики Узбекистан.

**Вклад авторов. Н.И. Рахматова:** методология, написание текста, производство расчетов. **Л.Ю. Шардакова:** методология, написание текста, визуализация данных. **Б.Э. Нишонов:** постановка задачи, общее руководство, редактирование текста. **В.С. Рахматова:** сбор данных, обработка данных. **Р.В. Таряникова:** обоснование актуальности исследований. **Д.А. Беликов:** сбор данных, обработка данных, систематизация материала, анализ, визуализация данных. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

*Бабушкин Л.Н.* О климатической характеристике летней воздушной засухи и суховеев в хлопковой зоне Узбекистана. В кн.: Суховеи и их происхождение, и борьба с ними. 1974. – С. 59-64.

*Вейсов С.К., Карибаева К.Н., Николаев Н.В., Исаходжаев Р.С., Бекмухамедов Н.Э.* Ситуационный анализ: Песчаные и пыльные бури в Центральной Азии, Алматы 2021. – 74 с.

Государственный кадастр зон повышенной природной опасности часть: зоны повышенной опасности гидрометеорологических явлений (Ежегодное издание). Часть I (2005-2017 гг.). – Ташкент: Узгидромет.

*Кутвал Х., Симонов Ю., Флеминг Д., Циркунов В., Гафуров А., Кулла Д.* Укрепление гидрометеорологической службы и системы раннего оповещения о многофакторных опасных явлениях в Узбекистане. Дорожная карта. Всемирный банк. 2022.

ПРООН. Профиль климатических рисков Узбекистана. 2015. – 88 с.

Сводный отчет об оценке риска бедствий в странах Центральной Азии и Кавказа. Инициатива по управлению риском бедствий в Центральной Азии и на Кавказе. Всемирный Банк. 2019. – 206 с.

*Спекторман Т.Ю., Плоцен М.А.* Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы территории Узбекистана // Изменение климата, причины, последствия и меры реагирования. – Бюллетень № 9. 2015. – С. 40-52.

Третье национальное сообщение об изменении климата Республики Узбекистан. Узгидромет, 2016. – 246 с.

*Хамзина Т., Хасанханова Г., Денисова Е., Ибрагимов Р.* Оценка уязвимости сельского и водного хозяйства к изменению климата для планирования и принятия решений в Узбекистане. Отчет проекта ГЭФ/ЮНЭП/Узгидромет «Узбекистан: Подготовка Четвертого Национального Сообщения и Первого Двухгодичного отчета по обновленным данным (ПДО) по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН)», 2020. (неопубликовано)

*Щеглов Д.И., Громовик А.И.* Основы геоморфологии: учебное пособие. Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ. 2017. – 178 с.

*Alduchov O.A., Eskridge R.E.* Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 1996. Т. 35. №. 4. – PP. 601-609.

*Change I.C. et al.* The physical science basis // Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2013. Т. 1535. – P. 2013.

*Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., ... & Vitart F.* The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the royal meteorological society. 2011. Т. 137. № 656. – PP. 553-597.

*Hersbach H. et al.* The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2020. Т. 146. № 730. – PP. 1999-2049.

IPCC A. IPCC Fifth Assessment Report – Synthesis Report. 2014.

IPCC. IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C. Summary for policy makers. October, 2018.

*Kholmatjanov B.M., Petrov Yu.V., Khujanazarov T., Sulaymonova N.N., Abdikulov F.I., & Tanaka K.* Analysis of Temperature Change in Uzbekistan and the Regional Atmospheric Circulation of Middle Asia during 1961–2016 // *Climate*. 2020. Т. 8. № 9. – P. 101.

*Pachauri R.K., Allen M.R., Barros V.R., Broome J., Cramer W., Christ R., ... & van Ypserle J.P.* Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2014. – 151 p.

*Rakhmatova N., Arushanov M., Shardakova L., Nishonov B., Taryannikova R., Rakhmatova V., & Belikov D.* Evaluation of the perspective of ERA-Interim and ERA5 reanalyses for calculation of drought indicators for Uzbekistan // *Atmosphere*. 2021. Т. 12. № 5. – P. 527.

*Wang J., Guan Y., Wu L., Guan X., Cai W., Huang J., ... & Zhang B.* Changing lengths of the four seasons by global warming // *Geophysical Research Letters*. 2021. Т. 48. № 6.

## ЎЗБЕКИСТОН ХУДУДИДА ҚУРҒОҚЧИЛИКНИ ЕСМWF ERA-5 РЕАНАЛИЗ МАЪЛУМОТЛАРИ АСОСИДА БАҲОЛАШ

**Н.И. РАХМАТОВА<sup>1</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>,  
В.С. РАХМАТОВА<sup>1,2</sup>, Р.В. ТАРИЯНИКОВА<sup>1</sup>, Д.А. БЕЛИКОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, natella.rakhmatova@gmail.com, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, traisa\_5@mail.ru

<sup>2</sup> Киото университети, Япония, valeria.rakhmatova@gmail.com

<sup>3</sup> Чиба университети, Япония, dmitry.a.belikov@gmail.com

**Аннотация.** Ўзбекистон арид иқлим эга ва тез-тез такрорланувчи қурғоқчиликлар зонасида жойлашган бўлиб, улар чўлланиш жараёнлари таъсирини кучайтиради ва қум-чанг бўронлари ҳосил бўлишининг асосий омилли ҳисобланади. Қурғоқчиликни таҳлил қилишда кузатиш пунктларини етишмаслиги сабабли метеорологик маълумотлар муаммоси, масалан, узоқда жойлашган ҳудудларда, лалми ерларда ёки яйловларда, кузатилади. Мақолада атмосфера ERA-5 реанализ маълумотлари асосида қурғоқчиликни баҳолаш учун асосий метеорологик кўрсаткичлар тадқиқ қилинган. Ишда мамлакат ҳудуди асосий дарёлар ҳавзаларига боғланган ва географик белгилари, иқлимий характеристикалари, сув билан таъминланганлиги бир хил бешик зонага бўлинган ҳолда ўрганилган. Метеорологик кўрсаткичларнинг йил ичидаги ўзгаришлари таҳлил қилинган, Ўзгидрометда атмосфера қурғоқчилиги кўрсаткичи сифатида қўлланиладиган ҳаво намлиги дефицитининг узоқ муддатли трендлари ва ҳудудий ўзгаришлари аниқланган.

**Калит сўзлар:** қурғоқчилик, аридлик, ҳарорат, ёгинлар, ҳаво намлиги дефицити, ERA-5, реанализ, йил ичидаги ўзгаришлар, ҳудудий ўзгаришлар, Ўзбекистон.

## ARIDITY ASSESSMENT OF UZBEKISTAN TERRITORY BASED ON REANALYSIS DATA ECMWF ERA-5

**N.I. RAKHMATOVA<sup>1</sup>, L.Yu. SHARDAKOVA<sup>1</sup>, B.E. NISHONOV<sup>1</sup>,  
V.S. RAKHMATOVA<sup>1,2</sup>, R.V. TARYANNIKOVA<sup>1</sup>, D.A. BELIKOV<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, natella.rakhmatova@gmail.com, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, traisa\_5@mail.ru

<sup>2</sup> Kyoto University, Japan, valeria.rakhmatova@gmail.com

<sup>3</sup> Chiba University, Japan, dmitry.a.belikov@gmail.com

**Abstract.** Uzbekistan has an arid climate and is located in the area affected by frequent droughts, which increase the impact of desertification and are a key factor in the formation of dust and sand storms. When analyzing aridity, there is often a problem with meteorological data due to the lack of an observation points, for example, in remote areas, rainfed areas or pastures. This article explores the main meteorological parameters for assessing atmospheric drought based on ERA-5 reanalysis data. The

work used an approach in which the country's territory was conditionally divided into five zones with homogeneous geographical features, climatic characteristics, water supply conditions with reference to the basins of the main rivers. An analysis of intra-annual changes in meteorological parameters was carried out, long-term trends and territorial changes in the values of air humidity deficit were obtained as an indicator of atmospheric drought used by Uzhydromet.

**Keywords:** drought, aridity, temperature, precipitation, air humidity deficit, ERA-5, reanalysis, trends, intra-annual dynamics, territorial change, Uzbekistan.

## REFERENCES

*Babushkin L.N.* O klimaticheskoi harakteristike letnei vozdushnoi zasuhi i suhoveev v hlopkoy zone Uzbekistana [On the climatic characteristic of summer air drought and dry winds in the cotton zone of Uzbekistan]. V kn.: Sukhovei i ikh proiskhozhdenie, i borba s nimi. 1974. – S. 59-64. (in Russian)

*Vejsov S.K., Karibaeva K.N., Nikolaev N.V., Isakhodzhaev R.S., Bekmukhamedov N.E.* Situatsionnyi analiz: Peschanye i pylnye buri v Centralnoi Azii [Situational analysis: Sand and dust storms in Central Asia]. Almaty, 2021. – 74 s. (in Russian)

Gosudarstvennyi kadastr zon povyshennoi prirodnoi opasnosti chast: zony povyshennoi opasnosti gidrometeorologicheskikh yavlenii (Ezhegodnoe izdanie) [State cadastre of zones of increased natural hazard part: zones of increased danger of hydrometeorological phenomena (Annual Edition)]. Chast I (2005-2017 gg.). – Tashkent: Uzgidromet. (in Russian)

*Kutval Kh., Simonov Yu., Fleming D., Czirkunov V., Gafurov A., Kulla D.* Ukreplenie gidrometeorologicheskoi sluzhby i sistemy rannego opoveshheniya o mnogofaktornykh opasnykh yavleniyakh v Uzbekistane [Strengthening the hydrometeorological service and early warning system for multifactorial hazards in Uzbekistan]. Dorozhnaya karta. Vsemirnyj bank. 2022. (in Russian)

UNDP. Profil klimaticheskikh riskov Uzbekistana [Uzbekistan Climate Risk Profile]. 2015. – 88 s. (in Russian)

Svodnyi otchet ob ocenke riska bedstvii v stranakh Centralnoi Azii i Kavkaza. Iniciativa po upravleniyu riskom bedstvii v Centralnoi Azii i na Kavkaze [Consolidated Report on Disaster Risk Assessment in Central Asia and the Caucasus. Disaster Risk Management Initiative in Central Asia and the Caucasus]. Vsemirnyi bank. 2019. – 206 s. (in Russian)

*Spektorman T.Yu., Ploczen M.A.* Vliyaniye izmeneniye klimata na agroklimaticheskie resursy territorii Uzbekistana [Impact of climate change on the agroclimatic resources of the territory of Uzbekistan] // Izmeneniye klimata, prichiny, posledstviya i mery reagirovaniya. – Byulleten No. 9. 2015. – S. 40-52. (in Russian)

Tret'e nacionalnoe soobshheniye ob izmenenii klimata Respubliki Uzbekistan [Third National Communications on Climate Change of the Republic of Uzbekistan]. Uzgidromet, 2016 – 246 s. (in Russian)

*Khamzina T., Khasankhanova G., Denisova E., Ibragimov R.* Ocenka uyazvimosti selskogo i vodnogo khozyajstva k izmeneniyu klimata dlya planirovaniya i prinyatiya reshenii v Uzbekistane. [Assessing the vulnerability of agriculture and water to climate change for planning and decision-making in Uzbekistan]. Otchet proekta GEF/UNEP/Uzgidromet «Uzbekistan: Podgotovka Chetvertogo Natsionalnogo Soobshheniya i Pervogo Dvukhgodichnogo otcheta po obnovlennym dannym (PDO) po Ramochnoy Konvensii OON ob izmenenii klimata (RKIK OON)», 2020. (unpublished) (in Russian)

*Sheglov D.I., Gromovik A.I.* Osnovy geomorfologii [Fundamentals of geomorphology]. Uhebnoe posobie. Voronezhskii gosudarstvennyi universitet. – Voronezh: Izdatelskiy dom VGU. 2017. – 178 s. (in Russian)

**ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY**

УДК: 551.1:556.3 (556.55)

**ОҲАНГАРОН ҲАВЗАСИ ДАРЁЛАРИ ОҚИМИНИНГ ШАКЛЛАНИШИГА  
МЕТЕОРОЛОГИК ОМИЛЛАРНИНГ ТАЪСИРИНИ БАҲОЛАШ****З.Ф. ХАКИМОВА<sup>1\*</sup>**<sup>1</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, zilola\_khakimova@inbox.ru

**Аннотация.** Мақолада Оҳангарон ҳавзаси дарёлари йиллик оқимининг ҳосил бўлишига метеорологик омиллар – мавсумий (қишки, ёзги) атмосфера ёгинлари ва ҳаво ҳароратининг биргаликдаги таъсири статистик баҳоланган. Ҳисоблашлар Г.А.Алексеевнинг корреляцион боғланишларни объектив тенглаштириши ва нормаллаштириши усулида бажарилган. Дарёлар оқими билан иқлимий омиллар орасидаги кўп ҳадли боғланишларни ифодаловчи нормаллаштирилган регрессия тенгламалари олинган ва уларга аргументларнинг қўйилган ҳиссалари баҳоланган. Дарёлар оқимининг шаклланишида асосан қор кўринишида ёғадиган қишки ёгинлар ҳиссаларининг устуворлиги (53,7÷81,0%) аниқланган.

**Калит сўзлар:** дарё, сув сарфи, метеорологик катталиқ, атмосфера ёгинлари, ҳаво ҳарорати, корреляция коэффициентлари, регрессия тенгламалари, аргументларнинг ҳиссалари.

**Кириш.** Дарёлар оқимининг ҳосил бўлишига гидрометеорологик омиллар, жумладан, мавсумий (қишки –  $X_k$ , ёзги –  $X_e$ ) атмосфера ёгинлари ҳамда ёзги ҳаво ҳарорати ( $t_e$ ) нинг биргаликдаги таъсирини ўрганиш ва улар асосида сув ресурсларини миқдорий баҳолаш имконини берадиган эмпирик боғланишларни аниқлаш масалалари мамлакатимиз шароитида муҳим илмий ва амалий аҳамиятга эга. Шу сабабли, собиқ Иттифоқ ва ҳозирги МДХ мамлакатлари кўплаб олимларининг (А.И.Воейков [Воейков, 1948], В.Г.Глушков [Глушков, 1961], М.Н.Большаков [Большаков, 1974], Е.В.Петряшова [Петряшова, 1966] ва бошқалар) тадқиқотлари айнан шу масалаларни ўрганишга бағишланган.

Ўзбекистонда ушбу муаммони ўрганишга қаратилган илк тадқиқотлар Э.М.Ольдекоп [Ольдекоп, 1918], Л.К.Давыдов [Давыдов, 1929], В.Л.Шульц [Шульц, 1965], О.П.Щеглова [Щеглова, 1960] ва бошқалар томонидан амалга оширилган. Ҳозирги кунда мазкур йўналишдаги тадқиқотлар Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтида В.Е.Чуб [Чуб, 2007], Л.М.Карандаева [Карандаева, Карандаев, 2007], ЎзМУда Ф.Х.Ҳикматов [Ҳикматов и др., 2020], Ғ.Х.Юнусов [Юнусов, 2021], Р.Р.Зияев [Зияев, 2021], Н.Б.Эрлапасов [Эрлапасов, 2022], СамДУда С.А.Ҳайдаров [Ҳайдаров, 2018], Д.Н.Ширинбоев [Ширинбоев, 2021], Ш.Р.Ғаниев [Ғаниев, 2022], БухДУда Х.Р.Тошев [Тошев, 2008], Г.С.Халимова [Халимова, 2020] каби тадқиқотчилар томонидан давом эттирилмоқда.

Бирок, юқорида қайд этилган тадқиқотларда Оҳангарон ҳавзасининг табиий шароити, ҳавзада сув ресурслари ҳосил бўлиши масалалари билан алоқадорликда алоҳида кўриб чиқилмаган. Аниқроғи, Оҳангарон ҳавзаси дарёлари оқимининг шаклланиши масалалари иқлимий омиллар, жумладан, ҳаво ҳарорати, атмосфера ёгинлари билан боғлиқ ҳолда, шу кунгача атрофлича ўрганилмаган.

\* Масъул муаллиф: zilola\_khakimova@inbox.ru, тел.: +998 99 106-07-87

**Ишнинг мақсади ва вазифалари.** Мазкур тадқиқотнинг асосий мақсади Оҳангарон ҳавзаси дарёлари оқимининг ҳосил бўлишига атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг таъсирини физик-статистик баҳолашдан иборат.

Ушбу мақсад доирасида, ишда қуйидаги вазифалар белгиланди ва тадқиқот жараёнида ўз ечимини топди.

1. Оҳангарон ҳавзасидаги табиий режимли дарёларни танлаб олиш, уларда ўлчанган сув сарфлари ҳамда дарёлар ҳавзаларида жойлашган метеорологик станцияларда кузатилган атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳарорати ҳақидаги гидрометеорологик маълумотлар базасини яратиш.

2. Дарёлар оқимининг ҳосил бўлишига мавсумий (қишки ҳамда ёзги) атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг алоҳида-алоҳида ҳамда биргаликдаги таъсирларини ифодаловчи кўп ҳадли боғланишларнинг статистик кўрсаткичларини аниқлаш, уларнинг регрессия тенгламаларини тузиш.

3. Регрессия тенгламаларига аргументларнинг қўшган ҳиссаларини баҳолаш, олинган натижаларни таҳлил қилиш ва улардан илмий-амалий хулосалар чиқариш.

Тадқиқотнинг мақсади ва унга эришиш бўйича белгиланган вазифалардан келиб чиққан ҳолда, мақолада **тадқиқот объекти** сифатида Оҳангарон ҳавзасидаги 14 та табиий режимли дарёлар танлаб олинди. Оҳангарон ҳавзаси дарёлари йиллик оқимининг ҳосил бўлишига метеорологик омиллар, жумладан, атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг таъсирини статистик баҳолаш масалалари тадқиқотнинг **предметини** белгилайди.

**Бирламчи маълумотлар.** Мақолада қўйилган мақсадга эришиш учун 1961-1990 йилларда Оҳангарон ҳавзаси дарёларида кузатилган ўртача йиллик сув сарфлари ҳамда Писком метеорологик станциясида қайд этилган атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳарорати қийматларидан фойдаланилди. Бунда дарёлар ҳавзаларига ёққан ёғинлар турини ҳам ҳисобга олишга алоҳида эътибор қаратилди. Чунки, қор ёки ёмғир кўринишидаги ёғинлар дарёлар ҳавзалари ёнбағирларида юза оқим ҳосил бўлишига турлича таъсир кўрсатади. Шу туфайли йиллик ёғинлар қишки ва ёзги ёғинларга ажратилди. Дарёлар оқимининг шаклланишига атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг биргаликдаги таъсирини статистик баҳолашда ўртача ойлик ва ўртача йиллик сув сарфлари маълумотларидан фойдаланилди (1-жадвал).

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Атмосфера ёғинларининг ойлик йиғинди қийматлари асосида уларнинг мавсумий миқдорлари ҳисобланди. Қишки ( $X_K$ ), яъни асосан қор кўринишидаги ёғинлар сифатида октябрь-март, ёзги ( $X_ё$ ), яъни кўпроқ ёмғир кўринишидаги ёғинлар сифатида эса апрель-сентябрь ойларидаги ёғин миқдорлари йиғиндилари олинди. Ёзги ҳаво ҳароратининг ( $t_ё$ ) қийматлари апрел-сентябрь ойларидаги ўртача ойлик миқдорлари асосида ҳисобланди.

Бирламчи гидрометеорологик маълумотларнинг таҳлили уларда, айниқса, сув сарфлари қаторларида узилишлар мавжудлигини кўрсатди. Уларни тиклаш учун ўрганилаётган дарёлар ўртача йиллик сув сарфлари орасидаги боғланишлар статистик баҳоланди. Шу мақсадда дарёлар ўртача йиллик сув сарфларидан иборат бўлган гидрологик қаторлар орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффициентлари ҳисобланди (2-жадвал).

Стандарт дастурлар асосида, компьютерда амалга оширилган ҳисоблашлар натижасида, аниқланган жуфт корреляция коэффициентларининг қийматлари, Наугарзан ва Оқчасойларни ҳисобга олмаганда ( $r=0,652$ ),  $r=0,713\pm 0,994$  ораликда ўзгарди. Кўриниб турибдики, бу қийматлар гидрологик ҳисоблашларда фойдаланиш учун тавсия этиладиган боғланишлар аниқлигига қўйиладиган талабларга тўла мос келади. Ушбу ижобий натижани инобатга олган ҳолда, ҳар бир жуфтликнинг регрессия тенгламалари тузилди (3-жадвал).

1-жадвал

## Дарёлар хақида умумий гидрологик маълумотлар

Таблица 1

## Общие гидрологические сведения о реках

Table 1

## General hydrological information about rivers

Т.р.	Дарё – пост	F*, км <sup>2</sup>	H**, м	Кузатиш		Тўйиниш типи***
				йиллари	сони	
1	Оҳангарон – Якка-арча д.к.	638	0760	1961-1967	7	қор
2	Оҳангарон – Ертош д.к.	1110	2600	1971-1990	20	қор-ёмғир
3	Оҳангарон – Турк қ.	1290	2380	1961-1970	10	қор-ёмғир
4	Наугарзан – Турк қ.	92,8	1850	1961-1970	10	қор-ёмғир
5	Қизилча – Ертош қ.	51,6	2340	1961-1990	30	қор
6	Жиблон – Жиблон қ.	19,0	1960	1981-1990	10	қор-ёмғир
7	Тўғонбошсой – Турк қ.	21,0	2260	1976-1985	10	қор-ёмғир
8	Нишбошсой – Нишбош қ.	141	2050	1961-1990	30	қор-ёмғир
9	Дукантсой – Дукант қ.	201	2140	1971-1990	20	қор-ёмғир
10	Қорабаусой – Самарчук қ.	166	2030	1961-1990	30	қор-ёмғир
11	Гушсой – Кўчбулоқ қ.	128	1880	1979-1986	8	қор-ёмғир
12	Абжазсой – Абжаз қ.	70,5	1590	1979-1990	12	қор-ёмғир
13	Оқчасой – Оқча қ.	128	1560	1961-1968, 1970-1974, 1976-1982	20	қор-ёмғир
14	Шоввасой – Қоратош қ.	65,8	1660	1961-1963, 1965-1972, 1974-1980	18	қор-ёмғир

**Изоҳ:** F\* – сув тўплаш (ҳавза) майдони; H\*\* – ҳавзанинг ўртача баландлиги, \*\*\* О.П.Щеглова таснифи бўйича.

**Примечание:** F\* – площадь водосбора; H\*\* – средняя высота водосбора, \*\*\* по классификации О.П.Щегловой.

**Note:** F\* – Water intake area; H\*\* – average height of water intake, \*\*\* according to the classification of O.P. Shcheglova.

Асосий параметрлари жадвалда келтирилган регрессия тенгламалари ёрдамида ўртача йиллик сув сарфларида мавжуд бўлган узилишлар тикланди. Натижада, ўрганилаётган барча дарёлар учун уларнинг ўртача йиллик сув сарфлари билан иқлимий омиллар орасидаги боғланишларни бир хил ҳисоб даври, яъни 1961-1990 йилларни қамраб олган биринчи иқлимий давр учун бажариш имконияти яратилди.

Тадқиқотда ҳар бир дарё учун  $Q_{\text{й}} = f(X_{\text{к}}, X_{\text{ё}}, t_{\text{ё}})$  кўринишдаги кўп ҳадли боғланишларни аниқлашга алоҳида эътибор қаратилди. Ушбу ифодада:  $Q_{\text{й}}$  – дарёларнинг ўртача йиллик сув сарфлари;  $X_{\text{к}}$  – қишки ва  $X_{\text{ё}}$  – ёзги ёғинлар;  $t_{\text{ё}}$  – ёзги ҳаво ҳароратини ифодалайди. Шу мақсадда ўрганилаётган дарёлардаги гидрологик постларда ўлчанган ўртача йиллик сув сарфлари ( $Q_{\text{й}}$ ) билан қишки ( $X_{\text{к}}$ ) ва ёзги ( $X_{\text{ё}}$ ) ёғинлар ҳамда ёзги ҳаво ҳарорати ( $t_{\text{ё}}$ ) орасидаги кўп ҳадли боғланишлар статистик баҳоланди. Ҳисоблашлар Г.А.Алексеев [Алексеев, 1971] томонидан таклиф этилган объектив тенглаштириш ва нормаллаштириш усулини қўллаш асосида амалга оширилди. Мазкур усулдан фойдаланган ҳолда, гидрометеорологик ўзгарувчилар орасидаги боғланишлар зичлигини ифодаладиган жуфт ( $r_{01}, r_{02}, r_{03}, r_{12}, r_{13}, r_{23}$ ) ва тўлиқ ( $r_0$ ) корреляция коэффициентлари ҳисобланди (4-жадвал).

2-жадвал

Дарёлар ўртача йиллик сув сарфлари боғланишларининг жуфт корреляция коэффициентлари

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции зависимости средних годовых расходов воды рек

Table 2

Pair correlation coefficients of the dependences of the average annual river water discharges

Т.р.	Дарё – пост	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Оҳангарон – Якка-арча д.к.	1	0,947	0,963	0,831	0	0	0,877	0	0,925	0	0	0,930	0	
2	Оҳангарон – Ертош д.к.	1	0	0	0,859	0,954	0,904	0,935	0,882	0,977	0,906	0,848	0,949	0,873	
3	Оҳангарон – Турк к.	1	0,994	0,922	0	0	0,849	0	0,775	0	0	0	0,820	0,875	
4	Наугарзан – Турк к.	1	0,971	0	0,956	0	0,956	0	0,985	0	0	0	0,652	0,713	
5	Қизилча – Ертош к.	1	0,949	0,811	0,848	0,945	0,792	0,865	0,807	0,781	0,941				
6	Жиблон – Жиблон к.	1	0,823	0,844	0,929	0,876	0,853	0,802	0	0	0				
7	Тўғонбошсой – Турк к.	1	0,874	0,822	0,885	0,961	0,902	0,953	0,933						
8	Нишбошсой – Нишбош к.	1	0,876	0,771	0,903	0,787	0,927	0,834							
9	Дукантсой – Дукант к.	1	0,791	0,859	0,717	0,827	0,861								
10	Қорабаусой – Самарчук к.	1	0,911	0,769	0,957	0,930									
11	Гушсой – Кўчбулок к.	1	0,915	0	0										
12	Абжазсой – Абжаз к.	1	0	0	0										
13	Оқчасой – Оқча к.	1	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941
14	Шоввасой – Қоратош к.	1	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941

Изоҳ: \* - дарёлар ва гидрологик постлар уларнинг мазкур жадвалдаги тартиб рақамлари орқали ифодаланган.

Примечание: \* - реки и гидрологические посты обозначены согласно их нумерации в данной таблице.

Note: \* - rivers and hydrological posts are designated according to their numbering in this table.

3-жадвал

Умумий кўриниши  $Q_y=AQ_x\pm B$  бўлган регрессия тенгламалари статистик параметрларининг ўзгариш оралиқлари

Таблица 3

Пределы изменения статистических параметров уравнений регрессий, имеющих общий вид:  $Q_y=AQ_x\pm B$

Table 3

Limits of variation of statistical parameters of regression equations having the general form:  $Q_y=AQ_x\pm B$

Т.р.	Дарё – пост	N	A	B	r
1	Оҳангарон (Якка-арча д.к.)	6	0,038÷1,767	-1,142÷-0,163	0,831÷0,963
2	Оҳангарон (Ертош д.к.)	10	0,022÷0,146	-0,804÷0,201	0,848÷0,977
3	Оҳангарон (Турк қ.)	7	0,018÷0,207	-0,899÷0,888	0,775÷0,994
4	Наугарзан (Турк қ.)	7	0,170÷1,999	0,054÷0,447	0,652÷0,985
5	Қизилча (Ертош қ.)	13	0,308÷4,364	-1,054÷0,528	0,871÷0,949
6	Жиблон (Жиблон қ.)	8	0,446÷11,114	-0,261÷0,724	0,802÷0,929
7	Тўғонбошсой (Турк қ.)	10	1,174÷6,898	-0,325÷2,392	0,822÷0,961
8	Нишбошсой (Нишбош қ.)	13	0,117÷1,191	-1,006÷1,407	0,771÷0,927
9	Дукантсой (Дукант қ.)	10	0,072÷0,618	-1,344÷1,208	0,717÷0,861
10	Қорабаусой (Самарчук қ.)	13	0,139÷0,954	-1,281÷0,079	0,769÷0,957
11	Гушсой (Кўчбулок қ.)	8	0,192÷0,602	-0,246÷0,200	0,915÷0,963
12	Абжасой (Абжас қ.)	8	0,021 ÷0,238	0,070÷0,275	0,717÷0,953
13	Оқчасой (Оқча қ.)	10	0,073÷5,216	-2,098÷0,168	0,652÷0,963
14	Шоввасой (Қоратош қ.)	9	0,022÷2,267	-0,213÷0,168	0,713÷0,941

**Изоҳ:** N – ўзгарувчиларнинг ҳисобланган жуфтликлари сони; A – регрессия коэффициенти; B – регрессия тенгласининг озод ҳади; r – корреляция коэффициенти.

**Примечание:** N – число вычисленных попарных параметров; A – коэффициент регрессии; B – свободный член уравнения регрессии; r – коэффициент корреляции.

**Note:** N – number of calculated pairwise parameters; A – regression coefficient; B – free term of the regression equation; r – correlation coefficient.

Тадқиқотнинг кейинги босқичида, жуфт корреляция коэффицентларининг аниқланган қийматлари асосида, регрессия коэффицентлари ( $\alpha_{01}$ ,  $\alpha_{02}$ ,  $\alpha_{03}$ ) ҳисобланди. Бунинг учун жуфт корреляция коэффицентлари ва номаълум бўлган регрессия коэффицентларидан ташкил топган чизикли тенгламалар системаси тузилди:

$$\begin{cases} \alpha_{01} + r_{12} \cdot \alpha_{02} + r_{13} \cdot \alpha_{03} = r_{01} \\ r_{12} \cdot \alpha_{01} + \alpha_{02} + r_{23} \cdot \alpha_{03} = r_{02} \\ r_{13} \cdot \alpha_{01} + r_{23} \cdot \alpha_{02} + \alpha_{03} = r_{03} \end{cases} \quad (1)$$

Юқоридаги чизикли тенгламалардан иборат бўлган системанинг бош ( $\Delta_{00}$ ) ва ёрдамчи ( $\Delta_{0i}$ ) детерминантлари Крамер усулида ҳисобланди:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} \\ r_{12} & 1 & r_{23} \\ r_{13} & r_{23} & 1 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{01} = \begin{vmatrix} r_{01} & r_{12} & r_{13} \\ r_{02} & 1 & r_{23} \\ r_{03} & r_{23} & 1 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_{02} = \begin{vmatrix} 1 & r_{01} & r_{13} \\ r_{12} & r_{02} & r_{23} \\ r_{13} & r_{03} & 1 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{03} = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{01} \\ r_{21} & 1 & r_{02} \\ r_{31} & r_{32} & r_{03} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Бош ва ёрдамчи детерминантларни аниқлаш мақсадида бажарилган ҳисоблашлар натижалари асосида номаълум бўлган регрессия коэффицентлари ( $\alpha_{01}$ ,  $\alpha_{02}$ ,  $\alpha_{03}$ ) куйидаги ифодалар ёрдамида аниқланди:

$$\alpha_{01} = \frac{\Delta_{01}}{\Delta}; \quad \alpha_{02} = \frac{\Delta_{02}}{\Delta}; \quad \alpha_{03} = \frac{\Delta_{03}}{\Delta}. \quad (3)$$

4-жадвал

Гидрометеорологик ўзгарувчилар орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффицентлари

Таблица 4

Парные коэффициенты корреляции связей между гидрометеорологическими переменными

Table 4

Paired correlation coefficients of links between hydrometeorological variables

Т.р.	Дарё – пост	Жуфт корреляция коэффицентлари					
		$r_{01}$	$r_{02}$	$r_{03}$	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{23}$
1	Оҳангарон – Якка-арча д.қ.	0,889	0,521	-0,372	0,380	-0,335	-0,749
2	Оҳангарон – Ертош д.қ.	0,806	0,560	-0,407	0,380	-0,335	-0,749
3	Оҳангарон – Турк қ.	0,808	0,514	-0,272	0,380	-0,335	-0,749
4	Наугарзан – Турк қ.	0,820	0,550	-0,350	0,380	-0,335	-0,749
5	Қизилча – Ертош қ.	0,794	0,525	-0,326	0,380	-0,335	-0,749
6	Жиблон – Жиблон қ.	0,762	0,521	-0,342	0,380	-0,335	-0,749
7	Тўғонбошсой – Турк қ.	0,779	0,437	-0,322	0,380	-0,335	-0,749
8	Нишбошсой – Нишбош қ.	0,752	0,563	-0,398	0,380	-0,335	-0,749
9	Дукантсой – Дукант қ.	0,757	0,491	-0,288	0,380	-0,335	-0,749
10	Қорабаусой – Самарчук қ.	0,758	0,523	-0,361	0,380	-0,335	-0,749
11	Гушсой – Қўчбулоқ қ.	0,7630	0,515	-0,344	0,380	-0,335	-0,749
12	Абжасой – Абжас қ.	0,728	0,552	-0,394	0,380	-0,335	-0,749
13	Оқчасой – Оқча қ.	0,695	0,404	-0,288	0,380	-0,335	-0,749
14	Шоввасой – Қоратош қ.	0,571	0,531	-0,406	0,380	-0,335	-0,749

Тўйиниш манбалари бўйича турли типларга мансуб бўлган дарёлар учун ҳисобланган регрессия коэффицентларининг қийматлари таҳлил қилинди. Уларнинг ўзгаришлари  $\alpha_{01}=0,434 \div 0,815$ ;  $\alpha_{02}=0,241 \div 0,491$  ва  $\alpha_{03}=0,032 \div 0,343$  оралиқларни ташкил этади (5-жадвал).

Юқорида келтирилган чизиқли тенгламалардан иборат бўлган (1) системадаги номаълум регрессия коэффицентларининг ҳисобланган қийматлари асосида, тадқиқотда ўрганилган ҳар бир дарё учун, нормаллаштирилган регрессия тенгламалари тузилди (6-жадвал).

Ўрганилаётган ҳар бир дарё учун олинган нормаллаштирилган регрессия тенгламаларига гидрометеорологик микдорлар, аниқроғи, функцияга ҳар бир аргументнинг қўшган ҳиссаси аниқланди. Биз кўриб чиқаётган ҳолатда дарёлар ўртача йиллик сув сарфларининг нормаллаштирилган қийматлари  $[U_0(Q)]$  функция вазифасини

ўтаса, қишки ёғинлар  $[U_1(X_k)]$ , ёзги ёғинлар  $[U_2(X_э)]$  ва ёзги ҳаво ҳароратининг  $[U_3(t_э)]$  нормаллаштирилган кийматлари эса унинг аргументларидир. Ушбу масалага оид ҳисоблашлар ҳам Г.А.Алексеев [Алексеев, 1971] таклиф этган ифодалар ёрдамида бажарилди (7-жадвал).

5-жадвал

Бош ва ёрдамчи детерминантлар ҳамда регрессия коэффициентлари

Таблица 5

Основные и вспомогательные детерминанты и коэффициенты регрессии

Table 5

Main and auxiliary determinants and regression coefficients

Т.р.	Дарё – пост	Бош ва ёрдамчи детерминантлар				Регрессия коэффициентлари		
		$\Delta$	$\Delta_{01}$	$\Delta_{02}$	$\Delta_{03}$	$\alpha_{01}$	$\alpha_{02}$	$\alpha_{03}$
1	Оҳангарон – Якка-арча д.қ.	0,373	0,304	0,117	0,050	0,815	0,314	0,134
2	Оҳангарон – Ертош д.қ.	0,373	0,261	0,140	0,041	0,700	0,375	0,110
3	Оҳангарон – Турк қ.	0,373	0,275	0,183	0,128	0,737	0,491	0,343
4	Наугарзан – Турк қ.	0,373	0,271	0,165	0,084	0,727	0,442	0,225
5	Қизилча – Ертош қ.	0,373	0,264	0,161	0,088	0,708	0,432	0,236
6	Жиблон – Жиблон қ.	0,373	0,250	0,152	0,070	0,670	0,408	0,188
7	Тўғонбошсой – Турк қ.	0,373	0,269	0,087	0,035	0,721	0,233	0,094
8	Нишбошсой – Нишбош қ.	0,373	0,237	0,155	0,047	0,635	0,416	0,126
9	Дукантсой – Дукант қ.	0,373	0,254	0,159	0,097	0,681	0,426	0,260
10	Қорабаусой – Самарчук қ.	0,373	0,247	0,142	0,055	0,662	0,380	0,148
11	Гушсой – Кўчбулоқ қ.	0,373	0,251	0,145	0,064	0,673	0,389	0,173
12	Абжассой – Абжас қ.	0,373	0,229	0,151	0,043	0,614	0,405	0,115
13	Оқчасой – Оқча қ.	0,373	0,238	0,090	0,040	0,638	0,241	0,107
14	Шоввасой – Қоратош қ.	0,373	0,162	0,145	0,012	0,434	0,389	0,032

6-жадвал

Нормаллаштирилган регрессия тенгламалари ва уларнинг аниқлиги

Таблица 6

Нормализованные уравнения регрессии и их точность

Table 6

Normalized regression equations and their accuracy

Т.р	Дарё – пост	Нормаллаштирилган регрессия тенгламалари	$r_0 \pm \sigma_{r_0}$
1	Оҳангарон – Якка-арча д.қ.	$U_0(Q)=0,772 \cdot U_1(X_k)+0,175 \cdot U_2(X_э)+0,053 \cdot U_3(t_э)$	$0,969 \pm 0,012$
2	Оҳангарон – Ертош д.қ.	$U_0(Q)=0,689 \cdot U_1(X_k)+0,256 \cdot U_2(X_э)+0,055 \cdot U_3(t_э)$	$0,905 \pm 0,035$
3	Оҳангарон – Турк қ.	$U_0(Q)=0,633 \cdot U_1(X_k)+0,268 \cdot U_2(X_э)+0,099 \cdot U_3(t_э)$	$0,970 \pm 0,012$
4	Наугарзан – Турк қ.	$U_0(Q)=0,649 \cdot U_1(X_k)+0,265 \cdot U_2(X_э)+0,086 \cdot U_3(t_э)$	$0,958 \pm 0,016$
5	Қизилча – Ертош қ.	$U_0(Q)=0,635 \cdot U_1(X_k)+0,272 \cdot U_2(X_э)+0,092 \cdot U_3(t_э)$	$0,913 \pm 0,032$
6	Жиблон – Жиблон қ.	$U_0(Q)=0,648 \cdot U_1(X_k)+0,270 \cdot U_2(X_э)+0,081 \cdot U_3(t_э)$	$0,888 \pm 0,041$
7	Тўғонбошсой – Турк қ.	$U_0(Q)=0,810 \cdot U_1(X_k)+0,147 \cdot U_2(X_э)+0,043 \cdot U_3(t_э)$	$0,833 \pm 0,059$
8	Нишбошсой – Нишбош қ.	$U_0(Q)=0,627 \cdot U_1(X_k)+0,307 \cdot U_2(X_э)+0,066 \cdot U_3(t_э)$	$0,873 \pm 0,046$
9	Дукантсой – Дукант қ.	$U_0(Q)=0,645 \cdot U_1(X_k)+0,261 \cdot U_2(X_э)+0,094 \cdot U_3(t_э)$	$0,894 \pm 0,038$
10	Қорабаусой – Самарчук қ.	$U_0(Q)=0,709 \cdot U_1(X_k)+0,263 \cdot U_2(X_э)+0,069 \cdot U_3(t_э)$	$0,871 \pm 0,047$
11	Гушсой – Кўчбулоқ қ.	$U_0(Q)=0,664 \cdot U_1(X_k)+0,259 \cdot U_2(X_э)+0,078 \cdot U_3(t_э)$	$0,880 \pm 0,043$
12	Абжассой – Абжас қ.	$U_0(Q)=0,625 \cdot U_1(X_k)+0,319 \cdot U_2(X_э)+0,063 \cdot U_3(t_э)$	$0,846 \pm 0,055$
13	Оқчасой – Оқча қ.	$U_0(Q)=0,776 \cdot U_1(X_k)+0,170 \cdot U_2(X_э)+0,054 \cdot U_3(t_э)$	$0,756 \pm 0,083$
14	Шоввасой – Қоратош қ.	$U_0(Q)=0,530 \cdot U_1(X_k)+0,442 \cdot U_2(X_э)+0,068 \cdot U_3(t_э)$	$0,684 \pm 0,102$

**Изоҳ:**  $r_0 \pm \sigma_{r_0}$  – тўлиқ корреляция коэффициентлари ва унинг хатолиги.

**Примечание:**  $r_0 \pm \sigma_{r_0}$  – полный коэффициент корреляции и его ошибка.

**Note:**  $r_0 \pm \sigma_{r_0}$  – total correlation coefficient and its error.

7-жадвал

Аргументларнинг нормаллаштирилган регрессия тенгламаларига қўшган ҳиссалари

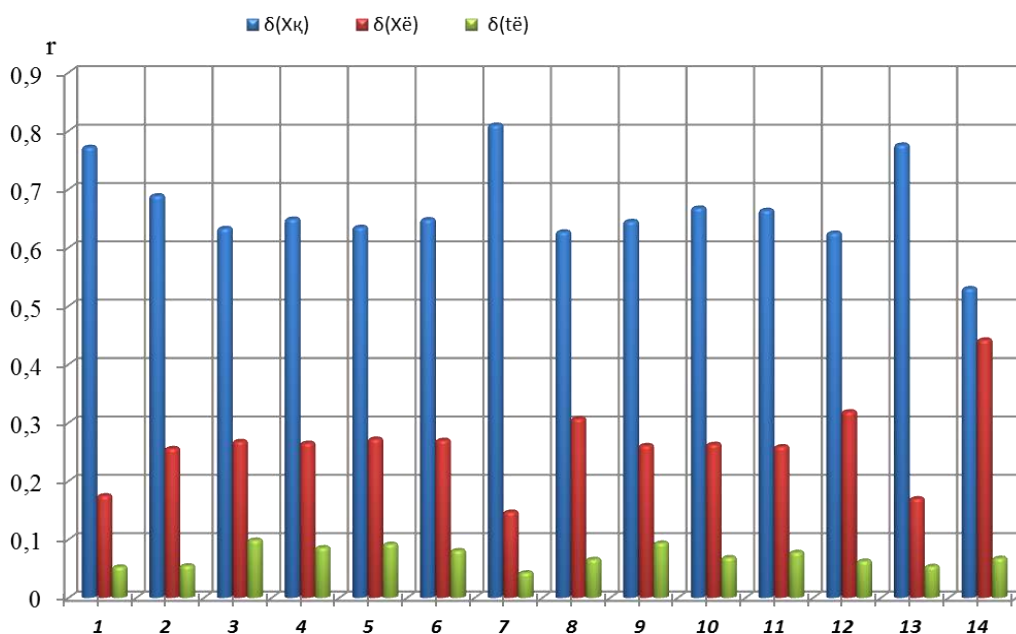
Таблица 7

Вклады аргументов в уравнения нормализованной регрессия

Table 7

Normalized regression of the contributions of arguments to the equations

Т.р.	Дарё – пост	Қишки ёғинлар ҳиссаси, $\delta(X_k)$	Ёзги ёғинлар ҳиссаси, $\delta(X_e)$	Ҳароратнинг ҳиссаси, $\delta(t_e)$
1	Оҳангарон – Якка-арча д.к.	0,772	0,175	0,053
2	Оҳангарон – Ертош д.к.	0,689	0,256	0,055
3	Оҳангарон – Турк қ.	0,633	0,268	0,099
4	Наугарзан – Турк қ.	0,649	0,265	0,086
5	Қизилча – Ертош қ.	0,635	0,272	0,092
6	Жиблон – Жиблон қ.	0,648	0,270	0,081
7	Тўғонбошсой – Турк қ.	0,810	0,147	0,043
8	Нишбошсой – Нишбош қ.	0,627	0,307	0,066
9	Дукантсой – Дукант қ.	0,645	0,261	0,094
10	Қорабаусой – Самарчук қ.	0,668	0,263	0,069
11	Гушсой – Кўчбулоқ қ.	0,664	0,259	0,078
12	Абжасой – Абжас қ.	0,625	0,319	0,063
13	Оқчасой – Оқча қ.	0,776	0,170	0,054
14	Шоввасой – Қоратош қ.	0,530	0,442	0,068



1-расм. Дарёлар оқимининг ҳосил бўлишига метеорологик миқдорларнинг қўшган ҳиссалари

Изоҳ: 1,2,... 14 – дарёларнинг 7-жадвалда келтирилган тартиб рақамларига мос келади.

Рис. 1. Вклад метеорологических величин в формирование стока рек

Примечание: цифры 1,2,..., 14 соответствуют нумерации рек, представленных в таблице 7.

Fig. 1. The contribution of meteorological quantities to the formation of river flow

Note: The numbers 1,2, ..., 14 correspond to the numbering of the rivers presented in table 7

Бажарилган ҳисоблашлар натижалари таҳлилларига кўра, тадқиқотимизда ўрганилган дарёлар йиллик оқимининг ҳосил бўлишига метеорологик омиллар қўшган ҳиссаларининг турлича эканлиги аниқланди. Жумладан, қор кўринишида ёғадиган қишки ёғинларнинг ҳиссалари  $[\delta(X_k)]$  турли дарёларда  $53,7 \div 81,0\%$  ораликда ўзгарди. Асосан ёмғир шаклидаги ёзги ёғинларнинг ҳиссалари  $[\delta(X_\varepsilon)]$  эса, нисбатан кичик бўлиб,  $14,7 \div 44,2\%$  ораликни ташкил этди. Дарёларнинг тўйинишида эриган қор ва муз сувларининг улушини ифодалайдиган ҳаво ҳароратининг ҳиссалари  $[\delta(t_\varepsilon)]$  бошқа аргументларга нисбатан кичик қийматларда бўлиб,  $5,3 \div 9,9\%$  ораликда ўзгарди (1-расм).

Демак, Оҳангарон ҳавзаси дарёлари йиллик оқимининг ҳосил бўлишида қишки ( $X_k$ ) ёғинларнинг ҳиссалари устувор аҳамиятга эга. Бу жараёнда ёзги ( $X_\varepsilon$ ) атмосфера ёғинларининг, айниқса, ёзги ҳаво ҳарорати ( $t_\varepsilon$ ) нинг улушлари эса нисбатан кичикдир. Ушбу натижалар дарёларнинг тўйиниш манбаларига кўра В.Л.Щульц [Щульц, 1965] ва О.П.Щеглова [Щеглова, 1960] ларнинг классик ёндашувлар асосида ишлаб чиқилган таснифларининг нақадар ишончли эканлигини яна бир бор тасдиқлайди.

Бажарилган тадқиқот натижаларининг таҳлиллари асосида, **хулоса** сифатида, қуйидагиларни қайд этиш мумкин.

1. Оҳангарон ҳавзасидаги 14 та дарё калит тадқиқот объектлари сифатида танлаб олинди. Улардаги гидрологик постларда кузатилган сув сарфлари маълумотлари бирламчи қайта ишланди ва умумлаштирилди. Қаторларда мавжуд бўлган узилишлар статистик таҳлиллар асосида аниқланган аналог дарёлар маълумотлари ёрдамида тикланди.

2. Дарёларнинг ўртача йиллик сув сарфлари ( $Q_{\text{й}}$ ) билан қишки ( $X_k$ ) ва ёзги ( $X_\varepsilon$ ) ёғинлар ҳамда ёзги ҳаво ҳарорати ( $t_\varepsilon$ ) орасидаги кўп ҳадли боғланишлар Г.А.Алексеев усулида статистик баҳоланди. Натижада ҳар бир дарё учун нормаллаштирилган регрессия тенгламалари тузилди. Ушбу тенгламаларнинг аниқлиги, Шоввасойни ҳисобга олмаганда ( $r_0=0,684$ ), юқори бўлиб,  $r_0=0,756 \pm 0,083 \div 0,970 \pm 0,012$  ораликда ўзгарадиган тўлик корреляция коэффицентлари билан ифодаланади.

3. Дарёлар йиллик оқимининг ҳосил бўлишига метеорологик омилларнинг қўшган ҳиссалари баҳоланди. Ҳисоблашлар натижалари таҳлилларига кўра, бу жараёнда қишки ёғинларнинг ҳиссалари катта бўлиб, уларнинг қийматлари турли дарёларда  $53,7 \div 81,0$  фоиз ораликда ўзгаради. Ёзги ёғинларнинг ҳиссалари эса қишки ёғинларга нисбатан бир мунча кам бўлиб, улар 14% дан (Тўғонбошисой) 44% гача (Шоввасой) ораликдаги қийматларни ташкил этди. Ёзги ҳаво ҳароратининг нормаллаштирилган регрессия тенгламаларига қўшган улушлари янада кичик бўлиб,  $4 \div 9\%$  атрофида ўзгарди.

4. Оҳангарон ҳавзаси дарёлари мисолида бажарилган мазкур тадқиқотда олинган натижалар, шубҳасиз, маълум даражада илмий ва амалий аҳамиятга эга. Улардан Оҳангарон ҳавзаси дарёлари сув ресурсларини миқдорий баҳолаш масалалари билан боғлиқ бўлган гидрологик ҳисоблашлар ва прогнозлар амалиётида фойдаланиш тавсия этилади.

5. Юқорида баён этилганларни умумлаштириб, Оҳангарон ҳавзаси дарёлари оқими миқдорларини аниқлаш ва прогнозлашга замин яратадиган ҳисоблашларнинг ушбу ишда қўлланилган усуллари ва ёндашувларини келажакда бошқа тоғ дарёлари мисолида кўриб чиқиш, унда олинган натижалар ва улар асосида чиқарилган хулосаларга янада аниқлик киритиш имконини беради, деган хулосага келиш мумкин.

**Миннатдорчилик.** Муаллиф мақолани тайёрлашда яқиндан ёрдам берган ҳамда илмий ва услубий маслаҳатларини аямаган устозлар – г.ф.д., проф. Ф.Ҳикматов ва г.ф.д., доцент Ғ.Х.Юнусовларга ўз миннатдорлигини билдиради. Муаллиф қўлёзманинг нашрга тайёрланган матни билан танишди ва ўз розилигини билдирди.

## АДАБИЁТЛАР

- Алексеев Г.А.* Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 63 с.
- Большаков М.Н.* Водные ресурсы рек советского Тянь-шаня и методы их расчета. – Фрунзе: Илим, 1974. – 306 с.
- Гафуров А.А.* Қашқадарё хавзаси сув ресурслари мониторинги ва уни оптимал бошқаришда геоахборот тизимларидан фойдаланиш. Геогр. фан. ф. д. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2022. – 44 б.
- Глушков В.Г.* Вопросы теории и методы гидрологических исследований. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 414 с
- Давыдов Л.К., Корженевский Н.Л.* Влияние метеорологических факторов на режим р. Нарына // Тр. Средазмета. – Ташкент, 1929. – Том 1. – Вып.2. – С. 79-144.
- Закономерности гидрологических процессов. Под редакцией Н.И.Алексеевского. – М.: ГЕОС, 2012. – 736 с.
- Зияев Р.Р.* Зарафшон хавзаси дарёлари сув режими фазаларининг иқлим ўзгариши шароитидаги силжишлари. Геогр. фан. ф. д. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2021. – 46 б.
- Ольдеков Э.М.* Зависимость режима р.Чирчик от метеорологических факторов // Тр. Метеорол. отдела гидром. части в Туркестанском крае. – Тошкент, 1918. Вып. 89. – 83 с.
- Тошев Х.Р.* Чўл ландшафтлари ва уларнинг агроимкониятларидан фойдаланиш (Бухоро вилояти мисолида). Геогр. фан. номзоди. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2008. – 26 б.
- Тургунов Д.М.* Тоғ дарёлари кам сувли йиллар оқими гидрологик кўрсаткичларини ҳисоблаш ва прогнозлаш. Геогр. фан. док. (DSc) ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2022. – 61 б.
- Хайдаров С.А.* Зарафшон хавзаси дарёлари сув ресурсларининг шаклланишига иқлимий омилларнинг таъсирини баҳолаш. Геогр. фан. ф. док. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2018. – 45 б.
- Хакимова З.Ф.* Тоғ дарёлари оқимининг ҳосил бўлишига иқлимий омилларнинг қўшган ҳиссаларини баҳолаш // Иқлим ўзгариши шароитида гидрометеорологик тадқиқотлар: долзарб муаммолар ва уларнинг ечимлари мавзуидаги Халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2022. – Б. 77-80.
- Хакимова З.Ф., Собирова Н.Р.* Вопросы долгосрочных прогнозов стока горных рек на период вегетации // Использование водных ресурсов в условиях изменения климата. Материалы международной научно-практической конференции в рамках 32-й Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2022». – Уфа, 2022. – С. 37-41.
- Хикматов Ф.Х.* и др. Закономерности формирования водных ресурсов горных рек в условиях изменения климата. Монография. – Ташкент: “Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи”, 2020. – 232 с.
- Чуб В.Е.* Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Тошкент: VORIS–NASHRIYOT, 2007. – 132 с.
- Ширинбоев Д.Н.* Зарафшон дарёси сув режимининг антропоген омиллар таъсирида ўзгариши. Геогр. фан. ф. д. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2021. – 45 б.
- Шульц В.Л.* Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 695 с.
- Щеглова О.П.* Питание рек Средней Азии. – Ташкент: Изд-во СамГУ, 1960. – 243 с.
- Эрлапасов Н.Б.* Тоғ дарёларининг ер ости сувлари ҳисобига тўйиниши хусусиятлари. Геогр. фан. ф. д. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2022. – 46 б.
- Ғаниев Ш.Р.* Ўрта Зарафшон хавзаси дарёларининг гидрологик режими, сув ресурслари ва улардан самарали фойдаланиш. Геогр. фан. ф. д. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2022. – 45 б.
- Ҳалимова Г.С.* Паст тоғлар сув ресурслари шаклланишининг табиий географик омиллари ва улардан самарали фойдаланиш масалалари. Геогр. фан. ф. д. ... дисс. автореферати. – Тошкент, 2020. – 45 б.
- Хикматов Ф.Ҳ., Ҳалимова Г.С.* Ўзбекистондаги паст тоғлар сув ресурсларининг манбалари ва улардан самарали фойдаланиш масалалари. – Ташкент: IRNMU, 2021. – 160 б.
- Yunusov G., Sagdeev N., Kuvatov D.* Main characteristics of river flow of Kashkadarya river

basin and their variability // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 8, Issue 9, 9. 2021. – P. 6276-6291.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕК АХАНГАРАНСКОГО БАСЕЙНА

З.Ф. ХАКИМОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, zilola\_khakimova@inbox.ru

**Аннотация.** В статье произведена статистическая оценка совокупного влияния метеорологических факторов – сезонных (зимних, летних) атмосферных осадков и температуры воздуха на формирование годового стока рек Ахангаранского бассейна. Расчеты выполнены объективным методом выравнивания и нормализации корреляционных связей, предложенным Г.А.Алексеевым. Получены нормализованные уравнения регрессии, которые представляют многофакторные связи между стоком рек и климатическими факторами, оценены вклады аргументов в них. Выявлено, что в формировании стока рек приоритетным является вклад зимних осадков (53,7÷81,0%), которые выпадают главным образом в виде снега.

**Ключевые слова:** река, расход воды, метеорологическая величина, атмосферные осадки, температура воздуха, коэффициенты корреляции, уравнения регрессии, вклады аргументов.

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL FACTORS ON THE FORMATION OF THE RUNOFF OF THE RIVERS OF THE AKHANGARAN BASIN

Z.F. KHAKIMOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, zilola\_khakimova@inbox.ru

**Abstract.** The article provides a statistical assessment of the cumulative effect of meteorological factors – seasonal (winter, summer) precipitation and air temperature on the formation of the annual runoff of the rivers of the Akhangaran basin. The calculations were performed by the objective method of alignment and normalization of correlations proposed by G.A.Alekseev. Normalized regression equations are obtained, which represent multifactorial relationships between river flow and climatic factors, and the contributions of arguments to them are estimated. It was revealed that the contribution of winter precipitation (53.7-81.0%), which falls mainly in the form of snow, is a priority in the formation of river runoff.

**Keywords:** river, water flow, meteorological value, precipitation, air temperature, correlation coefficients, regression equations, contributions of arguments.

## REFERENCES

Alekseyev G.A. Ob'ektivnie metodi viravnivaniya i normalizatsii korrelyatsionnix svyazey [Objective methods of alignment and normalization of correlations]. – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – 63 s. (in Russian)

Bolshakov M.N. Vodnie resursi rek Sovetskogo Tyan-Shanya i metodi ix rascheta [Water resources of the rivers of the Soviet Tien Shan and methods of their calculation]. – Frunze: Ilim, 1974. – 306 s. (in Russian)

Gafurov A.A. Qashqadaryo havzasi suv resurslari monitoringi va uni optimal boshqarishda geoaxborot tizimlaridan foydalanish [The use of Geoinformation systems in the monitoring and optimal management of water resources of the kashkadarya Basin]. Geogr. fan. fals. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2022. – 44 b. (in Uzbek)

Glushkov V.G. Voprosi teorii i metodi gidrologicheskix issledovaniy [Questions of theory and methodology of hydrological research]. – M.:Izd-vo AN SSSR, 1961. – 414 s. (in Russian)

*Davidov L.K., Korjenevskiy N.L.* Vliyaniye meteorologicheskix faktorov na rejim r. Narina [The influence of meteorological factors on the regime of the river. Narina] // Tr. Sredazmeta. – Tashkent, 1929. – Tom 1. – Vip.2. – S. 79-144. (in Russian)

Zakonomernosti gidrologicheskix protsessov [Regularities of hydrological processes]. Pod redaksiyey N.I.Alekseyevskogo. – M.: GEOS, 2012. – 736 s. (in Russian)

*Ziyaev R.R.* Zarafshon havzasi daryolari suv rejimi fazalarining iqlim o'zgarishi sharoitidagi siljishlari [Zarafshan basin rivers shifts in the conditions of climate change of the phases of the water regime]. Geogr. fan. f. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2021. – 46 b. (in Uzbek)

*Oldekop E.M.* Zavisimost rejima r.Chirchik ot meteorologicheskix faktorov [Dependence of r.Chirchik mode from meteorological factors] // Tr. Meteopol. otdela gidpom. chacti v Turkestanskom krae. – Toshkent, 1918. – Vip. 89. – 83 s. (in Russian)

*Toshev X.R.* Cho'l landshaftlari va ularning agroimkoniyatlaridan foydalanish (Buxoro viloyati misolida) [The use of desert landscapes and their agroimkonities (on the example of the Bukhara region)]. Geogr. fan. nomzodi ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2008. – 26 b. (in Uzbek)

*Turg'unov D.M., Nazarqulov O.A., Gulmurzayeva B.A.* Tog' daryolari suvlilik darajasini o'zgarishiga atmosfera yog'inlari turlarining ta'sirini statistik baholash (Piskom daryosi misolida) [Statistical assessment of the influence of types of atmospheric precipitation on changes in the water level of mountain rivers (in the case of Piskom River)]. // O'zbekiston geopafiya jamiyati axboroti. 58-jild. – Toshkent, 2020. – B. 208-214. (in Uzbek)

*Turg'unov D.M.* Tog' daryolari kam suvli yillar oqimi gidrologik ko'rsatkichlarini hisoblash va prognozlash [Calculation and forecasting of hydrological indicators of the flow of low-water years of mountain rivers]. Geogr. fan. dok. (DSc) ... avtoreferati. – Tashkent, 2020. – 61 b. (in Uzbek)

*Khaydarov S.A.* Zarafshon havzasi daryolari suv resurslarining shakillanishiga iqlimiy omillarning ta'sirini baholash [Assessment of the influence of climatic factors on the formation of water resources of the rivers of the Zarafshan Basin] Geogr. fan. f. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2018. – 45 b. (in Uzbek)

*Khakimova Z.F.* Tog' daryolari oqimining hosil bo'lishiga iqlimiy omillarning qo'shgan hissalarini baholash [Assessment of the contribution of climatic factors to the formation of mountain streams] // Iqlim o'zgarishi sharoitida gidrometeorologik tadqiqotlar: dolzarb muammolar va ularning. – Toshkent, 2022. – B. 77-80. (in Uzbek)

*Khakimova Z.F., Sobirova N.R.* Voprosi dolgosrochnix prognozov stoka gornix rek na period vegetatsii [Issues of long-term forecasts of mountain river runoff for the growing season] // Ispolzovaniye vodnix resursov v usloviyax izmeneniya klimata. Materiali mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkax 32-y Mejdunarodnoy spetsializirovannoy vistavki agrokompleks. – Ufa, 2022. – S. 37-41. (in Russian)

*Khalimova G.S.* Past tog'lar suv resurslari shakillanishining tabiiy geografik omillari va ulardan samarali foydalanish masalalari [Low mountains are natural geographical factors of the formation of Water Resources and issues of their effective use]. Geogr. fan. f. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2020. – 45 b. (in Uzbek)

*Khikmatov F.X. i dr.* Zakonomernosti formirovaniya vodnix resursov gornix rek v usloviyax izmeneniya klimata. Monografiya. [Patterns of formation of water resources of mountain rivers in the conditions of climate change. Monograph] – Tashkent: “Innovatsion rivojlanish nashriyot-matbaa uyi”, 2020. – 232 s. (in Russian)

*Khikmatov F.H., Halimova G.S.* O'zbekistondagi past tog'lar suv resurslarining manbalari va ulardan samarali foydalanish masalalari [Low mountains in Uzbekistan are sources of Water Resources and issues of their effective use]. – Tashkent: IRNMU, 2021. – 160 b. (in Uzbek)

*Chub V.E.* Izmenenie klimata i yego vliyanie na gidrometeorologicheskie protsessi, agroklimaticheskie i vodnie resursi Respubliki Uzbekistan [Patterns of formation of water resources of mountain rivers in the conditions of climate change. Monograph] – Toshkent: VORIS–NASHRIYOT, 2007. – 132 s. (in Russian)

*Shirinboev D.N.* Zarafshon daryosi suv rejimining antropogen omillar ta'sirida o'zgarishi. [Changes in the water regime of the Zarafshan River under the influence of anthropogenic factors]. Geogr. fan. f. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2021. – 45 b. (in Uzbek)

Shuls V.L. Reki Sredney Azii [Rivers of Central Asia]. Ch. 1,2. – L.: Gidrometeoizdat, 1965. – 691 s. (in Russian)

Sheglova O.P. Pitaniye rek Sredney Azii [Feeding the rivers of Central Asia]. – Tashkent: Izd-vo Sam GU, 1960. – 243 s. (in Russian)

Erlapasov N.B. Tog' daryolarining yer osti suvlari hisobiga to'yinishi xususiyatlari [Features of the saturation of mountain rivers at the expense of groundwater]. Geogr. fan. fals. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2022. – 46 b. (in Uzbek)

G'aniev Sh.R. O'rta Zarafshon havzasi daryolarining gidrologik rejimi, suv resurslari va ulardan samarali foydalanish [Hydrological regime of the rivers of the Middle Zarafshan Basin, Water Resources and their effective use]. Geogr. fan. fals. dok. ... diss. avtoreferati. – Toshkent, 2022. – 45 b. (in Uzbek)

УДК: 556.535.6

## ЎРТА ЗАРАФШОН ҲАВЗАСИ КИЧИК ДАРЁЛАРИ СУВ ВА МУАЛЛАҚ ОҚИЗИҚЛАРИ ОҚИМИНИНГ ЎЗГАРУВЧАНЛИГИ ҲАҚИДА

К.Р. РАХМОНОВ<sup>1\*</sup>, Х.Х. НУРЛИБОЕВ<sup>2</sup>, И.М. ХЎЖАМОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, komiljons@mail.ru

<sup>2</sup> Шароф Рашидов номидаги Самарқанд давлат университети, nurliboyevxusan@gmail.com

<sup>3</sup> Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги, intizor2019@mail.ru

**Аннотация.** Мақолада сув ва муаллақ оқизиклар сарфларининг ўзгарувчанлиги масалалари Ўрта Зарафшон ҳавзаси кичик дарёлари ва сойлари мисолида ўрганилган. Дарёлар оқимининг ўзгарувчанлиги кўрсаткичи – вариация коэффициенти сув режимининг ҳар икки элементи учун ҳисобланган. Олинган натижалар асосида дарёлар сув ва муаллақ оқизикларининг ўзгарувчанлик коэффициентлари орасидаги боғланишлар статистик баҳоланган. Шунингдек, тадқиқотда ўзгарувчанлик коэффициентлари билан дарёлар ҳавзаларининг ўртача баландликлари ҳамда уларнинг сув тўплаш майдонлари орасидаги боғланишлар аниқланган. Ушбу боғланишларнинг регрессия тенгламаларидан гидрологик ҳисоблашлар амалиётида фойдаланиш имкониятлари мавжуд.

**Калит сўзлар:** дарё, ҳавза майдони, ўртача баландлик, сув сарфи, муаллақ оқизиклар сарфи, вариация коэффициенти, боғланиш, статистик баҳолаш, регрессия тенгламаси.

**Кириш.** Дарёлар сув ва муаллақ оқизиклари оқимининг ўзгарувчанлигини ўрганиш бугунги кунда тоғли ҳудудлар гидрологиясида долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Шу сабабли, уларни ўрганиш асосида олинган натижалар сув ҳўжалиги тизимлари ва гидротехник иншоотларни лойиҳалаш, қуриш ҳамда улардан самарали фойдаланишда муҳим аҳамият касб этади. Шунингдек, мазкур тадқиқот натижаларидан Ўрта Зарафшон ҳавзасидаги ҳозирги кунда мавжуд бўлган ва келажакда қурилиши мўлжалланган кичик сув омборларини лойка оқизиклар билан тўлиш жадаллигини баҳолашда фойдаланиш имкониятлари мавжуд.

Ушбу турдаги масалалар Б.В.Поляков [Поляков, 1935], Г.В.Лопатин [Лопатин, 1949], В.П.Светицкий [Светицкий, 1958], Г.И.Шамов [Шамов, 1959], А.В.Караушев [Караушев, 1977], В.Л.Шульц [Шульц, 1947], О.П.Щеглова [Щеглова, 1977], Г.Н.Хмаладзе [Хмаладзе, 1978], Г.И.Швебс [Швебс, 1981], Ю.Н.Иванов [Иванов, 1967], Ф.Х.Хикматов [Хикматов, 2011, 2020, 2021] ва бошқалар томонидан ўрганилган. Лекин, ушбу тадқиқотларда Ўрта Зарафшон ҳавзаси алоҳида тадқиқот объекти сифатида ўрганилмаган. Шу сабабли, мазкур масалани Зарафшон ҳавзасининг ўрта қисмида жойлашган кичик

\* Масъул муаллиф: komiljons@mail.ru, тел.: +998 97 756-36-29

дарёлар мисолида ўрганиш бугунги куннинг **долзарб** масалалардан биридир.

Мазкур тадқиқот ишининг **асосий мақсади**, Ўрта Зарафшон ҳавзаси кичик дарёлари сув ва муаллақ оқизиклари оқими ўзгарувчанлик коэффициентларини ўрганишдан иборат. Шу мақсадда ишда қуйидаги **вазифалар** белгиланди: 1) сув ва муаллақ оқизиклар сарфлари кузатиб бориладиган гидрологик постларни танлаш, уларда қайд этилган маълумотларни тўплаш, бирламчи қайта ишлаш; 2) тўпланган маълумотлар асосида дарёларнинг сув ва муаллақ оқизиклари йиллик оқимларининг ўзгарувчанлик коэффициентларини ҳисоблаш; 3) дарёлар сув ва муаллақ оқизиклари сарфларининг ўзгарувчанлик коэффициентлари орасидаги боғланишни ўрганиш; 4) дарёлар муаллақ оқизиклар оқими ўзгарувчанлик коэффициентлари билан ҳавза ўртача баландлиги ва сув тўплаш майдонлари орасидаги боғланишларни ўрганиш.

Ишда белгиланган мақсад ва вазифаларни амалга оширишда **тадқиқот объекти** сифатида, Зарафшон ҳавзаси ўрта қисмида жойлашган кичик дарёлар ва сойлар танланди. Уларда кузатилган сув ва муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентларининг ўзаро боғлиқлиги, муаллақ оқизиклар оқими билан сув тўплаш майдонлари ва ўртача баландликлар орасидаги боғланиш графикларини ўрганиш ишининг **тадқиқот предмети** ҳисобланади.

Тадқиқотда Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази (Ўзгидромет) тизимида Зарафшон ҳавзаси ўрта қисмида жойлашган дарёлар ва сойларда ягона усулда амалга оширилган стандарт гидрометеорологик кузатиш маълумотларидан фойдаланилди. Шунингдек, уларни қайта ишлашда умумий қабул қилинган тадқиқот усуллари, жумладан, математик статистика, гидрологик ўхшашлик, корреляцион боғланишларни баҳолашнинг объектив тенглаштириш ва нормаллашштириш усулларидан фойдаланилди.

**Олинган натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Ишда Ўрта Зарафшон ҳавзаси кичик дарёларида кузатиш ишлари олиб борилган 10 га яқин гидрологик постлар танлаб олинди. Ушбу гидрологик постларда ўлчанган сув ва муаллақ оқизиклар сарфларида ўзилишлар мавжудлиги сабабли, улар аналог дарёлар танлаш асосида тикланди ва бир хил узунликдаги гидрологик қаторларга келтирилди. Тўпланган маълумотлар асосида сув ( $C_{VQ}$ ) ва муаллақ оқизиклар ( $C_{VR}$ ) оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентлари қуйидаги ифода ёрдамида аниқланди:

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{i - 1}},$$

бу ерда:  $K_i = \frac{Y_i}{Y_0}$  – модул коэффициент,  $n$  – қатор аъзолари сони.

Ўрганилган дарёлар муаллақ оқизиклари сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентларининг энг катта қиймати  $C_{VR}=1,62$  ни ташкил қилган бўлса, сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентининг максимали  $C_{VQ}=0,714$  га тенг бўлиб, Тўсинсой (Қорақия қ.) га тўғри келади. Муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентининг энг кичик қиймати Оқдарё (Оғалик қ.)га тўғри келган бўлса ( $C_{VR}=0,657$ ), сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентининг минимал қиймати  $C_{VQ}=0,354$  бўлиб, Кўксаройсой (Кўксарой қ.) га тегишлидир (1-жадвал).

Тоғ дарёлари сув ва муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентлари орасидаги боғланишлар мавжудлиги дастлаб, Г.В.Лопатин, Б.В.Поляков, Г.Н.Хмаладзе ва бошқалар томонидан ўрганилган. Кейинчалик ушбу тадқиқотлар Ўрта Осиё тоғ дарёлари мисолида В.П.Светицкий, О.П.Щеглова, Ф.Х.Хикматов ва бошқалар томонидан давом эттирилган.

1-жадвал

Дарёлар муаллақ оқизиклари ( $C_{VR}$ ) ва сув сарфлари ( $C_{VQ}$ )нинг ўзгарувчанлик коэффициентлари

Таблица 1

Коэффициенты вариации расходов взвешенных наносов ( $C_{VR}$ ) и стока воды ( $C_{VQ}$ ) рек

Table 1

Coefficients of variation of suspended sediment rates ( $C_{VR}$ ) and runoff ( $C_{VQ}$ ) of rivers

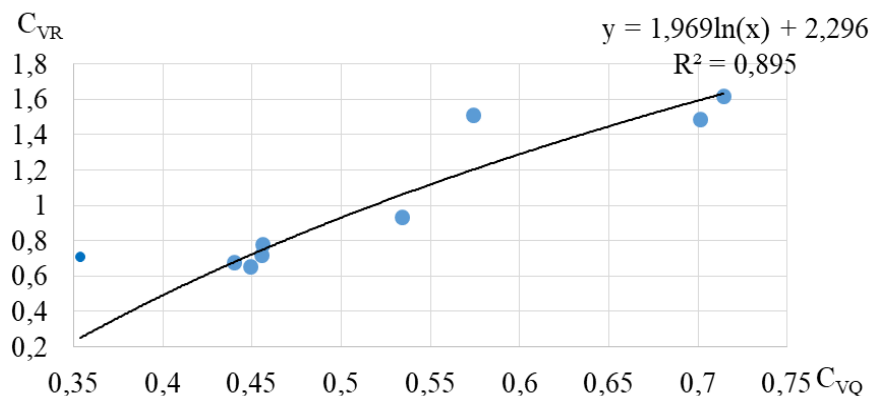
Т/р	Дарё – кузатиш жойи	F, км <sup>2</sup>	H, м	Кузатиш йиллари				$C_{VR}$	$C_{VQ}$	$C_{VR}/C_{VQ}$
				Q, сув сарфи	R, муаллақ оқизиклар сарфи	n, сони				
						Q	R			
1	Ургутсой – Ургут ш.	25,1	1710	1961-2020	1961-2020	60	60	0,719	0,455	1,58
2	Омонқўтансой – Оманқўтан қ.	57,8	1601	1961-2020	1961-2020	60	60	0,779	0,456	1,71
3	Оқдарё – Оғалик қ.	70,9	1384	1961-2020	1961-2020	60	60	0,657	0,449	1,46
4	Тўсинсой – Қорақия қ.	893	1110	1961-2020	1961-2020	60	60	1,62	0,714	2,27
5	Қорағач – Мавлон қ.	34,7	1257	1961-2020	1961-2020	60	60	0,933	0,534	1,75
6	Майдон – Олмаота қ.	62,5	1138	1961-2020	1961-2020	60	60	1,51	0,574	2,63
7	Кўксаройсой – Кўксарой қ.	247	938	1961-2020	1961-2020	60	60	0,708	0,354	2,00
8	Бегларсой – Янги-Оқчоб қ.	180	1340	1961-2020	1961-2020	60	60	1,49	0,701	2,13
9	Сазагансой – Сазаган қ.	26,8	1246	1961-2020	1961-2020	60	60	0,681	0,440	1,55

**Изоҳ:** F – дарё ҳавзаси майдони; H – дарё ҳавзасининг ўртача баландлиги.

**Примечание:** F – площадь речного бассейна; H – средняя высота бассейна реки.

**Note:** F – river basin area; H – average height of the river basin.

Тадқиқотда юқоридаги 1-жадвал маълумотлари асосида ўрганилган дарёлар сув ( $C_{VQ}$ ) ва муаллақ оқизиклар ( $C_{VR}$ ) сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентлари орасидаги боғланиш графиклари ўрганилди (1-расм).



1-расм. Дарёлар муаллақ оқизиклари ва сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентлари орасидаги боғланиш графиги

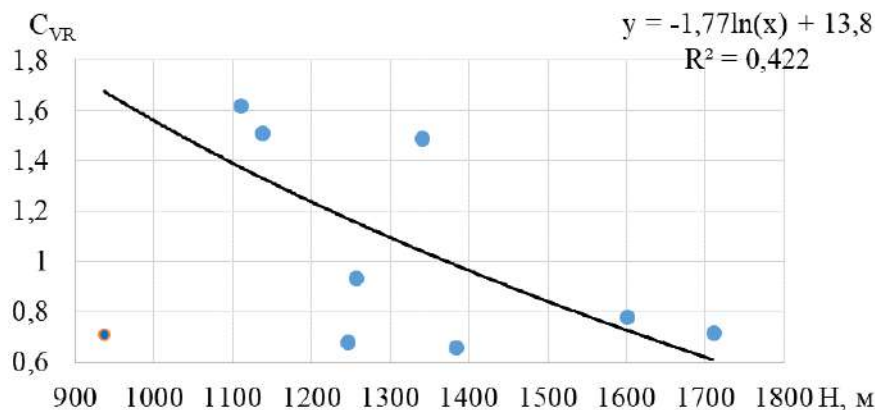
Рис. 1. График связи между коэффициентами вариации расходов воды и взвешенных наносов рек

Fig. 1. Graph of the relationship between the coefficients of variation of water discharges and suspended sediments of rivers

Ишнинг кейинги қисмида дарёлар муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентлари ( $C_{VR}$ ) билан сув тўплаш майдонлари (F) орасидаги боғланиш графиги

ўрганилди (2-расм).

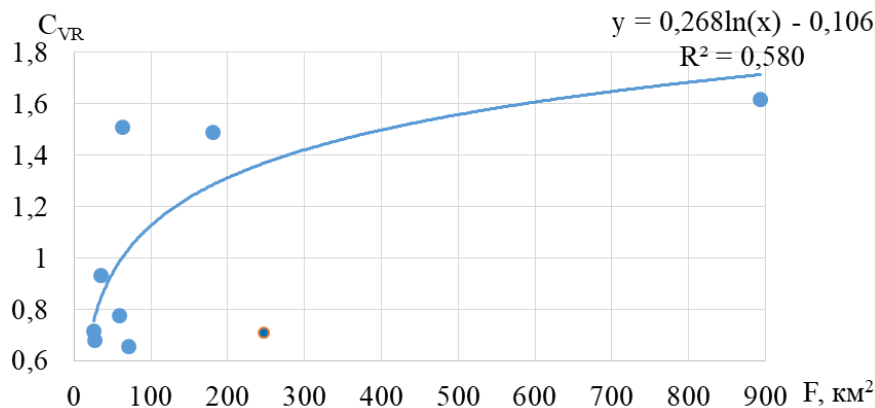
Тадқиқот иши давомида дарёлар муаллақ оқизиклари билан ҳавзанинг ўртача баландликлари (Н) орасидаги боғланишларни ўрганишга ҳам алоҳида эътибор қаратилди (3-расм).



2-расм. Дарёлар муаллақ оқизиклари ўзгарувчанлик коэффициентлари билан ҳавзалар ўртача баландликлари орасидаги боғланиш графиги

Рис. 2. График связи между коэффициентами вариации расходов взвешенных наносов и средней высотой бассейнов рек

Fig. 2. Graph of the relationship between the coefficients of variation in the discharge of suspended sediments and the average height of the river basins



3-расм. Дарёлар муаллақ оқизиклари ўзгарувчанлик коэффициентлари билан сув тўплаш майдонлари орасидаги боғланиш графиги

Рис. 3. График зависимости коэффициентов вариации расходов взвешенных наносов от площадей водосборов рек

Fig. 3. Graph of the dependence of the coefficients of variation in the discharge of suspended sediments on the areas of river catchment areas

Олинган натижаларга асосладиган бўлсак, дарёлар муаллақ оқизиклари ва сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффициентлари орасидаги боғланишни жуфт корреляция коэффициентининг қиймати  $r=0,945$ , унинг хатолиги эса 0,01 га тенг бўлди. Дарёлар муаллақ оқизиклари ўзгарувчанлик коэффициентлари билан ўртача баландликлари

орасидаги боғланиш графигининг жуфт корреляция коэффиенти  $r=0,650$ , унинг хатолиги 0,05 ни ташкил қилган бўлса, муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффицентлари билан сув тўплаш майдонлари орасидаги боғланиш графигида  $r=0,762$  ни ташкил қилиб, унинг хатолиги 0,036 га тенг бўлди (2-жадвал).

Ушбу жадвал маълумотларига асосланадиган бўлсак, нисбатан зич боғланиш сув ва муаллақ оқизиклар оқими ўзгарувчанлик коэффицентлари орасидаги боғланишга тўғри келади (0,945). Юқоридаги барча боғланиш графиклари ва регрессия тенгламаларидан кўриниб турибдики, улардан гидрологик ҳисоблаш амалиётида бевосита фойдаланиш тавсия этилади. Чунки, улар асосида аниқланган корреляция коэффицентларининг қийматлари ишончлилик мезонига жавоб беради.

2-жадвал

**Дарёлар муаллақ оқизиклари ўзгарувчанлик коэффицентлари ( $C_{VR}$ )ни ҳисоблаш учун регрессия тенгламалари ва уларнинг аниқлиги**

Таблица 2

**Уравнения регрессии для расчета коэффициента вариации стока взвешенных наносов ( $C_{VR}$ ) и их точность**

Table 2

**Regression equations for calculating the coefficient of variation of suspended sediment runoff ( $C_{VR}$ ) and their accuracy**

Боғланиш тури	Регрессия тенгламаси	Корреляция коэффиенти ва унинг хатолиги, $r \pm \sigma_{r0}$
$C_{VR} = f(C_{VQ})$	$C_{VR} = 1,97 \cdot \ln(C_{VQ}) + 2,29$	$0,945 \pm 0,010$
$C_{VR} = f(H_{ypt})$	$C_{VR} = -1,77 \cdot \ln(H_{ypt}) + 13,8$	$0,650 \pm 0,050$
$C_{VR} = f(F)$	$C_{VR} = 0,268 \cdot \ln(F) - 0,106$	$0,762 \pm 0,036$

**Изоҳ:**  $C_{VQ}$  – сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффицентлари;  $H_{ypt}$  – сув тўплаш майдонининг ўртача баландлиги;  $F$  – сув тўплаш майдони.

**Примечание:**  $C_{VQ}$  – коэффициент вариации расходов воды;  $H_{ypt}$  – средняя высота водосбора;  $F$  – площадь водосбора.

**Note:**  $C_{VQ}$  – coefficient of variation in water discharges;  $H_{ypt}$  – average height of the catchment area;  $F$  – catchment area.

Тадқиқот ишида олинган натижаларга таянган ҳолда қуйидаги хулосаларни қайд этиш мумкин.

1. Ўрганилган дарёлар муаллақ оқизиклари ўзгарувчанлик коэффицентларининг максимал қиймати  $C_{VR}=1,62$  ни ташкил қилган бўлса, сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффицентининг энг катта қиймати  $C_{VQ}=0,714$  га тенг бўлиб, Тўсинсойга тегишлидир.

2. Муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффицентининг минимал қиймати  $C_{VR}=0,657$  бўлиб, Оқдарёга тўғри келади. Сув сарфлари ўзгарувчанлик коэффицентининг минимал қиймати эса, Кўксаройсойга тўғри келиб,  $C_{VQ}=0,354$  ни ташкил қилди.

3. Зарафшон ҳавзаси ўрта қисмидаги кичик дарёлар ўртача йиллик муаллақ оқизиклар сарфлари ўзгарувчанлик коэффицентлари билан сув тўплаш майдонлари ҳамда ўртача баландликлари орасидаги боғланиш графиклари асосида аниқланган корреляция коэффицентларининг қийматлари мос равишда  $r=0,762$  ва  $r=0,650$  га тенг бўлди.

4. Тадқиқот давомида ўрганилган барча графиклар ва регрессия тенгламалари асосида аниқланган корреляция коэффицентларининг қийматлари ишончлилик мезонига тўғри келганлиги сабабли, улардан гидрологик ҳисоблашлар амалиётида фойдаланиш тавсия этилади.

**Миннатдорчилик.** Муаллифлар ушбу илмий мақолани тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган ҳамкасбларига, жумладан Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Гидрометеорология факультети жамоасига, Куруклик гидрологияси кафедраси профессори, г.ф.д. Ф.Х.Хикматовга ҳамда Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ходимларига ўзларининг чуқур миннатдорчиликларини изҳор этадилар.

**Муаллифлар хиссаси:** **К.Р. Рахмонов:** мақола ғоясини аниқлаштириш, методология натижалар таҳлили, натижаларни текшириш, раҳбарлик. **Х.Х. Нурлибоев:** мақола ғояси, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш, мақолани расмийлаштириш. **И.М. Хўжамова:** мақола ғоясини қўллаш, маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тайёрланган матни билан танишдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Иванов Ю.Н.* Сток взвешенных наносов рек бассейна Сырдарьи // Тр. САНИГМИ. – 1967. Вып. 36(51). – 309 с.

*Караушев А.В.* Теория и методы расчета речных наносов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 272 с.

*Лопатин Г.В.* О водной эрозии и стока наносов в горной области Средней Азии // Вопросы географии. 1949. № 15. – С. 193-204.

*Поляков Б.В.* Исследование стока взвешенных и данных наносов. – Л.: Изд-во ГГИ, 1935. – 129 с.

*Рахмонов К.Р., Хикматов Ф.Х.* Ўзбекистон тоғ дарёлари муаллақ оқизиклари ва улар хавзаларидан тупроқ-грунтлар ювилиши жадаллигини баҳолаш. – Тошкент: “Innovatsion rivojlanish nashriyot matbaa uyi”, 2021. – 148 б.

*Светицкий В.П.* Установление взаимосвязи между стоком взвешенных наносов и главнейшими факторами (для рек Амударьи) // Изв. АНУз. Сер. техн. 1958. № 3. – С. 75-83.

*Хикматов Ф.Х.* Водная эрозия и сток взвешенных наносов горных рек Средней Азии. – Ташкент: «Fan va texnologiya», 2011. – 248 с.

*Хикматов Ф.Х., Юнусов Г.Х., и др.* Закономерности формирования водных ресурсов горных рек в условиях изменения климата. Монография. – Ташкент: “Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи”, 2020. – 232 б.

*Хмаладзе Г.Н.* Выносы наносов реками Черноморского побережья Кавказа. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 167 с.

*Шамов Г.И.* Речные наносы. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 378 с.

*Швебс Г.И.* Теоретические основы эрозиоведения. – Киев-Одесса: ВИЦА ШКОЛА, 1981. – 222 с.

*Шульц В.Л.* Интенсивность смыва с поверхности горной области Средней Азии // Метеорология и гидрология, 1947. № 1. – С. 37-41.

*Щеглова О.П.* Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии // Тр. САНИГМИ. 1972. Вып. 60 (75). – 228 с.

*Hikmatov F.* The genetics analysis of silt in the rivers of Central Asia. The issues of computation and prediction / Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on River Sedimentation. Volume II. – Moscow, 2007. – PP. 256-263.

**ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА ВОДЫ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ МАЛЫХ РЕК  
БАСЕЙНА СРЕДНЕГО ЗЕРАВШАНА****К.Р. РАХМОНОВ<sup>1</sup>, Х.Х. НУРЛИБОЕВ<sup>2</sup>, И.М. ХУЖАМОВА<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, komiljons@mail.ru<sup>2</sup> Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, nurliboyevxusan@gmail.com<sup>3</sup> Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, intizor2019@mail.ru

**Аннотация.** В статье изучены вопросы изменчивости расходов воды и взвешенных наносов малых рек и сев бассейна Среднего Зеравшана. Рассчитаны коэффициенты вариации для каждого из двух элементов водного режима. На основании полученных результатов произведена статистическая оценка тесноты связи стока воды и взвешенных наносов. В том числе, исследована теснота связей коэффициентов вариации, средней высоты бассейнов рек, а также площади водосбора. Уравнения регрессии полученных связей могут быть использованы в практике гидрологических расчетов.

**Ключевые слова:** река, площадь бассейна, средняя высота, расход воды, сток взвешенных наносов, коэффициент вариации, теснота связи, статистическая оценка, уравнение регрессии.

**ABOUT VARIABILITY OF STREAM AND SUSPENDED SEDIMENT RUNOFFS OF  
SMALL RIVERS IN THE MIDDLE ZERAFSHAN BASIN****K.R. RAKHMONOV<sup>1</sup>, Kh.Kh. NURLIBOEV<sup>2</sup>, I.M. KHUJAMOVA<sup>3</sup>**<sup>1</sup> National university of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, komiljons@mail.ru<sup>2</sup> Samarkand State university named after Sharof Rashidov, nurliboyevxusan@gmail.com<sup>3</sup> Ministry of higher and secondary special education of the Republic of Uzbekistan, intizor2019@mail.ru

**Abstract.** The paper studies the issues of variability of water discharges and suspended sediments of small rivers and creeks of the Middle Zeravshan basin. Variation coefficients of for each two elements of water regime were calculated. Based on obtained results, correlations between water discharge and suspended sediments statistically evaluated. In particular, correlations between variation coefficients and mean elevation of river basins, and the catchment area was studied. The regression equations from obtained correlations can be used in the practice on hydrological estimations.

**Keywords:** river, basin area, mean elevation, water discharge, suspended sediment runoff, variation coefficient, correlation, statistical estimation, regression equation.

**REFERENCES**

- Ivanov Yu.N. Stok vzveshennykh nanosov rek basseina Syrdar'i [Suspended sediment runoff in the rivers of the Syrdarya basin] // Tr. SANIGMI. 1967. Vyp. 36(51). – 309 s. (in Russian)
- Karaushev A.V. Teoriya i metody rascheta rechnykh nanosov [Theory and methods for calculating river sediments]. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 272 s. (in Russian)
- Lopatin G.V. O vodnoi ehrozii i stoka nanosov v gornoi oblasti Srednei Azii [On water erosion and sediment runoff in the mountainous region of Central Asia] // Voprosy geografii. 1949. No. 15. – S. 193-204. (in Russian)
- Polyakov B.V. Issledovanie stoka vzveshennykh i dannykh nanosov [Investigation of the runoff of suspended and given sediments]. – L.: Izd-vo GGI, 1935. – 129 s. (in Russian)
- Rakhmonov K.R., Hikmatov F.H. O'zbekiston tog' daryolari muallaq oqizqlari va ular havzalaridan tuproq-gruntlar yuvilishi jadalligini baholash [Assessment of the speed of soil-soil washing

from the suspended flows of the mountain rivers of Uzbekistan and their basins]. – Toshkent: “Innovatsion rivojlanish nashriyot matbaa uyi”, 2021. – 148 b. (in Uzbek)

*Svetitsky V.P.* Ustanovlenie vzaimosvyazi mezhdru stokom vzveshennyh nanosov i glavneishimi faktorami (dlya rek Amudari) [Establishment of the relationship between the flow of suspended sediments and the main factors (for the Amudarya rivers)] // *Izv. ANUz. Ser. tekhn.* – 1958. -№ 3. – S. 75-83. (in Russian)

*Khikmatov F.Kh.* Vodnaya ehroziya i stok vzveshennyh nanosov gornyx rek Srednei Azii [Water erosion and runoff of suspended sediments of mountain rivers of Central Asia]. – Tashkent: "Fan va texnologiya", 2011. – 248 s. (in Russian)

*Khikmatov F.Kh., Yunusov G.Kh., et al.* Zakonomernosti formirovaniya vodnyh resursov gornyx rek v usloviyah izmeneniya klimata. Monografiya [Patterns of formation of water resources of mountain rivers under conditions of climate change. Monograph]. – Tashkent: “Innovatsion rivojlanish nashriyot-matbaa uyi”, 2020. – 232 s. (in Russian)

*Khmaladze G.N.* Vynosy nanosov rekami Chernomorskogo poberezhya Kavkaza [Sediment removal by the rivers of the Black Sea coast of the Caucasus]. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 167 s. (in Russian)

*Shamov G.I.* Rechnye nanosy [River deposits]. – L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 378 s. (in Russian)

*Shvebs G.I.* Teoreticheskie osnovy eroziovedeniya [Theoretical foundations of erosion studies]. – Kiev-Odessa: VISHCHA SHKOLA, 1981. – 222 s. (in Russian)

*Shults V.L.* Intensivnost smyva s poverkhnosti gornoj oblasti Srednei Azii [The intensity of flushing from the surface of the mountainous region of Central Asia]. – *Meteorologiya i gidrologiya*, 1947. № 1. – S.37-41. (in Russian)

*Shcheglova O.P.* Formirovanie stoka vzveshennyh nanosov i smyv s gornoj chasti Srednei Azii [Formation of suspended sediment runoff and washout from the mountainous part of Middle Asia] // *Tr. SANIGMI.* – 1972. Vyp. 60(75). – 228 s. (in Russian)

УДК 556.53+528.88+551.578.46

## ОҲАНГАРОН ҲАВЗАСИДА МАСОФАДАН ЗОНДЛАШ ОРҚАЛИ ҚОР ҚОПЛАМИ ДИНАМИКАСИНИ ЎРГАНИШ ВА ДАРЁ ОҚИМИНИ ПРОГНОЗЛАШ

Б.Э. НИШОНОВ<sup>1,2\*</sup>, Д.М. ТУРГУНОВ<sup>1</sup>, Д.Ў. ЯРАШЕВ<sup>1</sup>, Ғ.Ў. УМИРЗАҚОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bnishonov@mail.ru, turgunov1987@gmail.com, dyarashev0896@gmail.com

<sup>2</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон миллий университети, g.umirzakov@gmail.com

**Аннотация.** Мақолада Оҳангарон ҳавзасида қор қоплами динамикаси масофадан зондлаш маълумотлари асосида ўрганилди. Оҳангарон ҳавзаси қор қоплами индекслари ва дарё оқими орасида боғлиқликлар аниқланди. Қор қоплами индекси кўрсаткичлари асосида прогнозлаш регрессия тенгламалари тузилди ва Оҳангарон дарёсининг вегетация даври оқими прогнози ишлаб чиқилди. Дарё оқими прогнозларининг ўзини оқлаш даражаси ва самарадорлиги турли мезонлар бўйича баҳоланди.

**Калит сўзлар:** масофадан зондлаш, MODSNOW, қор қоплами, қор қоплами индекси, вегетация даври оқими, Оҳангарон дарёси, дарё оқимини прогнозлаш, прогнозлаш самарадорлиги.

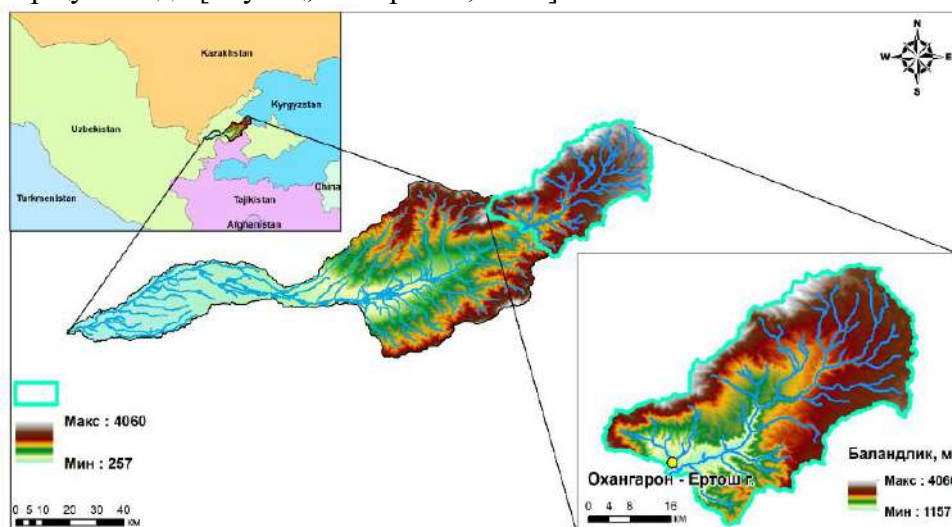
**Кириш.** Сўнги ўн йилликларда иқлим ўзгариши – илишининг жадаллашуви кузатилди (WMO-№1303). Иқлим ўзгариши дарёлар оқимининг шаклланишидаги ўзгаришларга ҳам сабаб бўлмоқда. Дарёлар оқимининг йил давомида мавсумлар бўйича

\* Масъул муаллиф: bnishonov@mail.ru, тел.: +998 97 197-03-95

тақсимланишидаги ўзгаришлар туфайли мавсумий сел-сув тошқинларининг ортиши ҳамда дарёларда кам сувли йилларнинг кетма-кет такрорланиши бунга яққол мисол бўла олади. Бу эса, ўз навбатида, гидрологик прогнозлар соҳасида замонавий гидрологик тадқиқотларни олиб боришни тақозо этади. Бугунги кунда гидрологик прогнозлар сув ресурсларини интеграллашган ҳолда бошқариш, гидроэнергетика, қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариши, сув тошқинлари хавфини камайтириш, қурғоқчиликни юмшатиш каби масалалар бўйича қарорлар қабул қилишда биринчи даражали аҳамиятга эга.

Оҳангарон дарёси мамлакатимизнинг катта иқтисодий салоҳиятга эга бўлган Тошкент вилоятида жойлашган бўлиб, унинг ҳавзасида Ангрен-Олмалик-Оҳангарон йирик иқтисодий мажмуаси ҳамда агросаноат мажмуалари мавжуд. Дарёнинг ўртача йиллик сув сарфи ( $20,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) катта бўлмаса-да, унинг сув ресурсларидан оқилона фойдаланиш мақсадида, дарё ўзанининг юқори қисмида Оҳангарон сув омбори ва ўрта қисмида Туябўғиз сув омбори барпо этилган. Шу билан бирга, дарёда умумий қуввати 59 МВт бўлган 3 та ГЭС мавжуд. Оҳангарон дарёси ҳавзаси тоғ ва паст текисликлардан иборат.

Дарё ҳавзаси жанубда Қурама ва шимолда Чотқол тоғ тизмалари билан чегараланган бўлиб, шарқда ҳар икки тизма қўшилиб, ҳавза чегарасини белгилайди. Ғарбда Оҳангарон дарёси ҳавзаси Сирдарё дарёси ўзани билан чегараланади. Ҳавзанинг ўрта ва қуйи қисми асосан Тошкент вилояти ҳудудида, юқори қисми эса Наманган вилояти ҳудудида жойлашган (1-расм). Оҳангарон дарёси Сирдарёнинг, Фарғона водийсидан чиққач, Чирчиқ дарёсидан кейин иккинчи йирик ўнг ирмоғидир. Оҳангарон дарёси юқори қисмида, Қурама тизмасининг ёнбағридан оқиб тушувчи булоқ ва жилғаларнинг қўшилишидан пайдо бўлган, Оқтошсой номи билан бошланади. Сўнг дарёга Човлисой, Яккаарчасой, Эртошсой, Дукентсой, Қорабағишсой, Ниёзбошсой ва бошқа сойлар қўшилади [Шульц, Машрапов, 1969].



1-расм. Оҳангарон дарёси ҳавзасининг географик жойлашуви

Рис. 1. Географическое расположение бассейна реки Ахангаран

Fig. 1. Geographical location of Akhangaran River basin

Оҳангарон дарёсининг инсон хўжалик фаолияти таъсиридан холи бўлган, табиий оқим режимли, Оҳангарон сув омборидан юқори қисмини ўрганиш мақсадга мувофиқ. Оҳангарон дарёсининг табиий гидрологик режими унинг ўнг ирмоғи бўлган Эртош дарёсининг қўшилишидан қуйида, шу ном билан аталувчи Эртош гидропостида

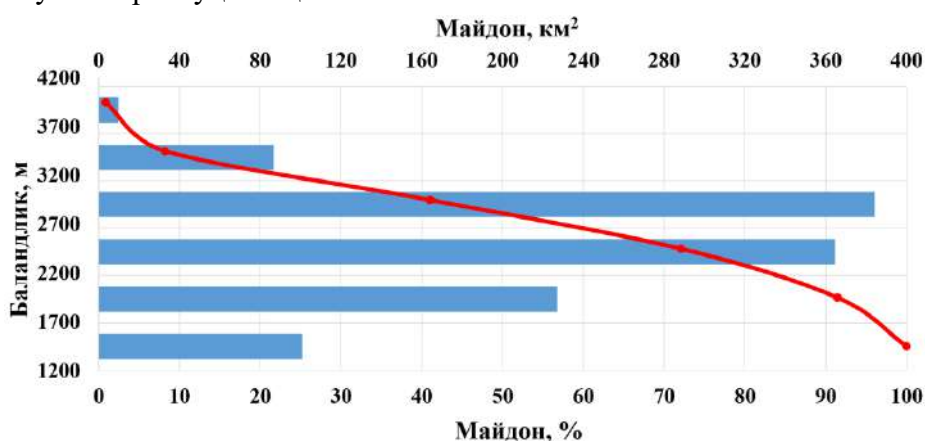
кузатилади. Дарё ҳавзасининг Эртош гидропостигача бўлган сув тўплаш майдони 1180 км<sup>2</sup>, унинг ўртача баландлиги эса 2515 м ни ташкил этиб, сув тўплаш майдонининг атиги 3,0% қисми 3500 м дан баландда жойлашган (2-расм). Сув тўплаш майдонининг нисбатан паст бўлганлиги ва унинг кўпроқ тоғ тизмаларининг жанубга қараган ёнбағирларида жойлашганлиги сабабли Оҳангарон дарёси ҳавзасида музликлар мавжуд эмас ва дарё Шульц таснифи бўйича 4-типга, яъни қор-ёмғир сувлари билан тўйинадиган дарёлар қаторига киради.

Кўп йиллик метеорологик кўрсаткичлар ва қор қоплами таҳлиллари натижасига кўра, Оҳангарон дарёси ҳавзасининг тоғли қисмида ўртача йиллик ҳаво ҳарорати ортиб бораётганлиги, йиллик ёғинлар миқдори эса камаётганлиги ва дарёнинг оқим шаклланиш зонасида барқарор қор қоплами сақланиш даври давомийлигининг камайиб бораётганлиги аниқланган [Нишонов ва бошқ., 2022].

Глобал иқлим ўзгариши туфайли, минтақада сув ресурслари танқислиги ортиб бораётган шароитда, масофадан зондлаш орқали олинган қор қоплами динамикаси маълумотлари асосида, Оҳангарон дарёси оқимини жорий ўзгаришларини ўрганиш **долзарб** масалалардан ҳисобланади.

Тадқиқотнинг **мақсади** Оҳангарон дарёси ҳавзасида қор қоплами динамикасини ўрганиш ва ундан дарё оқимини прогнозлашда фойдаланишдан иборат. Тадқиқот **объекти** Оҳангарон дарёси ҳавзасининг Эртош гидропостидан юқоридаги қисми ҳисобланади (1-расм). Тадқиқот **предмети** – Оҳангарон дарёси оқимини прогнозлаш усулларини такомиллаштириш масалаларидир.

**Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари.** Дарё ҳавзасидаги қор қоплами ва йилнинг совуқ даврдаги ёғингарчилик миқдори маълумотларига таянган ҳолда вегетация даври учун ўрта ва узоқ муддатли прогнозлар тайёрланади ва улар чизиқли боғланиш тенгламаларига асосланади [Георгиевский, Шаночкин, 1987]. Тадқиқотда юқори баландликларда жойлашган гидрометеорологик станциялар маълумотларидан фойдаланилади. Метеорологик кўрсаткичларга қўшимча равишда қор қопламини масофадан зондлаш маълумотларидан фойдаланиш гидрологик прогнозларнинг ишончлилигини ва аниқлигини ошириши мумкин. Айниқса, ҳавзанинг метеорологик кузатувлар мавжуд бўлмаган қисмларидаги қор қоплами ҳолатини ўрганишда масофадан зондлаш маълумотлари муҳим аҳамиятга эга.



2-расм. Оҳангарон дарёси ҳавзасининг гипсометрик эгри чизиғи

Рис. 2. Гипсометрическая кривая бассейна реки Ахангаран

Fig. 2. Hypsometric curve of Akhangaran River basin

Тадқиқот ишида Оҳангарон дарёси ҳавзасидаги танланган метеорологик станциялар ва гидрологик постлар кузатишлари бўйича қор қалинлиги, ҳаво ҳарорати ва сув сарфининг кўп йиллик (2001-2021 йй.) маълумотлари тўпланди ва таҳлил қилинди.

Ишни бажаришда MODIS сунъий йўлдошидан олинган ва “MODSNOW-Tool” дастурида қайта ишланган қор қоплами маълумотларидан фойдаланилди. Дарё ҳавзасининг Эртош гидропостидан юқори қисми QGIS дастури ёрдамида ажратиб олинди (1-расм) ва ҳар 500 метр баландлик оралиқлари бўйича қор қоплами маълумотлари таҳлил қилинди. Ҳар бир баландлик оралиқлари учун қор қоплами майдони SCA (Snow Cover Area) ҳисобланди. SCA муайян баландлик оралиғида қор қопланган майдоннинг умумий майдонга нисбатини улуш ҳисобида ифодаловчи параметр ҳисобланади. SCAnинг ўзгариши орқали ифодаланадиган қор қоплами индекси SCI (Snow Cover Index) кўрсаткичидан дарё оқимини прогнозлашда фойдаланилди. SCI қуйидаги ифода бўйича ҳисобланди:

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

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

Қор қоплами индекси ва қор қоплами майдони асосида дарё оқимини прогнозлашнинг қуйидаги регрессия тенгламалари тузилди [Eric A et al., 2016]:

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

$$Q_n = a * SCA_{(n-1)(H_1-H_2)} + b * Q_{(n-1)} + c * T_n + d \quad (3)$$

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 бериладиган кундан олдинги ўртача ойлик сув сарфи;  $T_n$  – ўртача ойлик ҳаво ҳарорати, °C;  $SCA_{(n-1)(H_1-H_2)}$  – оқими прогноз қилинаётган муддатдан олдинги ойда қор қоплами майдонининг ўртача қиймати [Гафуров А. ва бошқ., 2021; Ниязов Дж. и др., 2020].

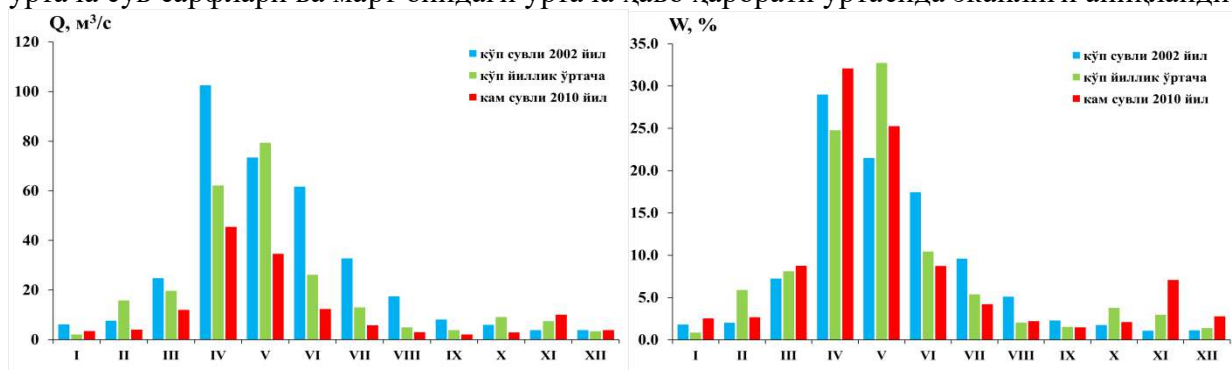
**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Ўрта Осиёда, айниқса, Ўзбекистонда вегетация даврида электр энергияси, ишлаб чиқариш эҳтиёжлари ва суғориш учун фойдаланишда сув ресурсларининг роли жуда катта.

Таҳлилларга кўра, Оҳангарон дарёсида тўлинсув даври апрель-июнь ойларига тўғри келади, йиллик оқимнинг 70 фоизидан ортиқ қисми шу даврда оқиб ўтади, энг катта сув сарфлари эса май ойида кузатилади (3-расм). 2001-2021 йиллар оралиғида дарёнинг Эртош постида қайд этилган ўртача кўп йиллик сув сарфи  $20,5 \text{ м}^3/\text{с}$  ни ташкил этди.

Оҳангарон дарёси ҳавзасининг ҳар 500 метр баландликдаги қор қоплами майдонини ойлар бўйича ўзгаришлари таҳлили натижаларидан ҳавзада қор қоплами майдонининг максимал қийматлари ноябрь-май ойларига тўғри келиши аниқланди. Дарё ҳавзасида барқарор қор қоплами 2200 м дан юқори бўлган баландликларда ноябрь ойининг охири – декабрь ойининг бошларидан апрел ойининг охиригача давом этса, ундан қуйи баландлик зоналарида кўп йилларда фақатгина январь-февраль ойларидагина мавжуд бўлади (4-расм).

Прогнозлаш имконини берадиган регрессия тенгламаларини тузиш мақсадида SCA, SCI, ўртача ойлик ҳаво ҳарорати ва ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги корреляцион

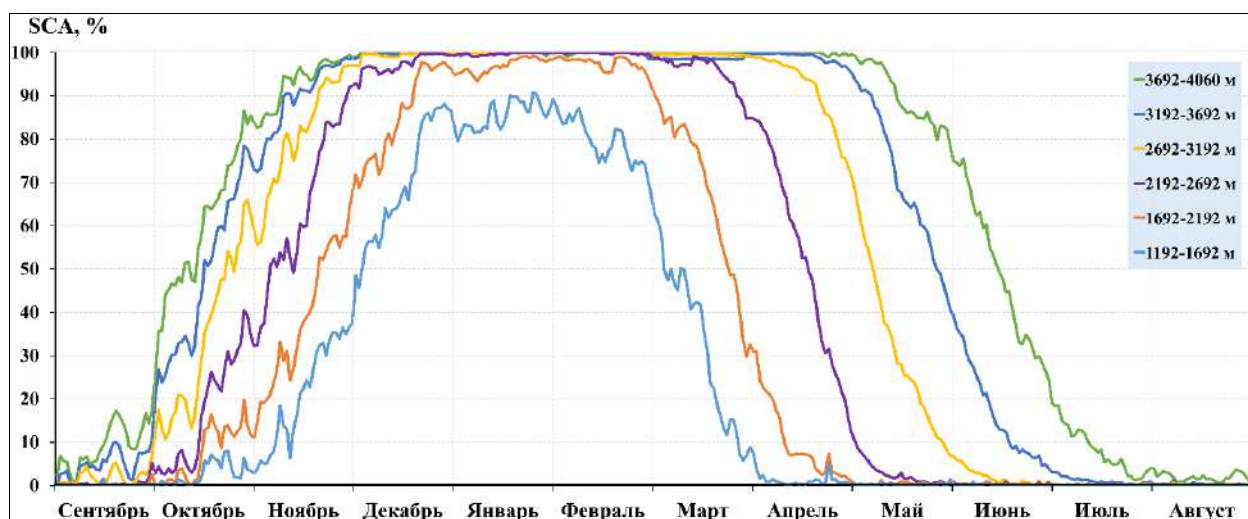
боғланишлар аниқланди (1-жадвал). Ҳаво ҳарорати дарё ҳавзасида жойлашган Дуқант (2002 м) ва Ангрен (742 м) метеорологик станциялари маълумотлари бўйича ўрганилди. Таҳлил натижалари асосида энг зич корреляцион боғланиш апрель-сентябрь ойларидаги ўртача сув сарфлари ва март ойидаги ўртача ҳаво ҳарорати ўртасида эканлиги аниқланди.



3-расм. Оҳангарон дарёси оқимининг йил давомида тақсимланиши (2001-2021 йй.)

Рис. 3. Внутригодовое распределение стока реки Ахангаран (2001-2021 гг.)

Fig. 3. Distrubition of Akhangaran River runoff during the year (2001-2021)



4-расм. Оҳангарон дарёси ҳавзасида қор қоплами майдонининг баландликлар оралиқлари бўйича ўзгариши (2001-2021 йй.)

Рис. 4. Изменение площади снежного покрова бассейна реки Ахангаран по высотным зонам (2001-2021 гг.)

Fig. 4. Dynamic of snow cover area of Akhangaran River basin by elevation zones (2001-2021)

Прогнозлаш тенгламаларни тузиш учун вегетация даври оқими ва SCA ўртасидаги жуфт корреляция коэффицентлари ҳам аниқланди (2-жадвал). Таҳлилларнинг кўрсатишича, ушбу турдаги боғланишлар учун тузилган жуфт корреляция коэффицентларининг қийматлари 0,31-0,89 оралиқда ўзгаради.

Қор қоплами ва дарё оқими ўртасидаги статистик боғланишларнинг юқори эмаслиги қор қоплами ўзгаришининг кўп сувли ва кам сувли йилларда сунбий йўлдош орқали олинган тасвирларида ҳам кўринган (5-расм).

## 1-жадвал

Оҳангарон дарёси ўртача ойлик сув сарфлари билан ўртача ойлик ҳаво ҳароратлари ўртасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффициентлари

Таблица 1

Коэффициенты парной корреляции связей между среднемесячными расходами воды реки Ахангаран и среднемесячными температурами воздуха

Table 1

Paired correlation coefficients between mean monthly water discharges of Akhangaran River and mean monthly temperature

Ойлар	T <sub>II</sub>	T <sub>III</sub>	T <sub>IV</sub>	T <sub>V</sub>	T <sub>VI</sub>	T <sub>VII</sub>	T <sub>II</sub>	T <sub>III</sub>	T <sub>IV</sub>	T <sub>V</sub>	T <sub>VI</sub>	T <sub>VII</sub>
	Дукант						Ангрен					
Q <sub>III</sub>	0,45	0,02	-0,2	0,07	0,14	-0,1	0,52	0,01	-0,2	0,1	0,09	-0,1
Q <sub>IV</sub>	0,42	0,39	-0,2	0,15	-0,1	0,21	0,44	0,42	-0,2	0,16	-0,1	0,2
Q <sub>V</sub>	0,34	0,38	-0,3	0,17	0,31	0,3	0,25	0,34	-0,3	0,2	0,31	0,18
Q <sub>VI</sub>	0,28	0,41	-0,4	0,17	0,28	-0	0,3	0,4	-0,4	0,21	0,27	-0,1
Q <sub>VII</sub>	0,16	0,47	-0,2	0,27	0,44	-0	0,18	0,45	-0,2	0,33	0,43	-0,1
Q <sub>VIII</sub>	0,17	0,33	-0,2	0,28	0,38	-0,3	0,23	0,37	-0,1	0,34	0,3	-0,3
Q <sub>IX</sub>	0,08	0,51	-0,3	0,15	0,21	-0,1	0,08	0,58	-0,2	0,15	0,13	-0,1
IV-IX	0,39	0,51	-0,4	0,23	0,24	0,14	0,38	0,5	-0,3	0,27	0,24	0,06

## 2-жадвал

SCI, SCA ва Оҳангарон дарёси ўртача ойлик сув сарфлари ўртасидаги жуфт корреляция коэффициентлари

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции связей между SCI, SCA и среднемесячными расходами воды реки Ахангаран

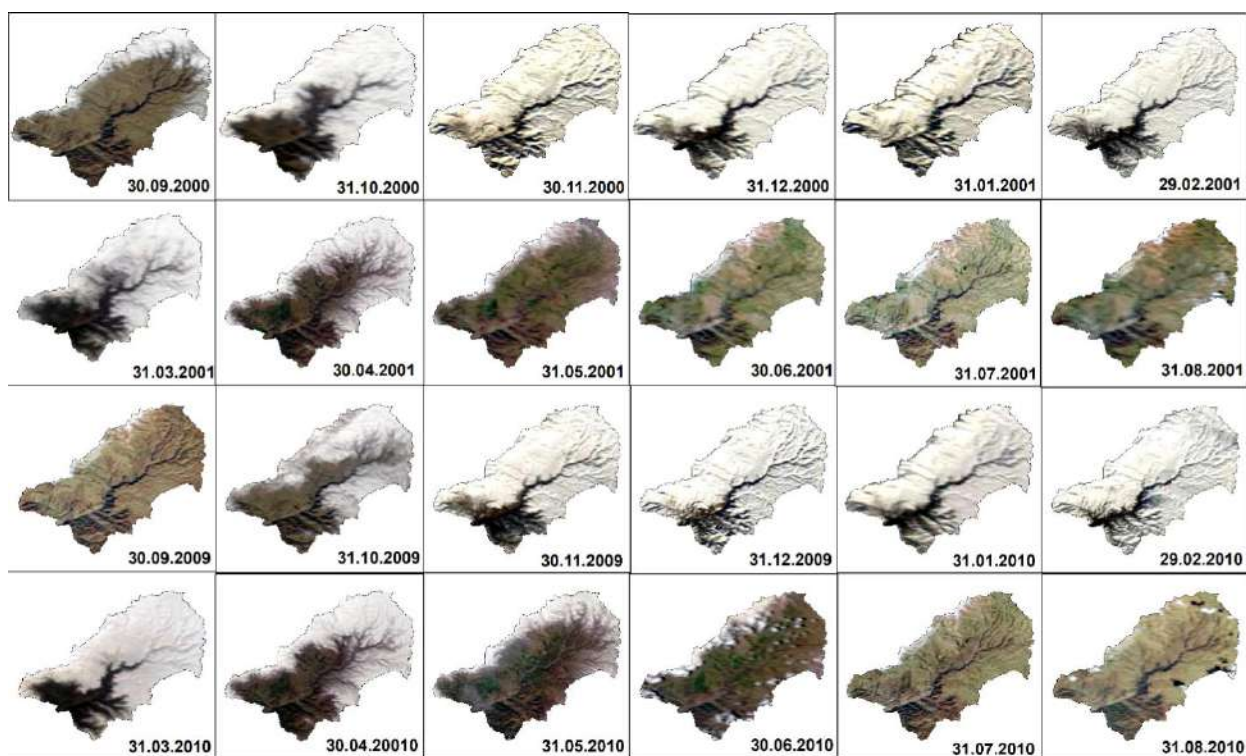
Table 2

Paired correlation coefficients between SCI, SCA and mean monthly water discharges of Akhangaran River

Ойлар		Баландлик зонаси, м					
		1192-1692	1692-2192	2192-2692	2692-3192	3192-3692	3692-4060
Апрель	Q <sub>IV</sub> =f(SCA <sub>III</sub> )	-0,08	0,04	0,09	0,07	0,05	0,05
	Q <sub>IV</sub> =f(SCI <sub>X-III</sub> )	0,09	0,18	0,24	0,31	0,35	0,39
Май	Q <sub>V</sub> =f(SCA <sub>IV</sub> )	0,11	0,19	0,17	0,15	0,30	0,16
	Q <sub>V</sub> =f(SCI <sub>X-IV</sub> )	0,10	0,13	0,12	0,05	0,01	-0,03
Июнь	Q <sub>VI</sub> =f(SCA <sub>V</sub> )	0,38	0,38	0,66	0,78	0,81	0,73
	Q <sub>VI</sub> =f(SCI <sub>X-V</sub> )	0,24	0,23	0,33	0,41	0,38	0,21
Июль	Q <sub>VII</sub> =f(SCA <sub>VI</sub> )	0,07	0,16	0,28	0,79	0,83	0,76
	Q <sub>VII</sub> =f(SCI <sub>X-VI</sub> )	0,08	0,13	0,31	0,42	0,43	0,33
Август	Q <sub>VIII</sub> =f(SCA <sub>VII</sub> )	0,03	0,16	0,65	0,45	0,81	0,79
	Q <sub>VIII</sub> =f(SCI <sub>X-VI</sub> )	0,03	0,16	0,35	0,49	0,51	0,47
Сентябрь	Q <sub>IX</sub> =f(SCA <sub>VIII</sub> )	-0,05	-0,26	-0,27	-0,33	-0,15	0,04
	Q <sub>IX</sub> =f(SCI <sub>X-VI</sub> )	0,04	0,29	0,47	0,53	0,56	0,53
Веgetация даври	Q <sub>IV-XI</sub> =f(SCA <sub>III</sub> )	0,03	0,12	0,04	-0,09	-0,15	-0,15
	Q <sub>IV-XI</sub> =f(SCI <sub>X-III</sub> )	0,15	0,19	0,26	0,31	0,31	0,29

Дарё оқимини прогнозлашда аввалги ойлардаги ўртача сув сарфи маълумотларидан ҳам регрессия тенгламаларини тузишда фойдаланиш мумкин. Шу мақсадда ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги жуфт корреляция коэффицентлари ҳам аниқланди (3-жадвал).

Эмпирик ифодалар ёрдамида (2-3 формулалар) дарё оқимининг қор қопламига боғлиқлиги текширилди ва жуфт корреляция коэффицентларининг юқори қийматлари танлаб олинди. Юқори жуфт корреляция коэффицентлари (1-3-жадваллар)дан фойдаланган ҳолда қор қоплами майдони ва қор қоплами индекси кўрсаткичлари асосида алоҳида прогнозлаш регрессия тенгламалари тузилди (4-жадвал). Прогнозлаш тенгламалари асосида ҳисобланган сув сарфлари амалда кузатилган сув сарфи маълумотлари билан текширилди (5-жадвал). Прогнозлаш усулининг самарадорлиги R (жуфт корреляция коэффицентлари), S/σ (самаралилик мезони), NSE (Nash Sutcliffe efficiency) каби мезонлар бўйича баҳоланди [Ярашев ва бошқ., 2022].



5-расм. Оҳангарон дарёси ҳавзасида қор қоплами майдонининг кўп сувли (2001 йил) ва кам сувли (2010 йил) йилларда ойлар бўйича ўзгариши

Рис. 5. Изменение площади снежного покрова в бассейне реки Ахангаран по месяцам в многоводные (2001 г.) и маловодные (2010 г.) годы

Fig. 5. Changes in snow cover area in the Akhangaran River basin by months in high water (2001) and low water (2010) years

Прогнозлаш регрессия тенгламалари натижалари шуни кўрсатадики, Оҳангарон дарёсининг вегетация даври (апрель-сентябрь) оқими учун тузилган прогнозларда апрель-май ва июнь ойлари учун тузилган прогнозлар аниқлиги анча паст. Шунингдек, SCA фойдаланилган ҳолатларда прогнозларнинг самарадорлиги SCI катнашган тенгламалардан кўра яхшироқлиги аниқланди. Июнь, июль, август ойлари учун тузилган прогнозларнинг аниқлик даражаси юқори. Бирок, бу даврда дарё ҳавзасининг фақатгина 3000 м ва ундан юқори қисмидагина 10-20% атрофида қор қоплами мавжуд бўлади. Оҳангарон дарёсида

тўлинсув даври апрель-июнь ойларига тўғри келишини ҳисобга оладиган бўлсак, бу дарё оқими прогнозлари бўйича янги тадқиқотлар ўтказишни талаб этади.

3-жадвал

**Охангарон дарёси ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффициентлари**

Таблица 3

**Коэффициенты парной корреляции связей между среднемесячными расходами воды реки Ахангаран**

Table 3

**Paired correlation coefficients between mean monthly water discharges of Akhangaran 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>II</sub>	1	0,22	0,35	0,40	0,15	0,26	0,20	0,18	0,36
Q <sub>III</sub>	0,22	1	0,30	0,30	0,58	0,60	0,58	0,35	0,52
Q <sub>IV</sub>	0,35	0,30	1	0,45	0,52	0,45	0,46	0,39	0,78
Q <sub>V</sub>	0,40	0,30	0,45	1	0,61	0,58	0,34	0,43	0,79
Q <sub>VI</sub>	0,15	0,58	0,52	0,61	1	0,92	0,72	0,67	0,89
Q <sub>VII</sub>	0,26	0,60	0,45	0,58	0,92	1	0,85	0,76	0,86
Q <sub>VIII</sub>	0,20	0,58	0,46	0,34	0,72	0,85	1	0,80	0,71
Q <sub>IX</sub>	0,18	0,35	0,39	0,43	0,67	0,76	0,80	1	0,68
Q <sub>IV-IX</sub>	0,36	0,52	0,78	0,79	0,89	0,86	0,71	0,68	1

4-жадвал

**Охангарон дарёси оқимини прогнозлаш регрессия тенгламалари**

Таблица 4

**Прогностические уравнения регрессии стока реки Ахангаран**

Table 4

**Regression equations for runoff forecasting of the Akhangaran River**

Прогнозлаш регрессия тенгламалари	
$Q_{IV}=1,397SCI_{X-III(3692-4060)}+2,957Q_{II}+0,624T_{III}-82,3$	$Q_{IV}=0,247SCA_{III(2192-2692)}+2,452Q_{II}-0,401T_{III}+26,6$
$Q_V=0,261SCI_{X-IV(1692-2192)}+0,382Q_{IV}+0,727T_{III}+31,1$	$Q_V=2,991SCA_{IV(2692-3192)}+0,341Q_{IV}+0,688T_{III}-247,5$
$Q_{VI}=0,628SCI_{X-V(2692-3192)}+0,515Q_V+0,868T_{III}-50,4$	$Q_{VI}=0,543SCA_{V(3192-3692)}+0,296Q_V+1,925T_{III}-28,2$
$Q_{VII}=-0,013SCI_{X-V(3192-3692)}+0,484Q_{VI}+0,427T_{III}-3,63$	$Q_{VII}=0,127SCA_{VI(3192-3692)}+0,366Q_{VI}+0,533T_{III}-2,76$
$Q_{VIII}=0,077SCI_{X-VII(3192-3692)}+0,331Q_{VII}+0,142T_{III}-4,51$	$Q_{VIII}=0,683SCA_{VII(3192-3692)}+0,247Q_{VII}-0,01T_{III}-4,51$
$Q_{IX}=0,04SCI_{X-VIII(3192-3692)}+0,395Q_{VIII}-0,085T_{III}-0,61$	$Q_{IX}=0,056SCA_{VIII(3192-3692)}+0,241Q_{VIII}-0,054T_{III}+2,11$
$Q_{IV-IX}=0,235SCI_{X-III(2692-3192)}+0,787Q_{III}-1,729T_{III}+4,26$	$Q_{IV-IX}=-0,018SCA_{III(1692-2192)}+0,854Q_{III}-2,205T_{III}-25,5$

**Хулоса.** Охангарон дарёси хавзасининг ўртача баландлиги (Н=2515м) нисбатан паст бўлганлиги сабабли дарёнинг тўйинишида ёмғир сувларининг ҳиссаси анча катта. Шу туфайли, қор қоплами ва дарё оқими ўртасидаги корреляцион боғланишлар даражаси унча юқори эмас. Тадқиқотда ишлаб чиқилган прогнозлаш регрессия тенгламаларидан илмий ва амалий мақсадларда фойдаланиш мумкин. Дарё оқими бошқарувини оптималлаштиришда, хусусан, дарёда барпо этилган сув омборлари ва ГЭСлардан янада самарали фойдаланишни ташкил этишда прогнозларнинг аҳамияти жуда юқори.

**Миннатдорчилик.** Мазкур тадқиқот Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтида амалга оширилаётган ИЛ-5721122065 «Сув ва қишлоқ хўжалигида мослашиш салоҳиятини ошириш учун Ўзбекистонда иқлим ўзгаришининг сув

ресурсларига таъсирини баҳолаш технологиясини ишлаб чиқиш» ва ИЗ-2020113030 “Ўзбекистонда стабил изотоплардан фойдаланиб сув ресурслари ва уларнинг ифлосланишини мониторинг қилиш бўйича дастурий маҳсулот яратиш” мавзусидаги амалий лойиҳалар доирасида бажарилди.

5-жадвал

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

Таблица 5

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

Table 5

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

№	Ойлар	Параметр		Баландик зонаси, м	R	S/σ	NSE	Нисбий хатолиги, %	Оқланиши, 2001-2021 йй. %
1	Апрель	$Q_{IV}=f(SCA_{III}, Q_{II}, T_{III})$	SCA	2192-2692	0,36	0,93	0,13	25,1	61,9
		$Q_{IV}=f(SCI_{X-III}, Q_{II}, T_{III})$	SCI	3692-4060	0,57	0,82	0,33	22,9	61,9
2	Май	$Q_V=f(SCA_{IV}, Q_{IV}, T_{III})$	SCA	2692-3192	0,48	0,87	0,23	17,0	57,1
		$Q_V=f(SCI_{X-IV}, Q_{IV}, T_{III})$	SCI	1692-2192	0,46	0,89	0,21	17,6	57,1
3	Июнь	$Q_{VI}=f(SCA_V, Q_V, T_{III})$	SCA	3192-3692	0,90	0,44	0,81	20,0	90,5
		$Q_{VI}=f(SCI_{X-V}, Q_V, T_{III})$	SCI	2692-3192	0,71	0,71	0,50	28,6	66,7
4	Июль	$Q_{VII}=f(SCA_{VI}, Q_{VI}, T_{III})$	SCA	3192-3692	0,94	0,35	0,88	22,2	100,0
		$Q_{VII}=f(SCI_{X-VI}, Q_{VI}, T_{III})$	SCI	3192-3692	0,92	0,38	0,85	24,0	95,2
5	Август	$Q_{VIII}=f(SCA_{VII}, Q_{VII}, T_{III})$	SCA	3192-3692	0,87	0,49	0,76	23,1	76,2
		$Q_{VIII}=f(SCI_{X-VII}, Q_{VII}, T_{III})$	SCI	3192-3692	0,86	0,50	0,75	26,2	76,2
6	Сентябрь	$Q_{IX}=f(SCA_{VI}, Q_{VIII}, T_{III})$	SCA	3192-3692	0,87	0,50	0,75	21,3	81,0
		$Q_{IX}=f(SCI_{X-VIII}, Q_{VIII}, T_{III})$	SCI	3192-3692	0,82	0,57	0,67	23,8	81,0
7	Вегетация даври	$Q_{IV-XI}=f(SCA_{III}, Q_{III}, T_{III})$	SCA	1692-2192	0,63	0,78	0,40	17,5	85,7
		$Q_{IV-XI}=f(SCI_{X-III}, Q_{III}, T_{III})$	SCI	2692-3192	0,66	0,75	0,43	18,1	85,7

**Изоҳ:** R – жуфт корреляция коэффиценти, S/σ – самаралик мезони, NSE – Nash Sutcliffe efficiency.

**Примечание:** R – коэффициент парной корреляции, S/σ – критерий эффективности, NSE – Nash Sutcliffe efficiency.

**Note:** R – pair correlation coefficient, S/σ – efficiency criterion, NSE – Nash Sutcliffe efficiency.

**Муаллифлар хиссаси. Б.Э. Нишонов:** мақола ғояси, объектни танлаш, методология, мақолани таҳрир қилиш, раҳбарлик. **Д.М. Турғунов:** методология, маълумотларни қайта ишлаш, натижалар таҳлили. **Д.Ў. Ярашев:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш. **Ғ.Ў. Умирзақов:** маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш, натижалар таҳлили, мақолани таҳрир қилиш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тайёрланган матнини ўқиб чикдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

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, 2020. № 3. DOI:10.26104/NNTIK.2019.45.557

Нишонов Б.Э., Махмудов Ж.К., Мамараимов А.Ж. Иклим ўзгаришининг Охангарон дарёси ҳавзасидаги қор қоплами динамикасига таъсири // Гидрометеорология ва атроф-мухит мониторинги, 2022. №3. – Б. 75-82.

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.

Шульц В.Л., Маширапов Р. Ўрта Осиё гидрографияси. – Тошкент: Ўқитувчи. 1969. – 327 б.

Ярашев Д.Ў., Гафуров А.А., Гафуров А.А., Умирзаков Ф.Ў. Қор қоплами мониторинги асосида Писком дарёси вегетация даври оқимини прогнозлаш // Гидрометеорология ва атроф-мухит мониторинги, 2022. № 3. – Б. 63-75.

World Meteorological Organization (WMO). State of the Climate in Asia 2021. (WMO-No. 1303). Geneva, 2022. – 40 p.

## ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ АХАНГАРАН И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА

Б.Э. НИШОНОВ<sup>1,2</sup>, Д.М. ТУРГУНОВ<sup>1</sup>, Д.У. ЯРАШЕВ<sup>1</sup>, Г.У. УМИРЗАКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гидрометеорологический научно-исследовательский институт, bnishonov@mail.ru

<sup>2</sup>Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

**Аннотация.** В статье изучена динамика снежного покрова в бассейне Ахангаран по данным дистанционного зондирования. Определены корреляции между индексами снежного покрова бассейна Ахангарана и речным стоком. На основе показателей индекса снежного покрова построены уравнения регрессии для прогнозирования и разработан прогноз стока реки Ахангаран на вегетационный период. Оправдываемость и эффективность прогнозов речного стока оценивались по различным принятым критериям.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, MODSNOW, снежный покров, индекс снежного покрова, вегетационный сток, река Ахангаран, прогноз стока рек, эффективность прогноза

## STUDYING SNOW COVER DYNAMICS BY REMOTE SENSING IN THE AHANGARAN BASIN AND FORECASTING OF RIVER RUNOFF

B.E. NISHONOV<sup>1,2</sup>, D.M. TURGUNOV<sup>1</sup>, D.U. YARASHEV<sup>1</sup>, G.U. UMIRZAKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hydrometeorological Research Institute, bnishonov@mail.ru

<sup>2</sup>National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

**Abstract.** The article studies the dynamics of snow cover in the Akhangaran basin based on remote sensing data. Correlations between snow cover index and river runoff of Akhangaran basin were determined. Based on the indicators of the snow cover index, regression equations for forecasting were obtained and runoff forecast of the Akhangaran River for the growing season was developed. The validity and effectiveness of river runoff forecasts were evaluated according to various accepted criteria.

**Keywords:** remote sensing, MODSNOW, snow cover, snow cover index, vegetation runoff, Akhangaran River, river runoff forecast, forecast effectiveness

## REFERENCES

*Georgievskiy Yu.M., Shanochkin S.V.* Prognozy stoka gornyx rek [Runoff forecasts of 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. No. 4. – 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 [Forecasting water availability of the Naryn River for the vegetation months based on MODIS images] // *Nauka, noviyе texnologii i innovatsii Kyrgyzstana*, 2020. No. 3. – S. 14-18. (in Russian)

*Nishonov B.E., Makhmudov J.K., Mamaraimov A.J.* Iqlim o'zgarishining Ohangaron daryosi havzasidagi qor qoplami dinamikasiga ta'siri [Impact of climate change on snow cover dynamics in the Akhangaran River basin] // *Gidrometeorologiya va atrof muhit monitoringi*, 2022. No. 3. – B. 75-82. (in Uzbek)

*Niyazov D.B., Kalashnikova O.Yu., Gafurov A.A.* Metodika prognoza vodnosti visokogornix rek Sentralnoy Azii na osnove snimkov MODIS [Methodology for forecasting the water availability of high-mountain rivers in Central Asia based on MODIS images] // *Sentralnoaziatskiy jurnal issledovaniy vodi*. 2020. No. 6(2). – S. 26-37. (in Russian)

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

*Yarashev D.O., G'afurov A.A., G'afurov A.A., Umirzoqov G.O.* Qor qoplami monitoringi asosida Piskom daryosi vegetatsiya davri oqimini prognozlash. [Forecasting runoff of Pskem River for vegetation period based on snow cover monitoring] // *Gidrometeorologiya va atrof muhit monitoringi*, 2022. No.3. – B. 63-76. (in Uzbek)

---

**АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ /  
МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ /  
ENVIRONMENTAL MONITORING**

---

УДК: 556.124

**МУЗЛИКЛАРДАН ТҶИНАДИГАН КИЧИК ТОҒ ДАРЁЛАРИНИНГ  
ГИДРОЛОГИК МОНИТОРИНГИ (БАРҚИРОҚСОЙ МИСОЛИДА)****С.С. СУВОНҚУЛОВ<sup>1,3\*</sup>, Ғ.Ў. УМИРЗАҚОВ<sup>2,3</sup>, Ҳ.А. МАМИРОВ<sup>1,3</sup>,  
Ф.Н. АКБАРОВ<sup>1</sup>, Д.К. ЭШМУРАТОВ<sup>3</sup>, М.А. ПЕТРОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ҳ.М.Абдуллаев номидаги Геология ва геофизика институти, ssarkorbek@gmail.com, hmamirov@inbox.ru, fedya8310@mail.ru, maxpetr1962@gmail.com

<sup>2</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, g.umirzakov@gmail.com

<sup>3</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, eshmuratov\_d@mail.ru

**Аннотация.** Мақолада Писком ҳавзасида жойлашган Барқироқ музликларининг эриган сувларидан ҳосил бўлувчи Барқироқсой оқими режими ва унинг гидрологик кўрсаткичлари далакузатув маълумотлари асосида ўрганилган. Барқироқсойда вақтинча ўрнатилган юқори ва қуйи гидрологик постларда кузатилган сув сатҳларининг кўрсаткичлари таҳлил қилинган. Натижада, Барқироқсой сув сатҳининг ҳаво ва сув ҳароратларига боғлиқ ҳолда тебраниши аниқланган ва улар статистик баҳоланган.

**Калит сўзлар:** дарё ҳавзаси, музлик, дарё, сув сатҳи, мослашган сув сатҳлари, ҳаво ҳарорати, сув ҳарорати, статистик баҳоланиши.

**Кириш.** Глобал исиш натижасида тоғ музликлари майдони ва ҳажмининг қисқариши ҳамда улардан ҳосил бўлувчи оқим миқдорларининг ўзгариши кузатилмоқда. Бу жараён музликларнинг эришидан ҳосил бўладиган сув оқими режими кўрсаткичларининг ўзгаришига ва уларнинг мавсумий ҳамда йиллик ўзгарувчанликларининг ортишига олиб келмоқда. Шу сабабли музликлардан бошланадиган кичик дарёлар ва сойларнинг гидрологик режимини тадқиқ этиш, ҳозирги кундаги иқлим ўзгариши шароитида тоғли ҳудудлар гидрологиясининг **долзарб** масалаларидан бири ҳисобланади.

Ўрта Осиё тоғ дарёлари гидрологияси, хусусан, музликлар ва улардан ҳосил бўладиган оқимни ўрганишда Л.К.Давыдов, Н.Л.Корженевский, В.Л.Щульц, О.П.Щегловлар ўзларининг ушбу йўналишдаги илмий мактабларини ривожлантириш орқали катта ҳисса қўшганлар. Кейинчалик, Г.Е.Глазырин, Б.А.Камолов, Ю.Н.Лесник, В.Г.Коновалов каби олимлар музликлар эриши ҳисобидан дарёлар оқимига қўшилган сувлар ҳиссасини ҳисоблаш усулларини такомиллаштирганлар. Сўнгги йилларда М.Hoelzle, M.Barandun, T.Saks, T.Schoene, E.Matteo каби хорижлик олимлар, иқлим ўзгариши шароитида музликлар массаларининг ўзгариши тенденцияларини баҳолаш ва бу жараённи моделлаштириш масалалари устида тадқиқотлар олиб бормоқдалар. Ҳозирги кунда, мамлакатимизда, мазкур йўналишдаги тадқиқотлар А.А.Ни, Б.К.Царёв, М.А.Петров, Э.П.Семакова, Ғ.Ў.Умирзоқов томонидан давом эттирилмоқда.

Юқорида қайд этилган тадқиқотларда музликлардан бошланадиган кичик сойларнинг гидрологик режимини ўрганиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилган. Лекин, мазкур муаммо шу кунга қадар Писком дарёси ҳавзаларидаги музликлардан бошланадиган сойлар мисолида алоҳида кўриб чиқилмаган.

**Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари.** Мазкур ишнинг асосий мақсади музликлар эришидан ҳосил бўладиган Баркироқсой оқими сув сатҳи режимини ўрганиш ҳамда унга гидрометеорологик омиллар таъсирини статистик баҳолашдан иборат.

Ушбу мақсадни амалга ошириш учун тадқиқотда қуйидаги **вазифалар** белгилаб олинди:

- Баркироқсой ҳавзасининг йирик масштабли рақамли гидрографик картасини ГИС технологиялари асосида яратиш;
- Баркироқсойда дала тадқиқотлари жараёнида ўрнатилган юқори ва қуйи гидрологик постларда ўлчанган сув сатҳларининг ўзаро мослигини тадқиқ этиш;
- Баркироқсой сув сатҳининг сув ва ҳаво ҳароратларига боғлиқлигини статистик таҳлил қилиш.

Мазкур ишда Баркироқ ҳавзаси ва Баркироқсой **тадқиқотнинг объекти**, унинг гидрологик ва гидротермик режими эса **тадқиқотнинг предмети** ҳисобланади.

Мақолада, юқорида белгиланган мақсад ва вазифаларни бажаришда, Баркироқсой ҳавзасида олиб борилган дала тадқиқот кузатувлари давомида тўпланган маълумотлардан **бирламчи материаллар** сифатида фойдаланилди.

Тадқиқот объекти ҳисобланган Баркироқсой Писком дарёсининг асосий ирмоқларидан бири бўлган Ойгаинг дарёсининг ўнг ирмоғи ҳисобланади [Шульц, Машрапов, 1969]. Баркироқсой ҳавзаси  $F = 47,3 \text{ км}^2$  майдонга эга бўлиб, унинг ўртача баландлиги  $H_{\text{ўрт}} = 3150 \text{ м}$  ни ташкил этади. Баркироқсой ҳавзасида 4 та музлик мавжуд бўлиб, уларнинг умумий майдони  $6,3 \text{ км}^2$  га тенг [Каталог ледников, 1968]. Таҳлиллар натижаси шуни кўрсатадики, илгари Ўнг Баркироқ, Ўрта Баркироқ ва Чап Баркироқ музликлари яхлит бўлган. Кейинчалик, иқлим ўзгариши натижасида, музлик чекиниб, 3 бўлакка ажралиб қолган [Ни ва бошқ., 2006; Томашевская ва бошқ., 2013].

**Тадқиқот методологияси.** Дала кузатув тадқиқотлари давомида Ўрта ва Ўнг Баркироқсойларнинг қўшилиш қисмидан пастроқда **юқори** ва ушбу сойнинг Ойгаинг дарёсига қўйилиш қисмида **қуйи** гидрологик постлар ўрнатилди (1-расм). Улар гидрологик постларга қўйиладиган стандарт талабларга жавоб беради [НГСиП, 1985]. Юқори ва қуйи постларда сув сатҳи ва сув ҳароратини қайд этиб борувчи Decagon русумли ([www.ictinternational.com](http://www.ictinternational.com)) ўзиёзар қурилмалар ўрнатилди. Шунингдек, гидрологик постлар STD-10 сув сатҳи ва ҳароратини ўлчовчи датчик ҳамда маълумотларни қайд этиб борувчи EM50G ўзиёзар қурилмалар билан жиҳозланди (1-расм).

STD-10 датчик сув сатҳини 0-10 метр интервалдаги баландликда 2 мм аниқликда, сув ҳароратини эса  $-11 \div +49 \text{ }^\circ\text{C}$  оралиғида  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  аниқликда ўлчайди. Ушбу датчикда ўлчовларни 5 минутдан 24 соатгача вақт оралиқларида созлаш имконияти мавжуд. EM50G ўзиёзар қурилмаси эса датчикларда ўлчанган 36000 тагача қийматни ўз хотирасида қайд эта олади. Ушбу қурилмалар ёрдамида ҳар соатлик сув сатҳлари қайд этиб борилди.

Баркироқсой ҳавзасининг метеорологик шароитини ўрганиш мақсадида, юқори пост яқинига MADD2 русумли автоматик метеостанция (АМС) ўрнатилди (1-расм). Мазкур автоматик метостанцияда ҳаво ҳарорати, куюш радиацияси, ўртача ва максимал шамол тезлиги ва унинг йўналиши, нисбий намлик, атмосфера босими ва ёғингарчилик каби метеорологик кўрсаткичлар ўлчанди. Тадқиқотда метеостанцияда қайд этилган ҳаво ҳарорати маълумотларидан музликнинг кунлик эриш режимини ўрганишда фойдаланилди.

Ҳар икки гидрологик пост орасидаги масофа ГАТ дастури ёрдамида аниқланди:  $L = 8200 \text{ м}$ . Юқори постдан қуйи постгача сувнинг етиб келиш вақти 2 хил услубда аниқланди: 1) гидрометрик паррак ёрдамида аниқланган тезлик орқали; 2) мослашган сув сатҳлари таҳлили асосида.

Ишда сув сатҳи тебранишларининг сув ҳарорати ва ҳаво ҳароратига боғлиқлиги статистик баҳоланди. Статистик таҳлил Пирсон корреляция коэффицентини ҳисоблаш йўли билан амалга оширилди.



**1-расм. Дала тадқиқот ишларида кузатув ва ўлчов ишлари:**

- а) метеостанциянинг жойлашган ўрни; б) оқим тезлигини ўлчаш;  
в) юқори гидрологик постдан маълумотларни юклаш;  
г) Degacon EM50G ўзиёзар қурилмаси ва CTD-10 датчиги*

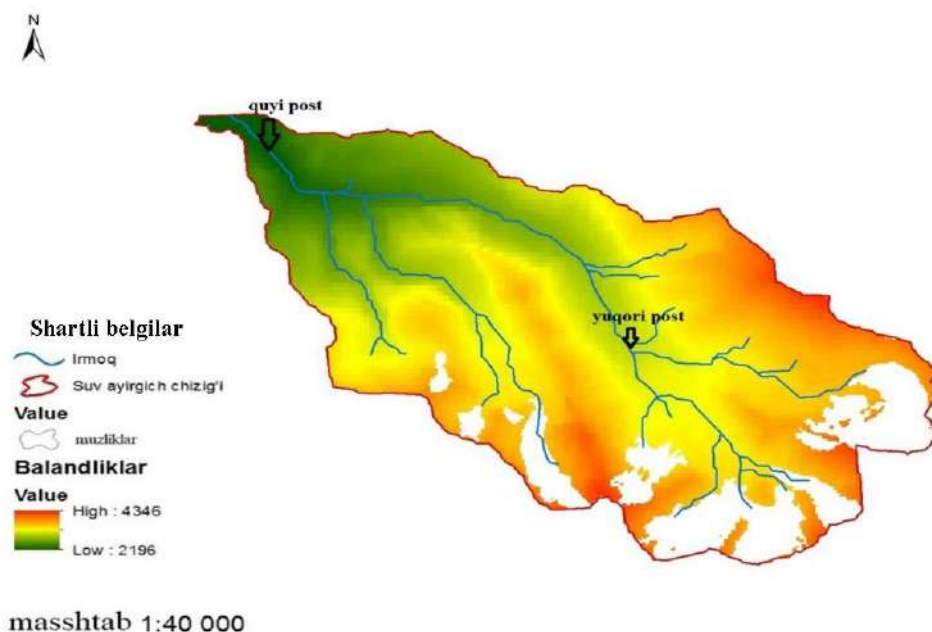
**Рис. 1. Наблюдения и измерения при полевых исследованиях:**

- а) местонахождение метеостанции; б) измерение скорости течения;  
в) загрузка данных верхней гидрологической станции;  
г) цифровой самописец Degacon EM50G и датчик CTD-10*

**Fig. 1. Observation and measurements during the field work:**

- a) location of meteorological station; b) measuring flow velocity;  
v) loading data from the upper hydrological station; g) Degacon EM50G logger and CTD-10 sensor*

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Тадқиқотнинг вазифаларида белгиланганидек, дастлаб АҚШ Геология хизмати платформасидан ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)) Ернинг рақамли баландлик модели (DEM) маълумоти Барқироқсой ҳавзаси жойлашган ҳудуд бўйича юклаб олинди. Олинган DEM маълумоти асосида, QGIS дастурида Барқироқсой ҳавзасининг рақамли гидрографик картаси яратилди (2-расм).



2-расм. Баркироқсой ҳавзасининг рақамли гидрографик картаси

Рис. 2. Цифровая гидрографическая карта бассейна Баркраксай

Fig. 2. Digital hydrographic map of the Barkraksay catchment

Гидрографик картада Баркироқсой ҳавзасининг сув айирғич чизиғи, асосий ирмоқлари ва музликлар баландлик градиентлари асосида акс этган. Шунингдек, яратилган рақамли картадан Баркироқсой ҳавзасининг бошқа морфометрик кўрсаткичларини ҳам аниқлаш имконияти мавжуд.

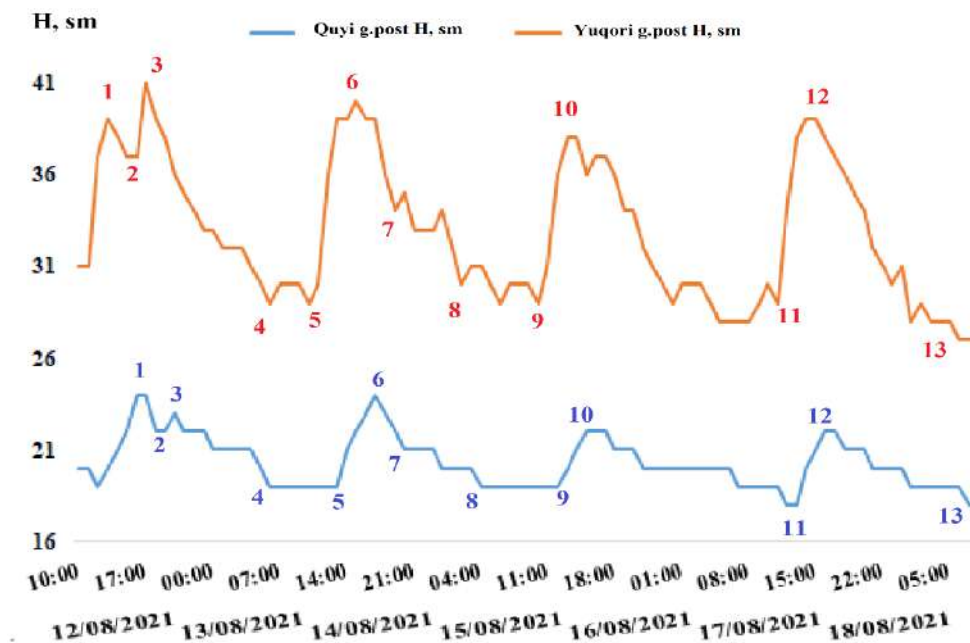
Ишнинг кейинги босқичларида кузатилган ва ўлчанган маълумотлар асосида, Баркироқ ҳавзасининг гидрологик кўрсаткичлари аниқланди. Баркироқсой тоғли ҳудудда жойлашган бўлса-да, унинг бўйлама қирқими текислик дарёлари хусусиятига мос келади, яъни тўғри чизикли шаклга эга. Бироқ, текислик дарёларидан фарқли равишда, сойнинг ГАТ дастури асосида аниқланган нишаблиги  $i=0,11$  га тенг бўлиб, юқори қийматни ташкил этди.

Баркироқсойнинг Ўнг Баркироқ музлиги тилидан Ойгаинг дарёсига қуйилгунигача бўлган масофа  $L=11700$  м ни ташкил этди. Мазкур ораликдаги сойнинг эгри бугрилик коэффициенти  $K_e=0,85$  га тенг эканлиги ҳисоблашлар натижасида аниқланди. Соининг нишаблиги ва унинг оқибатида оқим тезлиги катталиги туфайли музликлар эришидан шаклланган сувнинг қисқа вақт оралиғида унинг қуйилишига етиб келиши кутилади. Ушбу жараёнларни инобатга олиб, Баркироқсой оқимининг ўртача тезлиги гидрометрик паррак ёрдамида аниқланди:  $v=1,16$  м/с.

Юқори ва қуйи постлар оралиғидаги масофа ( $L$ ) нинг ҳисобланган ўртача тезликка нисбати оқимнинг қуйи постга етиб келиш вақтини кўрсатади:

$$T = \frac{L}{v} = \frac{8200\text{м}}{1,16\text{ м/с}} = 1 \text{ соат } 58 \text{ минут.}$$

Дала тадқиқот давомида юқори ва қуйи гидрологик постларда кузатилган сув сатҳи маълумотлари асосида тузилган графиклардан мослашган сув сатҳлари аниқланди (3-расм).



3-расм. Юқори ва қуйи гидрологик постларда ўлчанган сув сатҳлари графиги

Рис. 3. Уровни воды, измеренные на верхних и нижних гидрологических постах

Fig. 3. Water levels measured at the upper and lower hydrological gauges

Барқироқсойда дала тадқиқотлари олиб борилган 2021 йил 10-14 августда юқори ва қуйи гидрологик постларда ўлчанган сув сатҳлари ( $H$ , см) тебранишларининг ўзаро мослиги таҳлил қилинди. Натижада кузатиш вақти оралиғида юқори постда энг кичик сув сатҳи  $H_{\min}=27$  см га тенг бўлса, унинг энг катта қиймати  $H_{\max}=41$  см ни ташкил этиши аниқланди. Қуйи постдаёса сув сатҳининг максимал ва минимал қийматлари, мос равишда,  $H_{\max}=24$  см ва  $H_{\min}=18$  см га тенг бўлди. Юқори гидрологик постда сойнинг сув юзаси кенглиги ( $B$ , м) қуйи гидрологик постга нисбатан кичикдир. Бундан ташқари, юқори гидрологик постда нишабликнинг катталиги боис, сув сатҳининг тебраниш амплитудаси катта қийматни ташкил этди.

Кузатувлар олиб борилган гидрологик постларда ўлчанган сув сатҳлари орасидаги боғлиқликни аниқлаш мақсадида Пирсон корреляция коэффиценти қўлланилди. Унинг ҳисоблашлар натижасида олинган қиймати  $R^2=0,43$  га тенг бўлди. Ушбу ҳисоблаш ишлари силжитишлар усули орқали амалга оширилганда, бу икки гидрологик пост сув сатҳлари орасидаги энг зич боғланиш  $R^2=0,80$  га тенг бўлди. Бунга қуйи постда ўлчанган сув сатҳларини 2 соат олдинга силжитиш орқали эришилди. Бундан келиб чиқадики, юқори постда қайд этилган сув сатҳлари 2 соат ўтиб, қуйи постда кузатилади ва ушбу аниқланган вақт гидрометрик паррак ёрдамида аниқланган оқимнинг қуйи постга етиб бориш вақтини тасдиқлайди.

Сув сатҳларининг кунлик ўртача тебраниш амплитудаси юқори постда  $H_{\text{ю}}=28-38$  см бўлган бўлса, қуйи постда  $H_{\text{қ}}=22-18$  см ни ташкил этган. Сув сатҳларининг 14 августдаги максимал кунлик тебраниши юқори ва қуйи постларда мос равишда,  $H_{\text{ю}}=40-29$  см ва  $H_{\text{қ}}=19-24$  см кузатилган. Кузатишлар амалга оширилган давр учун тузилган сув сатҳлари графигидан (3-расм) мазкур постларининг жами 13 та мослашган сув сатҳлари қийматлари ва уларнинг кузатилган вақтлари аниқланди (1-жадвал).

1-жадвал

Мослашган сув сатҳлари ва улар кузатилган вақтлар

Таблица 1

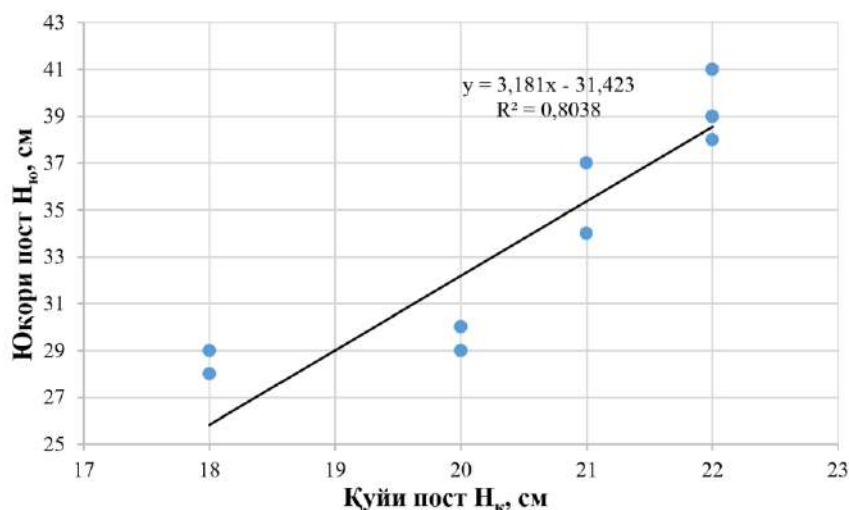
Соответственные уровни воды и время их наблюдения

Table 1

Adjusted water levels and their observed times

№	Юқори пост		Қуйи пост	
	Н, см	вақт	Н, см	вақт
1	39	13:30	22	15:30
2	37	15:30	21	17:30
3	41	17:30	22	19:30
4	29	07:30	20	07:30
5	30	12:30	20	14:30
6	41	14:30	22	17:30
7	34	20:30	21	21:30
8	30	03:30	20	05:30
9	29	11:30	20	13:30
10	38	14:30	22	16:30
11	29	12:30	18	14:30
12	39	15:30	22	18:30
13	28	07:30	18	09:30

Мослашган сув сатҳлари ва улар қайд этилган вақтлар орасидаги фарқ аниқланди. Бу қийматлар 3 соатгача бўлган вақтни кўрсатди. Мазкур сув сатҳларининг кўтарилиши ва тушиши қийматларининг етиб келиш вақти ўртача 2 соатни ташкил этди. Шу орқали, Баркироқсой ҳавзасидаги юқори ва қуйи гидрологик постларда кузатилган сув сатҳлари орасида боғланиш мавжудлиги аниқланди (4-расм).



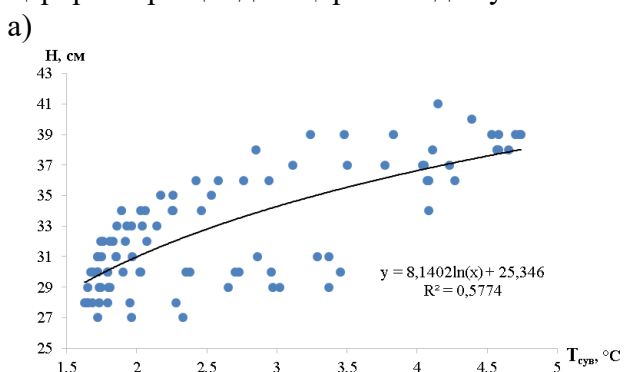
4-расм. Баркироқсойдаги юқори ва қуйи постларнинг мослашган сув сатҳлари орасидаги боғланиш графиги

Рис. 4. График связи соответственных уровней воды на верхнем и нижнем постах Баркракся

Fig. 4. Graph of relations between the adjusted water levels at the upper and lower hydrogauges of Barkraksay

Графикда акс этганидек, ҳар икки гидрологик постнинг мослашган сув сатҳларининг тебранишлари бир-бирига мос мос келади. Бу ҳолат ҳар икки гидрологик постлардаги мослашган сув сатҳлари орасидаги кореляция коэффицентининг  $R^2=0,80$  га тенг эканлиги билан ҳам тасдиқланади.

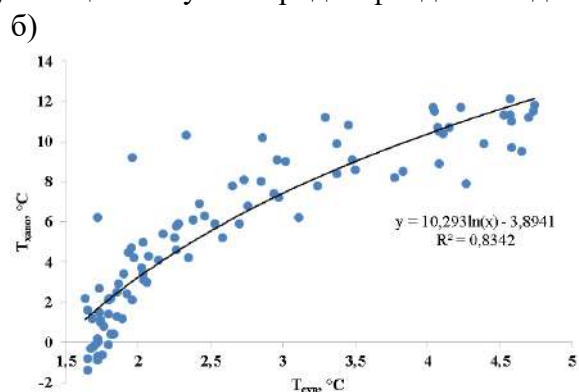
Дала кузатувлари доирасида Баркироқсой ҳавзасидаги музликларнинг эришидан ҳосил бўлган оқимнинг ҳаво ҳарорати ўзгаришига боғлиқлиги масаласи ҳам ўрганилди (5а-5б-расмлар). Бунинг учун автоматик метеорологик станцияда қайд этилган ҳаво ва сув ҳароратлари ҳамда юқори постда кузатилган сув сатҳи маълумотларидан фойдаланилди.



**5а-расм. Юқори постдаги сув сатҳи ( $H_{ю}$ ) ва сув ҳароратлари ( $T_{сув}$ ) орасидаги боғланиш графиги**

**Рис. 5а. График связи между уровнем воды ( $H_{в}$ ) и температурой воды ( $T_{вода}$ ) на верхнем гидропосту**

**Fig. 5a. Graph of the relationship between water level ( $H_{u}$ ) and water temperatures ( $T_{water}$ ) at the upper hydrogauge**



**5б-расм. Юқори постда ўлчанган ҳаво ( $T_{хаво}$ ) ва сув ( $T_{сув}$ ) ҳароратлари орасидаги боғланиш графиги**

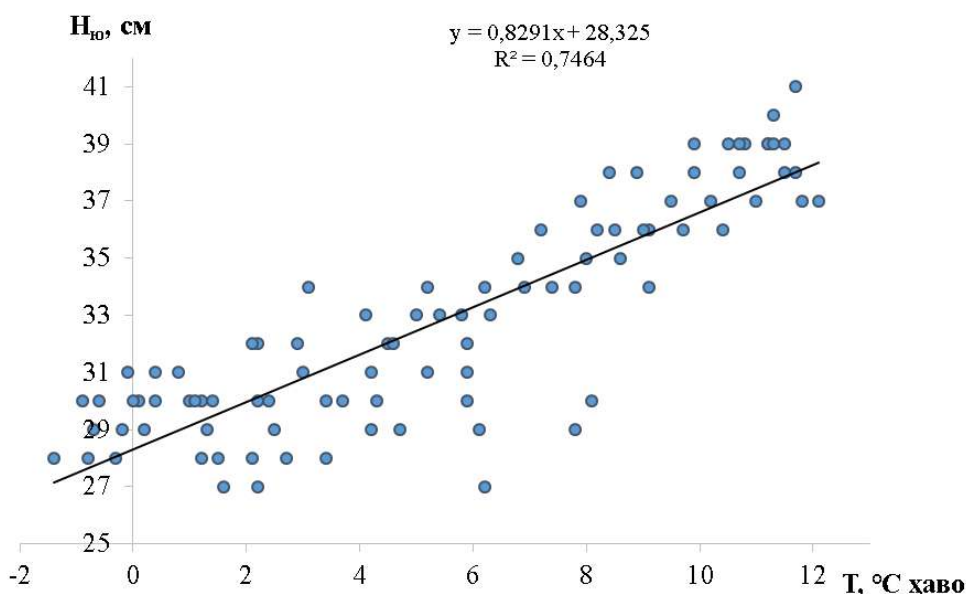
**Рис. 5б. График связи между температурой воздуха ( $T_{воздуха}$ ) и воды ( $T_{вода}$ ) на верхнем гидропосту**

**Fig. 5b. Graph of relationship between air ( $T_{air}$ ) and water temperatures ( $T_{water}$ ) at the upper hydrogauge**

Юқори гидрологик постда қайд этилган сув ҳарорати  $T_{сув}=+4,74\div+1,63^{\circ}\text{C}$  оралиғида тебранган бўлса, АМС да кузатилган ҳаво ҳароратлари  $T_{хаво}=+12,1\div-1,4^{\circ}\text{C}$  қийматлар оралиқда ўзгарган. Кузатишлар даврида сув ва ҳаво ҳароратлари амплитудалари, мос равишда,  $3,1^{\circ}\text{C}$  ва  $13,5^{\circ}\text{C}$  ни ташкил этди. Сув ҳароратининг нисбатан кичик қийматларда ўзгариб туриши, ҳаво ҳароратнинг қисқа муддатли кўтарилиши ва музлик эришидан ҳосил бўладиган оқимга боғлиқ, яъни музликдан эриган сув Баркироқсой оқимини ҳосил қилади ва сой ўзанида унинг қуйи қисми томон ҳаракатланади. Натижада, сув ҳароратининг кўтарилишига имкон бўлмайди. Ҳаво ҳароратининг манфий қийматларида ҳам сувнинг ҳарорати минимал, яъни  $T_{сув}=+1,6^{\circ}\text{C}$  кузатилган. Бу вақтда, табиийки, музликнинг эриши кузатилмайди. Бундай шароитда Баркироқсой оқими морена, қум ва шағаллар орасида тўпланган сувлар ҳисобига шаклланади [Сувоқулов ва бошқалар, 2020; Сувоқулов, Турғунов, 2020]. Умуман олганда, ҳаво ҳарорати билан Баркироқсой суви ҳарорати орасидаги боғланишни ифодаловчи кореляция коэффиценти  $R^2=0,83$  га тенг бўлди.

Музликнинг эриши ҳисобига ҳосил бўлган оқим миқдори ҳаво ҳароратига боғлиқ бўлиб, музлик юзасида иссиқлик энергияси ҳосил бўлгандан сўнг оқим миқдори янада ортади [Сувоқулов, 2021]. Бу жараён сув ҳароратида ҳам акс этади. Соининг юқори постида ўлчанган сув сатҳи ( $H$ , см) билан сув ҳарорати ( $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) орасидаги  $H=f(T_{сув})$  боғланишнинг кореляция коэффиценти аниқланди:  $R^2=0,66$ . Сойда сув сатҳининг

$H_{ю}=29-31$  см қийматлар оралиғида ўзгариши, сув ҳароратининг эса  $T=+1,5\div+3,5^{\circ}\text{C}$  оралиқда тебранганлиги аниқланди. Бунга сабаб, куннинг биринчи қисмида ҳароратга боғлиқ бўлган оқим ҳиссаси камроқ бўлиб, унинг ҳарорати ер ости сувлари ҳароратига яқин бўлади. Куннинг иккинчи қисмида эса, ҳаво ҳароратининг кўтарилиши натижасида, музликнинг эриш жараёни жадаллашади ва, шунга мос равишда, сой ўзанида сув сатҳи ҳам кўтарилди.



6-расм. Юқори постда ўлчанган сув сатҳи ( $H_{ю}$ ) ва ҳаво ҳарорати ( $T_{ҳаво}$ ) орасида корреляцион боғланиш

Рис. 6. Корреляционная зависимость между уровнем воды ( $H_{в}$ ) и температурой воздуха ( $T_{воздух}$ ), измеренных на верхнем гидропосту

Fig. 6. Correlation between water level ( $H_{w}$ ) and air temperature ( $T_{air}$ ) measured at the upper hydrogauge

Тадқиқотда юқори постда ўлчанган сув сатҳи ( $H_{ю}$ , см) нинг ҳаво ҳарорати ( $T$ , °C) га боғлиқлиги, яъни  $H_{ю}=f(T_{ҳаво})$  боғланиш ҳам ўрганилди. Ушбу боғланишга асосланган бўлсак, ҳаво ҳарорати кўтарилганда, ўзанда сув сатҳи ҳам кўтарилган ва, аксинча, ҳаво ҳарорати пасайиши билан сув сатҳи ҳам камайган. Сув сатҳи ва ҳаво ҳарорати қийматларининг бир вақтда қайд этилган миқдорлари орасидаги боғланиш  $R^2=0,40$  га тенг бўлган корреляция коэффициенти билан ифодаланди. Ушбу боғланишда сув сатҳи қийматлари 2 соат кейинга сурилганда эса корреляция коэффициенти  $R^2=0,75$  га ортаганлиги аниқланди. Демак, ҳаво ҳароратининг кўтарилиши натижасида музликнинг эришидан ҳосил бўлган оқим 2 соатдан сўнг юқори гидрологик постга етиб келади.

**Хулоса ва таклифлар.** Барқироқсой ҳавзасининг мавжуд музликлари, дарё ўзани ва ирмоқлари баландлик градиентлари орқали акс этган рақамли гидрографик картаси ГАТ дастури асосида яратилди. Рақамли картадан Барқироқсойнинг умумий узунлиги ( $L=11700$  м), сойнинг ўртача нишаблиги ( $i=0,11$ ) ва эгри-бугрилик коэффициенти ( $K_e=0,85$ ) каби морфометрик кўрсаткичлари ҳисобланди. Барқироқсой ҳавзасида олиб борилган дала тадқиқотлари давомида гидрологик ва метеорологик кузатувлар олиб борилди. Ўрнатилган юқори ва қуйи гидрологик постларда сув сатҳларининг кунлик режими ва мослашган сув сатҳлари ўрганилди. Кузатув ва ўлчов таҳлиллари натижасида оқимнинг юқори постдан қуйи постга етиб келиш вақти аниқланди ( $T_{ўрг}=2$  соат). Ишда,

шунингдек, сув сатҳи ва сув ҳароратларининг кун давомида ҳаво ҳароратига боғлиқ ҳолда ўзгариши ҳам ўрганилди. Ҳавзанинг кузатилган ҳаво ҳарорати ва сув сатҳлари ўртасида энг юқори статистик боғланиш ( $R^2=0,75$ ) дан музликлар эришидан ҳосил бўладиган оқимнинг ўртача 2 соатда юқори постда акс этиши тахмин қилинди. Ўз навбатида, ҳаво ва сув ҳароратлари ( $R^2=0,83$ ) ҳамда сув сатҳи ва сув ҳароратлари ( $R^2=0,66$ ) орасида юқори статистик боғланишлар мавжудлиги аниқланди.

Ушбу тадқиқот ишида дарёларнинг ҳаво ҳароратига боғлиқ ҳолда музликлар ҳисобига тўйиниши ёритиб берилган бўлиб, унда эришилган янгиликлар ва натижаларни амалиётга тадбиқ этишнинг катта имкониятлари мавжуд. Жумладан, улардан келгусида музликлардан тўйинувчи тоғ дарёлари гидрологик ва гидротермик режимини ўрганишда фойдаланиш мумкин. Келажақда музликлардан тўйинадиган кичик дарё ва сойларнинг гидрологик режими хусусиятларини ўрганишга қаратилган дала тадқиқотлари тўлиқ гидрологик йилни қамраб олиши мақсадга мувофиқ. Навбатдаги дала тадқиқот ишларини, замонавий қурилмалар ёрдамида, узлуксиз гидрометеорологик кузатувлар асосида ташкил этишянада аниқроқ натижалар олиш имконини беради.

**Миннатдорчилик.** Ушбу мақола Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш вазирлиги томонидан молиялаштирилган АЛМ-202107010-“Глобал иқлим ўзгариши шароитида тоғ музликлари масса баланси ўзгаришининг мониторинг тизимини ва музликларнинг келажақдаги ҳолатини тавсифловчи сценарийларни ишлаб чиқиш” амалий лойиҳаси доирасида амалга оширилди.

**Муаллифлар ҳиссаси.** **С.С. Сувонқулов:** дала тадқиқот ишларини олиб бориш, методология, натижалар таҳлили, матнни ёзиш. **Ғ.Ў. Умирзаков:** мақола ғояси, натижаларни текшириш, мақолани таҳрирлаш ва расмийлаштириш, раҳбарлик. **Ҳ.А. Мамиров:** дала тадқиқот ишларида олинган маълумотларни қайта ишлаш. **Ф.Н. Акбаров:** дала тадқиқот ишларини ташкил этиш, олинган маълумотларни қайта ишлаш, графикларни яратиш. **Д.К. Эшмуратов:** рақамли карталарни яратиш, ҳавзасининг морфометрик кўрсаткичларини ҳисоблаш. **М.А. Петров:** дала тадқиқот ишларига раҳбарлик, адабиётлар шарҳи, натижалар таҳлили, мақолани таҳрирлаш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган матнини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

Каталог ледников СССР. Т. 14. Вып. 1. Ч. 1. Бассейн реки Пскем. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 49 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам (НГСИП). Выпуск 2. Часть II. Гидрометеорологические наблюдения на постах. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 211 с.

*Ни А., Петров М.А., Тихановская А.А., Томашевская И.Г.* Горное оледенение, климат, сток. – Ташкент: НУУз, 2006. – 206 с.

*Расулов А.Р., Хикматов Ф. Х., Айтбаев Д.П.* Гидрология асослари. – Тошкент: Университет, 2003. – 327 б.

*Сувонқулов С.С., Акбаров Ф.Н., Мамиров Х.А., Тургунов Д.М.* Статистический анализ стока, формирующийся за счет таяния ледников (на примере ледников Баркракской группы) // *Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии, водном хозяйстве и геоэкологии.* Уфа, 2020. – С. 118-121.

*Сувонқулов С.С., Тургунов Д.М.* Глобал иқлим ўзгаришининг Ўзбекистон тоғ музликлари ва уларнинг эриши ҳисобига шаклланган дарёлар оқими таъсири (Барқроқ музликлар гуруҳи мисолида) // *Ўзбекистон География жамияти ахбороти.* 57-жилд. – Тошкент, 2020. – Б. 269-275.

*Томашевская И.Г., Тихановская А.А., Петров М.А.* Отступление ледников – фактор возникновения гляциальных селей // *Криосфера Земли.* – М.: 2013. Т. XVII, № 4. – С. 83-86.

Умирзаков Г.У., Рахмонов К.Р., Мамиров Х.А., Акбаров Ф.Н., Зултихаров Г.Б. Изменение баланса массы ледника Баркрак Средний под влиянием климатических факторов и его вклад в формирование стока реки Ойгаинг. Криосфера. – Душанбе, 2021. – С.72-78.

Шульц В.Л., Мауранов Р. Ўрта Осиё гидрографияси. – Тошкент: Ўқитувчи, 1969. – 328 б.

Hoelzle M., Azisov E., Barandun M., Huss M., Farinotti D., Gafurov A., Merkushev A. Re-establishing glacier monitoring in Kyrgyzstan and Uzbekistan, Central Asia. Geoscientific Instrumentation // Methods and Data Systems, 2017. № 6(2). – PP. 397-418.

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МАЛЫХ ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ ЛЕДНИКОВОГО ПИТАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАРКРАКСАЯ)

С.С. СУВАНКУЛОВ<sup>1,3\*</sup>, Г.У. УМИРЗАКОВ<sup>2,3</sup>, Х.А. МАМИРОВ<sup>1,3</sup>,  
Ф.Н. АКБАРОВ<sup>1,3</sup>, Д.К. ЭШМУРАТОВ<sup>3</sup>, М.А. ПЕТРОВ<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева, ssarkorbek@gmail.com, hmamirov@inbox.ru, fedya8310@mail.ru, maxpetr1962@gmail.com

<sup>2</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, g.umirzakov@gmail.com

<sup>3</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт

**Аннотация.** В статье, по данным полевых наблюдений над элементами режима стока Баркракская, сформировавшегося за счет талых вод ледников Баркрак, расположенных в Пскемском бассейне, изучены его гидрологические показатели. Определены показатели уровней воды, наблюдаемые на временно установленных верхнем и нижнем гидрологических постах в Баркракская. В результате были определены и статистически проанализированы колебания уровня воды Баркракская в зависимости от температуры воздуха и воды.

**Ключевые слова:** речной бассейн, ледник, река, уровень воды, соответствующие уровни воды, температура воздуха, температура воды, зависимость, оценка.

## HYDROLOGICAL MONITORING OF GLACIER-FED SMALL MOUNTAIN RIVERS (ON THE EXAMPLE OF BARKRAKSAY)

S.S. SUVANKULOV<sup>1,3\*</sup>, G.U. UMIRZAKOV<sup>2,3</sup>, H.A. MAMIROV<sup>1,3</sup>,  
F.N. AKBAROV<sup>1,3</sup>, D.K. ESHMURATOV<sup>3</sup>, M.A. PETROV<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geophysics named after H.M. Abdulleev, ssarkorbek@gmail.com, hmamirov@inbox.ru, fedya8310@mail.ru, maxpetr1962@gmail.com

<sup>2</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, g.umirzakov@gmail.com

<sup>3</sup> Hydrometeorological Research Institute, eshmuratov\_d@mail.ru

**Abstract.** In the article, based on the data of field observations, the regime of the Barkraksay runoff, formed from the melting of Barkrak glaciers located in the Pskem basin, and its hydrological indicators were studied. The indicators of water levels observed at the temporarily installed upper and lower hydrological gauges in Barkraksay were determined. As a result, fluctuations of water level of Barkraksay depending on air and water temperature were determined and statistically analyzed.

**Keywords:** river basin, glacier, river, water level, adjusted water level, air temperature, water temperature, relation, assessment.

## REFERENCES

Katalog lednikov SSSR [Catalogue of glaciers of USSR]. Т. 14. Vip. 1. Ch. 1. Basseyn reki Pskem. – L.: Gidrometeoizdat, 1968. – 49 s. (in Russian)

Nastavleniye gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam (NGSiP) [Instructions for hydrometeorological stations and gauges]. Vipusk 2. Chast II. Gidrometeorologicheskiye nablyudeniya na postax. – L.: Gidrometizdat, 1985. – 211 s. (in Russian)

Ni A.A., Petrov M.A., Tikhonovskaya A.A., Tomashevskaya I.G. Gornoye oledneniye, klimat, stok [Mountain glaciation, climate, runoff]. – Tashkent.: NUUZ, 2006. – 206 s. (in Russian)

Rasulov A.R., Xikmatov F.X., Aytbayev. D.P. Gidrologiya asoslari [Fundamentals of hydrology]. – Toshkent: Universitet, 2003. – 327 b. (in Uzbek)

Suvankulov S.S., Akbarov F.N., Mamirov X.A., Turg'unov D.M. Statisticheskiy analiz stoka, formiruyushiyasya za schet tayaniya lednikov (na primere lednikov Barkraskay gruppi) [Statistical analysis of runoff formed by melting of glaciers (on the example of Barkrak glaciers)] // Fundamentalnie i prikladnie issledovaniya v gidrometeorologii, vodnom khozyaystve i geoeologii. – Ufa, 2020. – S. 118-121. (in Russian)

Suvonqulov S.S., Turg'unov D.M. Global iqlim o'zgarishining O'zbekiston tog' muzliklari va ularning erishi hisobiga shakllangan daryolar oqimiga ta'siri (Barqroq muzliklar guruhi misolida) [Global climate change impact on mountain glaciers of Uzbekistan and river runoff by their melting (in the case of the Barkrak glaciers)] // O'zbekiston Geografiya jamiyati axboroti. 57-jild. – Toshkent, 2020, – B. 269-275. (in Uzbek)

Tomashevskaya I.G., Tixanovskaya A.A., Petrov M.A. Otstupaniye lednikov – faktor vozniknoveniya glyasialnix seley [Retreating of glaciers - a factor in the occurrence of glacier lake outburst floods] // Kriosfera Zemli. – M.: 2013. T. XVII, № 4. – S. 83-86. (in Russian)

Umirzakov G.U., Rakhmanov K.R., Mamirov K.A., Akbarov F.N., Zulpikharov G.B. Izmenenie balansa massy lednika Barkrak Sredniy, pod vliyaniem klimaticheskikh faktorov i ego vklad v formirovanie stoka reki Oygaing [Mass balance changes of Barkrak Sredny glacier under the influence of climatic factors and its contribution to the formation of the Oygaing river runoff]. Cryosphere. – Dushanbe, 2021. – S.72-78. (in Russian)

Shuls V.L., Mashrapov R. O'rta Osiyo gidrografiyasi [Hydrography of Central Asia]. – Toshkent: O'qituvchi, 1969. – 328 b. (in Uzbek)

УДК: 551.515.3

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ПЫЛЬНЫХ БУРЬ В ПРИАРАЛЬЕ ЗА 2010-2021 ГОДЫ

Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1\*</sup>, А.Р. АХМЕДОВА<sup>2</sup>, Н.И. РАХМАТОВА<sup>1</sup>,  
Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт,  
lyudmila.shardakova@gmail.com, natella.rakhmatova@gmail.com, bnishonov@mail.ru

<sup>2</sup> Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, a-b-r@bk.ru

**Аннотация.** Проблемы, связанные с возникновением пыльных бурь являются актуальными для Узбекистана, особенно для его северо-западных территорий, где сильные ветры с пыльными бурями наблюдаются довольно часто, а новая пустыня Аралкум, образовавшаяся на высохшем дне Аральского моря, стала основным источником пыли. В статье на основании ряда наземных наблюдений на 9-ти метеостанциях сети Узгидромета за период 2010-2021 гг. проанализированы статистические характеристики пыльно-песчаных бурь в Приаралье – на территории Каракалпакстана. Выявлены особенности пространственно-временного распределения пыльно-песчаных бурь для исследуемого региона и по станциям наблюдений.

**Ключевые слова:** пыльные бури, базы данных, повторяемость, годовой ход, число дней с пыльными бурями, продолжительность, Приаралье, Каракалпакстан.

\* Ответственный автор: lyudmila.shardakova@gmail.com, тел.: 998 90 374-58-53

**Введение.** В настоящее время в мире уделяется особое внимание песчаным и пыльным бурям и их последствиям. Исследования Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) показывают, что с 1900 г. глобальные выбросы пыли увеличились на 25-50% в результате землепользования и изменения климата. Очаги песчаных и пыльных бурь расположены в 45 странах, и под их потенциальным воздействием находится 151 страна. Это придает проблеме глобальный масштаб [<https://carecесо.org/>].

Центральная Азия и Китай занимают второе место в глобальном масштабе (после пустыни Сахара) по выбросу пыли в атмосферу – порядка 20% от общего количества [Middleton, 2017]. Исследование пыльных и песчаных бурь очень актуально для Узбекистана, особенно для его северо-западных территорий, где сильные ветры с пыльными бурями повторяются довольно часто [Вейсов, 2021]. В настоящее время новая пустыня Аралкум, образовавшаяся на высохшем дне Аральского моря, стала основным источником пыли. В рамках проекта Регионального экологического центра Центральной Азии (РЭЦЦА) «Региональные подходы в борьбе с песчаными и пыльными бурями и засухой», финансируемого Секретариатом Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), подготовлены «Региональная среднесрочная стратегия по управлению песчаными и пыльными бурями в Центральной Азии на 2021-2030 гг.» [Региональная ..., 2021], а также Национальные планы действий в пяти странах Центральной Азии. В частности, в Узбекистане разработан «Национальный план действий по предупреждению и смягчению последствий песчаных и пыльных бурь», в котором предусмотрены действия по разработке механизмов системы раннего предупреждения ожидаемых рисков песчано-пылевых бурь на территории Узбекистана [Национальный ..., 2021]. Разработка системы раннего предупреждения требует проведения разноплановых научных исследований процессов связанных с генезисом пыльных бурь (ПБ) и особенностями их пространственно-временного распределения, а также развития системы мониторинга.

В последние десятилетия исследования пыльных бурь на территории Узбекистана носили эпизодический характер. В настоящее время в рамках проекта SATREPS ведутся работы по разработке подходов к созданию современной и эффективной системы мониторинга пыльных бурь на национальном уровне.

**Цель** данной работы – выявление пространственно-временного распределения пыльно-песчаных бурь на территории Каракалпакстана.

**Объектом исследования** являются пыльные бури на территории Каракалпакстана, **предметом исследования** – пространственно-временные характеристики пыльных бурь.

**Исходные данные и методы исследования.** В настоящем исследовании использованы данные наземных наблюдений метеорологических станций (МС) Узгидромета на территории Каракалпакстана за период 2010-2021 гг.

Наблюдения за пыльными бурями в Узбекистане ведутся в соответствии с «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» [Наставление ..., 1985]. Фиксируется время (часы, минуты) начала и окончания явления, характеристика и продолжительность наблюдаемой интенсивности («слабая», «умеренная», «сильная»).

В настоящее время для анализа современного состояния явления «пыльные бури» на территории Узбекистана в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте разрабатывается специализированная база данных (БД). Информационной основой БД являются таблицы ТМ-1, в которых представлены результаты наземных метеорологических наблюдений по срокам для каждой станции сети Узгидромета. Разработка базы данных ведется в среде СУБД MS ACCESS. Исходная информация о пыльных бурях систематизирована, для нее разработана структура базы данных. Назначение разработки – ввод, хранение, редактирование и обработка информации на основе запросов по разным признакам. Входной информацией для БД являются: дата и

время наблюдения; географические данные о пункте наблюдения; метеоинформация, относящаяся к моменту наблюдений; характеристика явления (табл. 1). Выходной является информация, полученная в результате действия запросов по различным категориям.

Для анализа пространственно-временного распределения пыльных бурь на территории Каракалпакстана проведена выборка из основной таблицы ежедневных наблюдений по 9-ти метеорологическим станциям Узгидромета за 2010-2021 гг. В базе данных содержится информация о более 1700 зарегистрированных случаев таких явлений, как пыльные бури, пыльные поземки, пыльная мгла, которые наблюдались на территории Приаралья с 2010 г. по 2021 г.

В данном исследовании рассматривалось только явление «пыльная буря». Так как пыльная буря является сложным и динамичным процессом, который изменяется во времени, то наблюдатель должен фиксировать временные фазы с определенными характеристиками интенсивности, поэтому одна и та же пыльная буря может быть зарегистрирована с разными показателями в таблицах более одного раза, в зависимости от ситуации. Обработка информации о пыльных бурях основана на следующем подходе – зарегистрированные случаи с разными показателями интенсивности, но непрерывные во времени, были приведены к одному событию, для которого посчитана общая длительность.

Таблица 1

## Структура основной таблицы базы данных «Пыльные бури»

Table 1

## The structure of the main table of the database «Dust Storms»

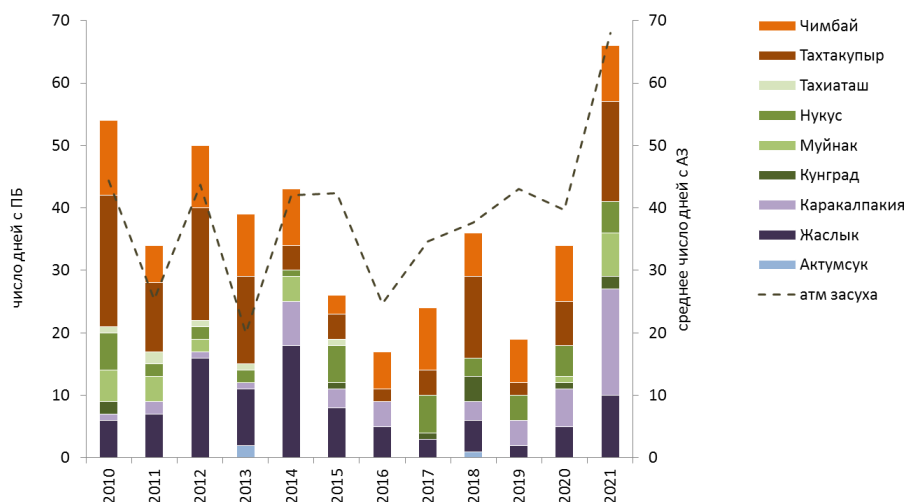
Имя поля	Тип данных
Номер записи	Счетчик
Код станции	Числовой
Код явления	Числовой
Год	Числовой
Месяц	Числовой
Число	Числовой
Интенсивность	Числовой
Начальное время бури (время по Гринвичу)	Дата/ время
Конечное время бури (время по Гринвичу)	Дата/ время
Характеристики облачности	Числовой
Порыв ветра, максимальный	Числовой
Направление ветра (град)	Числовой
Скорость ветра (м/с)	Числовой

**Основные результаты и их обсуждение.** Опасность пыльной бури для разных районов бывает различной в зависимости от скорости ветра и продолжительности явления или изменения видимости во время его действия.

К опасным явлениям относятся пыльные бури продолжительностью 3-12 часов, при скорости ветра 10-14 м/сек и метеорологической дальности видимости 500-1000 м. К особо опасным пыльным бурям отнесены бури продолжительностью более 3 час и более, при скорости ветра 15 м/сек и выше, или бури независимо от продолжительности и скорости ветра при метеорологической дальности видимости менее 500 м [Постановление ..., 2021].

Анализ полученных данных позволил установить неравномерность распределения пыльных бурь как в пространстве, так и во времени (рис.1). Всего за период 2010-2021 гг.

на метеостанциях Каракалпакстана зафиксировано 442 дня с пыльными бурями. День с пыльной бурей означает такой день, когда пыльная буря была зарегистрирована хотя бы одной станцией. Среднее суммарное число бурь за год по всему региону равно 37 дней в год, а для отдельных станций станции колеблется от единичных случаев до десятка.



**Рис. 1. Динамика суммарного числа дней с пыльной бурей и среднего числа дней с атмосферной засухой на метеорологических станциях Каракалпакстана за 2010-2021 гг.**

**Fig. 1. Dynamics of the total number of days with a dust storm and the average number of days with atmospheric drought at the meteorological stations of Karakalpakstan for 2010-2021**

Максимальное суммарное число дней с пыльными бурями зафиксировано в 2021 г. – 66 дней. В 2010 г. и 2012 г. число дней с пыльными бурями было высокое – 54 дней и 50 дней, соответственно.

На рисунке 1 также представлен график изменения среднего количества дней с атмосферной засухой (АЗ), который характеризует степень засушливости того или иного года. Показателем атмосферной засухи, для которой характерны высокие температуры и пониженная влажность, является дневной дефицит влажности воздуха ( $d$ ). В Узбекистане, в качестве критерия атмосферной засухи принято «число дней с  $d \geq 50$  гПа».

Среднее количество дней с атмосферной засухой для каждого года было определено по данным Узгидромета, опубликованным в Государственном кадастре зон повышенной природной опасности [Государственный..., 2005-2017] (далее кадастр) для станций Чимбай, Нукус, Жаслык. Согласно данным кадастра, среднее количество дней с атмосферной засухой для этих станций за весь период метеорологических наблюдений равно 20,4 дней, данные за период 2010-2021 гг. превышают это значение. Максимальное среднее количество дней с атмосферной засухой наблюдалось в 2021 г. и достигло 68 дней, в 2010 и 2012 гг. это значение составило 44 дня. Как следует из рисунка 1, количество суммарных дней с пыльными бурями напрямую зависит от засушливости года.

Анализ пространственного распределения суммарного числа дней с пыльной бурей показывает районы, в которых наблюдается повышенная частота возникновения пыльных бурь – МС Жаслык, МС Чимбай, МС Тахтакупыр и МС Каракалпакия, на долю которых приходится 80,8% от общего количества дней с пыльными бурями в регионе. Максимальное число пыльных бурь наблюдалась: в 2010 г. на МС Тахтакупыр (21) и МС Чимбай (12), в 2014 г. на МС Жаслык (18), в 2021 г. на МС Каракалпакия (17).

Важной характеристикой пыльных бурь является продолжительность событий. Суммарная продолжительность пыльных бурь на 9-ти станциях составила 1614 часов. Общая картина пространственно-временного распределения длительности пыльных бурь согласуется с информацией, представленной на рисунке 1, однако, наблюдаются некоторые различия. Максимальная суммарная продолжительность пыльных бурь по всем станциям наблюдалась в 2021 г. (253 час), в 2018 г. (197 час), в 2012 г. (187 час), в 2011 г. (172 час). На метеостанции Жаслык (363 час), Тахтакупыр (509 час), Чимбай (379 час), Каракалпакия (128 час) приходится 77,5% от общей длительности пыльных бурь.

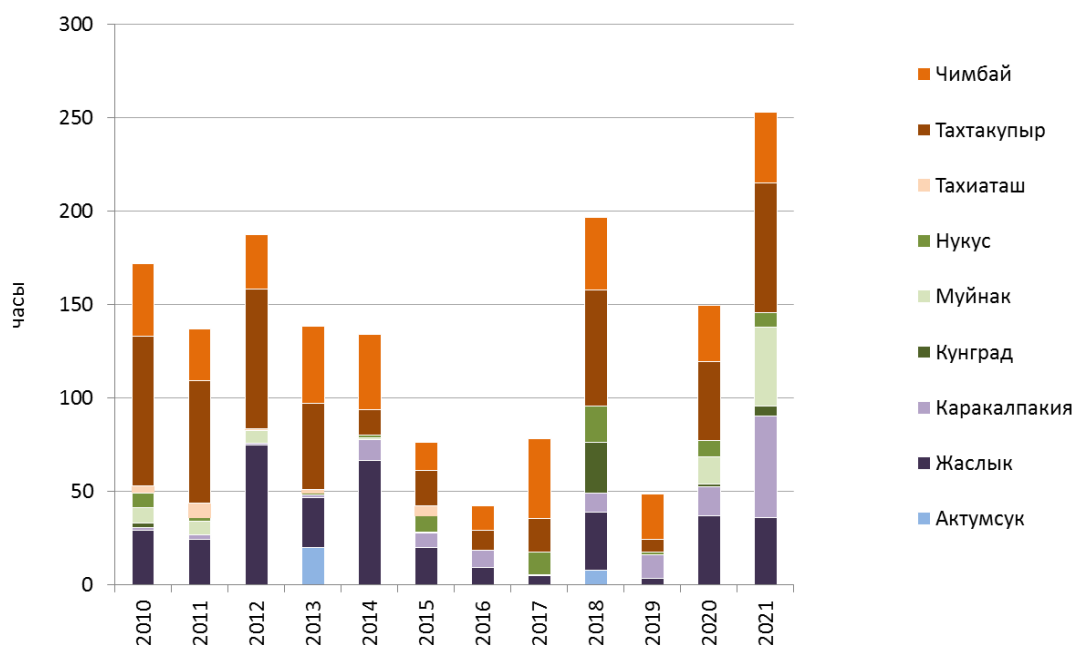


Рис. 2 Динамика общей продолжительности пыльных бурь за 2010-2021 гг. на метеостанциях Каракалпакстана

Fig. 2 Dynamics of the total duration of the dust storms at the meteorological stations of Karakalpakstan for 2010-2021

В таблице 2 представлены годы с максимальной продолжительностью пыльных бурь для каждой станции.

В процессе исследования проведен анализ повторяемости пыльных бурь различной продолжительности с разбивкой по пяти градациям с трехчасовым интервалом – пыльные бури длительностью: 1) менее одного часа, 2) 1-3 часа, 3) 3-6 часов, 4) 6-12 часов, 5) более 12 часов.

Короткие пыльные бури, которые длятся менее одного часа, составляют 19%, две трети событий приходится на пыльные бури длительностью 1-3 часа (28%) и 3-6 часов (34%). Пыльные бури с длительностью 6-12 часов составляют 17%, а длительные пыльные бури, продолжавшиеся более 12 часов – 2%.

На рисунке 3б для метеостанций Каракалпакстана показаны характерные по продолжительности пыльные бури в процентном соотношении.

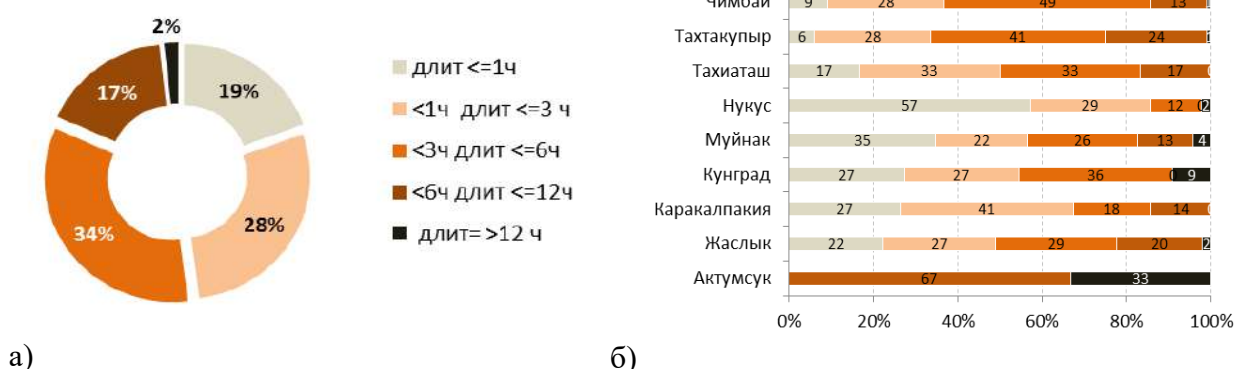
На метеостанциях с самой высокой пылевой активностью – МС Тахтакупыр и МС Чимбай преобладают пыльные бури длительностью более 3 часов, на МС Жаслык повторяемость пыльных бурь разных градаций, кроме самых длительных, примерно одинаковая. Для МС Нукус характерно появление коротких пыльных бурь длительностью менее 3 часов – 86%, на МС Каракалпакия – 68%.

**Таблица 2**  
**Максимальная продолжительность пыльных бурь за год для каждой метеорологической станции Каракалпакстана**

**Table 2**

**Maximum of dust storms duration per year for each meteorostation of the Karakalpakstan**

Продолжительность	Актумсук	Жаслык	Каракалпакия	Кунград	Муйнак	Нукус	Тахиаташ	Тахтакупыр	Чимбай
Годы	2013	2012	2021	2018	2021	2018	2011	2010	2017
Количество часов в год	20,2	75,0	54,4	27,5	42,0	19,3	7,8	79,7	42,7
Годы	2013	2014	2021	2018	2021	2017	2011	2010	2010
Число дней в год	2	18	17	4	7	6	2	21	12



а)

б)

**Рис. 3. Доля пыльных бурь различной продолжительности в целом по Каракалпакстану (а) и на метеостанциях (б) за 2010-2021 гг.**

**Fig. 3. The share of dust storms of different duration in Karakalpakstan as a whole (a) and at meteorological stations (b) for 2010-2021**

Самые длительные пыльные бури зафиксированы 5 мая 2013 года, 27 мая 2018 года, 24 мая 2020 года. Крупномасштабная пыльная буря 27 мая 2018 года, наблюдалась на МС Нукус в течении 17,5 час., МС Тахтакупыр – 21,33 час., МС Чимбай – 17,1 час., МС Кунград – 12 час.

Пыльная буря 24 марта 2020 года длилась на МС Жаслык – 15,6 час., на МС Муйнак – 14,4 час. На МС Актумсук продолжительность пыльной бури 5 апреля 2013 года составила 12,3 час.

На рисунке 4 представлены результаты анализа годового хода повторяемости пыльных бурь. Годовой ход определен на основе двух месячных показателей: суммарного числа дней с пыльными бурями (дни/месяц) и суммарной продолжительности явления (часы/месяц). На гистограммах годового хода получена детальная картина поведения этих характеристик для отдельных станций, причем суммарное число дней содержит информацию о том, какие по продолжительности пыльные бури характерны для данного месяца. Это позволяет оценить причину расхождения между значениями по числу дней и

по продолжительности пыльных бурь. Для метеостанций Актумсук, Кунград и Тахиаташ годовой ход не показан, так как из-за небольшого количества событий он является ненадежным.

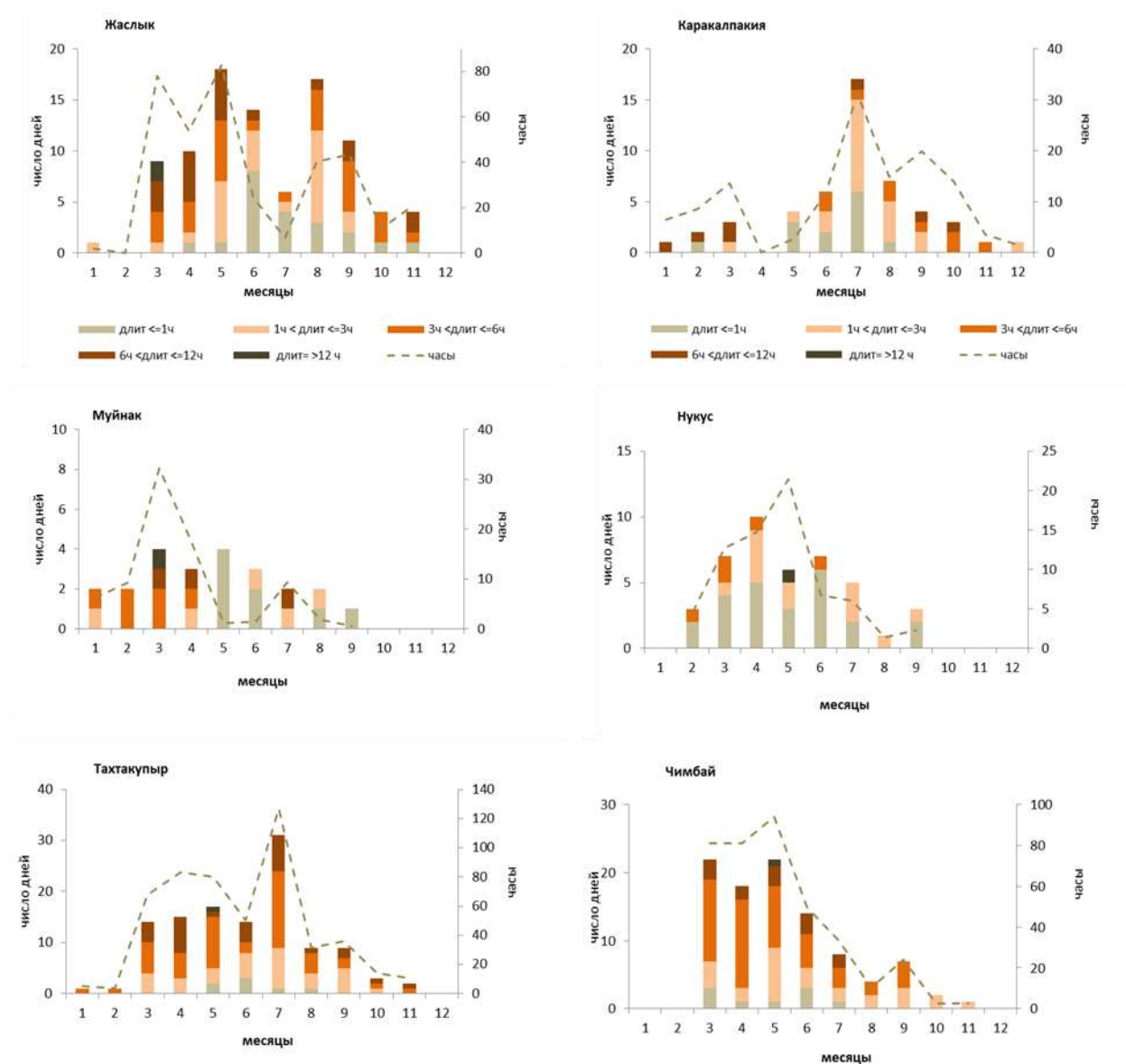


Рис. 4. Годовой ход повторяемости пыльных бурь на метеостанциях Каракалпакстана

Fig. 4. Annual recurrence of dust storms at meteorological stations of the Karakalpakstan

На МС Жаслык отмечены два максимума – весенний и осенний. Весной пыльные бури продолжаются более 3-х часов, в июне-июле возрастает повторяемость кратковременных пыльных бурь, а в августе-сентябре продолжительность пыльных бурь возрастает. Для МС Каракалпакия, годовой ход числа дней и продолжительности пыльных бурь в основном совпадают, но в сентябре наблюдается активность более долгих по времени пыльных бурь. На этой метеостанции пыльные бури появляются в течении всего года, пик активности приходится на июнь-август, в данный период фиксируется более 60% всех пыльных бурь года. На МС Муйнак наиболее активными месяцами являются март и апрель, для которых характерны пыльные бури длительностью более

3-х часов. Май и июнь отмечены кратковременными пыльными бурями. На МС Нукус максимум числа пыльных бурь проявляется в весенние месяцы, в течение всего года преобладают кратковременные пыльные бури. На МС Тахтакупыр максимум приходится на июль, на МС Чимбай – на март-май.

**Выводы.** Анализ данных наземных наблюдений пыльных бурь за период 2010-2021 гг. в Каракалпакстане позволил выявить следующие особенности.

1. Распределение пыльных бурь неравномерно как в пространстве, так и во времени. Повышенная частота возникновения явления наблюдается на метеостанциях Жаслык, Чимбай, Тахтакупыр и Каракалпакия, на долю которых приходится 80,8% от общего количества дней в регионе. На метеостанциях Актумсук, Тахиаташ и Кунград количество дней с пыльными бурями незначительно – 3, 6, 11 дней, соответственно.

2. На долю пыльных бурь, длительность которых более 6 часов приходится 19% от общего количества. На метеостанциях Тахтакупыр и Жаслык их доля составляет 20-24%, на метеостанциях Муйнак, Чимбай, Каракалпакия - 13-14%.

3. На метеостанциях Муйнак, Нукус, Чимбай пик активности явления выражен в весенние месяцы, на метеостанциях Тахтакупыр и Каракалпакия максимум пыльных бурь наблюдается в июле. На метеостанции Жаслык высокая повторяемость пыльных бурь приходится на весенние месяцы и август-сентябрь.

Из вышесказанного следует, что в дальнейших исследованиях для выявления причин особенностей возникновения пыльных бурь на отдельных станциях:

- необходимо уделить внимание изучению ветровых характеристик;
- определить расположение очагов возникновения продолжительных пыльных бурь;
- оценить пространственные масштабы явлений, используя данные наземных и спутниковых наблюдений;
- целесообразно рассмотреть особенности синоптических процессов, при которых возникают пыльные бури за исследуемый период.

**Благодарности.** Настоящее исследование выполнена в рамках прикладного проекта АЛ-5721122055 “Разработка технологии системы мониторинга пыльных бурь с использованием наземных и спутниковых данных”, финансируемого Министерством инновационного развития Республики Узбекистан.

**Вклад авторов.** **Л.Ю. Шардакова:** методология, расчеты, написание текста. **А.Р. Ахмедова:** сбор данных, создание базы данных, обработка данных, систематизация материала, анализ. **Н.И. Рахматова:** написание текста, визуализация данных, расчеты. **Б.Э. Нишонов:** постановка задачи, общее руководство, редактирование текста. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией статьи.

## ЛИТЕРАТУРА

*Вейсов С.К., Карибаева К.Н., Николаев Н.В., Исаходжаев Р.С., Бекмухамедов Н.Э.* Ситуационный анализ песчаных и пыльных бурь в Центральной Азии. Алматы, 2021. – 74 с.

Государственный кадастр зон повышенной природной опасности. Часть: Зоны повышенной опасности гидрометеорологических явлений (Ежегодное издание). Часть I (2010-2021 гг.). Узгидромет, Ташкент.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Часть 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 106 с.

Национальный план действий по предупреждению и смягчению последствий песчаных и пыльных бурь в Республике Узбекистан на 2021-2024 годы. Ташкент, 2021. – 51 с.

Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №501 от 06.08.2021 г. «Об утверждении Регламента оказания специализированных услуг в области гидрометеорологии и

мониторинга загрязнения окружающей природной среды». Приложение 4а. Примерный список опасных метеорологических явлений. Приложение 4б. Примерный список особо опасных метеорологических явлений.

Региональная среднесрочная стратегия по управлению песчаными и пыльными бурями в Центральной Азии на 2021-2030 гг. Алматы, 2021. – 66 с.

Middleton N.J. Desert dust hazards: A global review // Aeolian Research. 2017. Т. 24. – С. 53-63.

Электронный ресурс:

<https://carececo.org/main/news/pod-sloem-pyli-i-peska>

## ОРОЛБЎЙИ МИНТАҚАСИДА 2010-2021 ЙИЛЛАРДА ЧАНГ БЎРОНЛАРИНИНГ ХУДУД ВА ВАҚТ БЎЙИЧА ТАҲЛИЛИ

Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>, А.Р. АХМЕДОВА<sup>2</sup>, Н.И. РАХМАТОВА<sup>1</sup>,  
Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, lyudmila.shardakova@gmail.com, natella.rakhmatova@gmail.com, bnishonov@mail.ru

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази, a-b-r@bk.ru

**Аннотация.** Чанг бўронлари содир бўлиши билан боғлиқ муаммолар Ўзбекистон, айниқса чанг бўронли кучли шамоллар кўп кузатиладиган ва қуриган Орол денгизи ўрнида янги пайдо бўлган Оролқум чангинг асосий манбаси бўлган шимол-ҳарбий ҳудудлари учун долзарб ҳисобланади. Мақолада Ўзгидрометнинг 2010-2021 йилларда 9 та метеостанцияларида олиб борилган кузатишлар маълумотлари асосида Оролбўйи минтақасида – Қорақалпоғистон ҳудудида содир бўлган чанг бўронларининг статистик характеристикалари таҳлил қилинган. Тадқиқ этилган минтақа ва кузатиш станциялари бўйича чанг бўронларининг ҳудуд ва вақт бўйича тақсимланиши хусусиятлари аниқланган.

**Калит сўзлар:** чанг бўронлари, маълумотлар базаси, такрорланувчанлик, ойлар бўйича тақсимланиши, чанг бўронли кунлар сони, давомийлик, Оролбўйи, Қорақалпоғистон.

## SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF DUST STORMS IN ARAL SEA REGION FOR 2010-2021

L.Yu. SHARDAKOVA<sup>1</sup>, A.R. AKHMEDOVA<sup>2</sup>, N.I. RAKHMATOVA<sup>1</sup>,  
B.E. NISHONOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, lyudmila.shardakova@gmail.com, natella.rakhmatova@gmail.com, bnishonov@mail.ru

<sup>2</sup> Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, a-b-r@bk.ru

**Abstract.** The problems associated with the occurrence of dust storms are actual for Uzbekistan, especially for its north-western territories, where strong winds with dust storms are observed quite often, and the new Aralkum desert, formed on the dried-up bottom of the Aral Sea, has become the main source of dust. In the article, based on a number of ground-based observations at 9 weather stations of the Uzhydromet network for the period 2010-2021, statistical characteristics of dust and sand storms in the Aral Sea region – on the territory of Karakalpakstan are analyzed. The features of the spatial-temporal distribution of dust and sand storms for the studied region and by observation stations are revealed.

**Keywords:** dust storms, databases, repeatability, annual course, number of days with dust storms, duration, Aral Sea region, Karakalpakstan.

**REFERENCES**

*Vejsov S.K., Karibaeva K.N., Nikolaev N.V., Isakhodzhaev R.S., Bekmukhamedov N.E.* Situatsionnyi analiz peschanykh i pylnykh bur v Centralnoi Azii [Situational analysis of sand and dust storms in Central Asia]. Almaty, 2021. – 74 s. (in Russian)

Gosudarstvennyi kadastr zon povyshennoi prirodnoi opasnosti. Chast: Zony povyshennoi opasnosti gidrometeorologicheskikh yavlenii (Ejegovnoe izdanie) [State cadastre of zones of increased natural hazard part: Zones of increased danger of hydrometeorological phenomena (Annual Edition)]. Chast I (2010-2021 gg.), Uzgidromet, Tashkent. (in Russian)

Nastavleniye po gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam [Manual to hydrometeorological stations and posts]. Vyp 2. Chast 1. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 106 s. (in Russian)

Natsionalniy plan deystviy po preduprezhdeniyu i smyagcheniyu posledstviy peschanix i pilnix bur v Respublike Uzbekistan na 2021-2024 godi [National Action Plan for the prevention and mitigation of the consequences of sand and dust storms in the Republic of Uzbekistan for 2021-2024]. – Tashkent, 2021. – 51 s. (in Russian)

Postanovleniye Kabineta Ministrov Respubliki Uzbekistan No. 501 ot 06.08.2021 g. “Ob utverjdenii Reglamenta okazaniya spetsializirovannix uslug v oblasti gidrometeorologii i monitoringa zagryazneniya okrujayushey prirodniy sredi”. Prilojeniyе 4a. Primerniy spisok opasnix meteorologicheskix yavleniy. [Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 501 from 06.08.2021 "On Approval of the Regulations for the Provision of Specialized Services in the Field of Hydrometeorology and Monitoring of Environmental Pollution." Appendix 4a. Exemplary list of dangerous meteorological events. Appendix 4b. Exemplary list of very dangerous meteorological events]. (in Uzbek)

Regionalnaya srednesrochnaya strategiya po upravleniyu peschanimi i pilnimi buryami v Centralnoy Asii na 2021-2030 gg. [Regional Medium-term Strategy for Sand and Dust Storm Management in Central Asia for 2021-2030]. Almaty, 2021. – 66 s. (in Russian)

*Electronic resource:*

<https://carececo.org/main/news/pod-sloem-pyli-i-peska>

