

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

№3

**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**

**№ 3  
2022**

Тошкент

## ТАҲРИР КЕНГАШИ

### Таҳрир кенгаши раиси:

Ҳабибуллаев Шерзод  
Ҳабибуллаҳўжаевич

### Масъул котиб:

Рўзиева Малоҳат Бахтиёровна

### Таҳрир кенгаши аъзолари:

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

## ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

### Бош муҳаррир:

Холматжанов Бахтияр Маҳаматжанович,  
г.ф.д.

### Бош муҳаррир ўринбосари:

Ҳикматов Фазлиддин,  
г.ф.д., проф.

### Таҳрир 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); Гуня Гарри Сергеевич, г.ф.д., проф. (Грузия); Гуцина 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. (Ўзбекистон); Петров Юрий Васильевич, ф.-м.ф.н., проф. (Ўзбекистон); Раҳмонов Комилжон Раджабович, г.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Рафиқов Ваҳоб Асомович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Тилляходжаева Зухраҳон Джаҳангировна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Тлеумуратова Бибигуль Сарибоевна, ф.-м.ф.д. (Ўзбекистон); Тургунов Данияр Маннапжанович, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Умаров Муҳаммад Исмадуллаевич, қ.х.ф.н. (Ўзбекистон); Умирзақов Ғуломжон Ўнғарбоевич, 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 Ҳамракул 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 журналидан олинди”, деб кўрсатилиши шарт. Мақолада келтирилган далиллар ва маълумотлар учун муаллифлар жавобгар. Таҳририят тақриздан ўтмаган мақолаларни қайтариш мажбуриятини олмаган.

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

**Таҳририят манзили:** Ўзбекистон, 100052, Тошкент шаҳри, Юнусобод тумани, Бодомзор йўли 1-тор кўча, 72. Тел.: +998 71 235-87-59; e-mail: is@meteo.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.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 Мадаминович, к.ф.-м.н. (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 Джахангировна, д.ф.г.н. (Узбекистан); Тлеумуратова Бибигуль Сарibaевна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Тургунов Данияр Маннапжанович, д.ф.г.н. (Узбекистан); Умаров Мухаммад Исмагуллаевич, 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: is@meteo.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 Embergenovich 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 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 Akhmatkhonovna 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: is@meteo.uz

# МУНДАРИЖА

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

**Б.М. Холматжанов, Э.И. Абдулахатов**

Ўрта Осиё синоптик жараёнларининг давомийлиги  
ва унинг ўзгариш тамойиллари ..... 8

**Л.М. Карандаева, С.М. Карандаев**

Чирчиқ дарёси ҳавзаси ва унга туташ ҳудудлардаги метеорологик  
станциялар маълумотлари бўйича базавий ва жорий иқлимий  
даврдаги атмосфера ёгинлари таҳлили ..... 30

**К.Р. Рахмонов, Ғ.Ў. Умирзақов, Б.Р. Рапиқов**

Иқлим ўзгаришининг метеорологик курғоқчиликка таъсирини баҳолаш  
(Чирчиқ дарёси ҳавзаси мисолида) ..... 43

## ГИДРОЛОГИЯ

**Б.Е. Аденбаев, С.Б. Калабаев**

Жилтирбас кўлининг гидрографияси, морфометрияси  
ва ҳозирги ҳолати мониторинги ..... 52

**Д.Ў. Ярашев, А.А. Ғафуров, А.А. Ғафуров, Ғ.Ў. Умирзақов**

Қор қоплами мониторинги асосида Писком дарёси  
вегетация даври оқимини прогнозлаш ..... 63

**Б.Э. Нишонов, Ж.К. Махмудов, А.Ж. Мамараймов**

Иқлим ўзгаришининг Оҳангарон дарёси ҳавзасидаги қор қоплами  
динамикасига таъсири ..... 75

## АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

**М.Л. Арушанов, Б.Э. Нишонов, Л.Ю. Шардакова**

AVHRR NOAA маълумотлари асосида чанг бўронлари диагностикаси ..... 83

**Б.Э. Нишонов, И.Р. Разикова, М.Б. Назирқулова**

Норин дарёси суви сифатининг замонавий ҳолати ..... 90

## ШАРҲЛАР

**И.А. Каримов, Б.Э. Нишонов, М.А. Плоцен**

Ўзбекистонда 2021 йилда атмосфера ҳавосининг ифлосланиши  
..... 96

## ЮБИЛЕЙЛАР

Фазлиддин Ҳикматов – 70 ёшда! ..... 102

Михаил Львович Арушанов – 75 ёшда! ..... 105

# СОДЕРЖАНИЕ

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

**Б.М. Холматжанов, Э.И. Абдулахатов**

Продолжительность синоптических процессов Средней Азии  
и тенденции её изменения ..... 8

**Л.М. Карандаева, С.М. Карандаев**

Анализ атмосферных осадков базового и текущего климатических  
периодов по данным метеорологических станций бассейна  
реки Чирчик и сопредельных территорий ..... 30

**К.Р. Рахмонов, Г.У. Умирзаков, Б.Р. Рапиков**

Оценка влияния изменения климата на метеорологическую засуху  
(на примере бассейна реки Чирчик) ..... 43

## ГИДРОЛОГИЯ

**Б.Е. Аденбаев, С.Б. Калабаев**

Гидрография, морфометрия и мониторинг современного состояния  
озера Джылтырбас ..... 52

**Д.У. Ярашев, А.А. Гафуров, А.А. Гафуров, Г.У. Умирзаков**

Прогноз стока реки Пскем на вегетационный период  
на основе мониторинга снежного покрова ..... 63

**Б.Э. Нишонов, Ж.К. Махмудов, А.Ж. Мамараимов**

Влияние изменения климата на динамику снежного покрова  
в бассейне реки Ахангаран ..... 75

## МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**М.Л. Арушанов, Б.Э. Нишонов, Л.Ю. Шардакова**

Диагностика пыльных бурь по данным AVHRR NOAA ..... 83

**Б.Э. Нишонов, И.Р. Разикова, М.Б. Назиркулова**

Современное состояние качества воды реки Нарын ..... 90

## ОБЗОРЫ

**И.А. Каримов, Б.Э. Нишонов, М.А. Плоцен**

Загрязнение атмосферного воздуха в Узбекистане в 2021 году ..... 96

## ЮБИЛЕИ

Фазлиддину Хикматову – 70 лет! ..... 102

Михаилу Львовичу Арушанову – 75 лет! ..... 105

# CONTENTS

## METEOROLOGY

**B.M. Kholmatjanov, E.I. Abdulakhatov**

Duration of Middle Asian synoptic processes  
and its change tendencies ..... 8

**L.M. Karandaeva, S.V. Karandaev**

Analysis of atmospheric precipitation at basic and present climatic periods  
according to the data of meteorological stations of the Chirchik River  
basin and neighboring territories ..... 30

**K.R. Rakhmonov, G.U. Umirzakov, B.R. Rapikov**

Assessment of the impact of climate change on meteorological drought  
(on example of the Chirchik River basin) ..... 43

## HYDROLOGY

**B.E. Adenbayev, S.B. Kalabaev**

Hydrography, morphometry and monitoring of the  
present state of Dzhyltirbas Lake ..... 52

**D.U. Yarashev, A.A. Gafurov, A.A. Gafurov, G.U. Umirzakov**

Forecasting runoff of Pskem River for vegetation period  
based on snow cover monitoring ..... 63

**B.E. Nishonov, J.K. Makhmudov, A.J. Mamaraimov**

Impact of climate change on snow cover dynamics  
in the Akhangaran River basin ..... 75

## ENVIRONMENTAL MONITORING

**M.L. Arushanov, B.E. Nishonov, L.Yu. Shardakova**

Diagnostics of dust storms on the basis of AVHRR NOAA data ..... 83

**B.E. Nishonov, R.I. Razikova, M.B. Nazurkulova**

Current state of Naryn River water quality ..... 90

## REVIEWS

**I.A. Karimov, B.E. Nishonov, M.A. Plotsen**

Air pollution in Uzbekistan in 2021 ..... 96

## ANNIVERSARIES

Fazliddin Khikmatov is 70 Years Old! ..... 102

Mikhail Lvovich Arushanov is 75 Years Old! ..... 105

**МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY**

УДК: 551.509.318

**ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СРЕДНЕЙ АЗИИ  
И ТЕНДЕНЦИИ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ****Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,2\*</sup>, Э.И. АБДУЛАХАТОВ<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, b.xolmatjanov@nuu.uz<sup>2</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, erik\_sen@mail.ru

**Аннотация.** *Исследованы изменения продолжительности синоптических процессов Средней Азии в период 1991-2020 гг. по сравнению с их показателями в период 1961-1990 гг. Анализ трендовых изменений продолжительности синоптических процессов Средней Азии показал, что произошли ряд изменений в их структуре. Продолжительности процессов, входящих в группы южных циклонов и антициклонических синоптических процессов, в период 1991-2020 гг. имели небольшую тенденцию изменения относительно нормы 1961-1990 гг. Продолжительности холодных вторжений с северо-запада и севера, приводящих к существенному понижению температуры воздуха в регионе, во все сезоны года составили стабильно низкие значения от нормы 1961-1990 гг. В холодное полугодие продолжительность западных вторжений оказалась стабильно выше нормы, хотя в годовом расчете процесс имел тенденцию уменьшения. Существенно увеличились продолжительности малоградиентных полей повышенного и пониженного давлений, обуславливающих трансформацию приходящих воздушных масс в среднеазиатский регион в местные воздушные массы.*

**Ключевые слова:** *циркуляция атмосферы, синоптический процесс, продолжительность, климатический период, тренд, тест Манна-Кендаля, Средняя Азия.*

**Введение.** Во второй половине прошлого столетия российскими учеными разработаны две типизации циркуляционных процессов северного полушария. Первая из них принадлежит Г.Я.Вангенгейму [Вангенгейм, 1952], которая была развита М.Х.Байдалом [Байдал, 1961] и А.А.Гирсом [Гирс, 1974]. Вторая типизация была разработана под руководством Б.Л.Дзердзеевского [Дзердзеевский, 1946, 1968]. Эти типизации успешно используются учеными для анализа глобальных и региональных изменений климата, водного и ледового режима, опасных гидрометеорологических явлений в различных территориях [Груза, Ранькова, 1996; Кононова, 2014, 2015, 2016, 2017; Сальников, 2011; Kononova et al., 2014, 2016; Mihael, 2016; Pimankina et al., 2013].

Крупные формы рельефа отдельных физико-географических районов, оказывая сильное влияние на общую циркуляцию атмосферы, порождают различные оттенки региональной циркуляции. Особенности региональной циркуляции атмосферы Средней Азии, определяющие формирование климата и погоды региона с динамической точки зрения, существенно зависят от физико-географических условий данной территории. Формы циркуляции атмосферы над Средней Азией и сопредельными районами разнообразны и имеют определенную изменчивость во времени. Исследование изменений этих форм циркуляции дает возможность выявить циркуляционные причины изменения климата среднеазиатского региона [Инагамова и др., 2002].

В настоящее время классификация синоптических процессов Средней Азии, первоначально состоящая из 11 типов [Синоптические ..., 1957], включает в себя

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

следующие типы: 1 – южнокаспийский циклон, 2 – мургабский циклон, 3 – верхнеамударьинский циклон, 4 – широкий вынос тёплого воздуха, 5 – северо-западное холодное вторжение, 6 – северное холодное вторжение, 7 – волновая деятельность на холодном фронте, 8 – малоподвижный циклон над Средней Азией, 9 – юго-западная периферия антициклона, 9а – юго-восточная периферия антициклона, 9б – южная периферия антициклона, 10 – западное вторжение, 11 – летняя термическая депрессия, 12 – малоградиентное поле повышенного давления, 13 – малоградиентное поле пониженного давления, 14 – западный циклон, 15 – ныряющий циклон [Руководство ..., 1986].

Решение ряда прикладных задач метеорологии, таких как прогнозы погоды различной заблаговременности, исследование причин возникновения опасных гидрометеорологических явлений и оценка изменения климата, тесно связаны с исследованиями таких статистических характеристик типов синоптических процессов Средней Азии, как повторяемость и продолжительность. Результаты исследования этих характеристик за различные периоды приведены в работах В.А.Бугаева, В.А.Джорджио, Т.А.Сарымсакова, Э.С.Ильиной, А.Ю.Турсунова, З.Г.Эмм, М.И.Морозовой, О.И.Чернышевой, Т.А.Войновой, Т.С.Григорьевой, С.И.Инагамовой, Э.С.Казарянц, О.И.Субботиной, С.Г.Чанышевой, Т.М.Чевычаловой, И.С.Кима, Т.М.Мухтарова, Ю.В.Петрова и Б.М.Холматжанова. В этих работах детально исследованы статистические характеристики типов синоптических процессов за периоды 1935-1944, 1944-1962, 1944-1978, 1954-1978, 1961-1990 и 1991-2016 гг.

Последнее тридцатилетие (1991-2020 гг.) выделяется существенным изменением глобального и регионального климата. Учитывая данное обстоятельство, изучение изменений циркуляционных особенностей в качестве одного из основных климатообразующих факторов позволяет оценить изменчивость и колебания климата в среднеазиатском регионе. Сравнительный анализ этих работ показывает, что со временем статистико-стохастические характеристики синоптических процессов существенно меняются. С учетом данного обстоятельства, в настоящей работе выполнен сравнительный анализ динамики продолжительности синоптических процессов Средней Азии по двум базовым климатическим периодам (1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.).

**Целью** работы является исследование изменений продолжительности синоптических процессов в базовом климатическом периоде 1991-2020 гг. относительно базового климатического периода (1961-1990 гг.) и количественная оценка тенденций изменения. **Задача** исследования – дополнение и уточнение результатов, полученных в работах [Холматжанов, 2017, 2019].

**Объектом** исследования является региональная циркуляция атмосферы над Средней Азией, а **предметом** – продолжительность синоптических процессов Средней Азии.

**Исходные данные.** Для выполнения исследования были использованы календари синоптических процессов Средней Азии [Календарь ..., 1993, 2013]. При обработке ежедневных данных календарей учитывались основные типы синоптических процессов (тип, указанный в числителе). Статистико-стохастические характеристики синоптических процессов за базовый климатический период 1961-1990 гг. взяты из монографии [Инагамова и др., 2002].

В работе использованы **методы** статистического, сравнительного и трендового анализа.

Одним из методов анализа изменения суммарной продолжительности типов синоптических процессов является представление их межгодового изменения. В приложении Б представлены межгодовые изменения суммарной продолжительности типов синоптических процессов Средней Азии. Изменения этой характеристики

отображены на графиках отклонения суммарной продолжительности от нормы базового климатического периода (1961-1990 гг.) отдельно для периодов 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. На рисунках представлены линейные тренды отклонений и приводятся их уравнения для обоих климатических периодов, а также, в целях выявления колебаний суммарной продолжительности, отображены линии полиномиальных трендов 3-го порядка.

В качестве критерия оценки значимости линейных трендов предлагается использование отношения трендового приращения к шуму, т.е. стандартному отклонению ( $\sigma$ ):

$$\frac{|\Delta N|}{\sigma} = \frac{|N(t_n) - N(t_i)|}{\sigma}, \quad (1)$$

где,  $N(t_i)$  и  $N(t_n)$  – величины трендов суммарной продолжительности типов синоптических процессов, вычисленные по уравнению линейной регрессии в начальный и конечный моменты ( $t_i$  и  $t_n$ ).

Так называемое отношение тренда к шуму  $|\Delta N|/\sigma$  (где  $\sigma$  используется как количественное выражение шума  $N$ ,  $\frac{|\Delta N|}{\sigma} \equiv \frac{|\Delta N|}{N}$ ), показывает значимость произошедших изменений относительно естественной изменчивости. Если временные ряды данных имели бы Гауссовское (нормальное) распределение, эта простая оценка позволила бы утверждать достоверность значимости изменений. В противном случае, например, в случае с осадками, когда ряды данных не подчиняются Гауссовскому распределению, непараметрический статистический тест Манна-Кендаля является гораздо более адекватным методом, поскольку не требуется ни Гауссовское частотное распределение (непараметрический тест), ни линейность тренда.

В исходном виде значение теста определяется следующим выражением:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(a_j - a_i)}{\frac{1}{2}n(n-1)} = \frac{\sigma}{\frac{1}{2}n(n-1)}, \quad (2)$$

где,  $n$  – длина ряда данных,  $a_i$  и  $a_j$  – все возможные пары данных временного ряда, просуммированные для условия  $i < j$  (в ряду данных с длиной  $n$  имеются  $\frac{1}{2}n(n-1)$  пар).

При  $n > 10$  значение теста  $Q_s$  приблизительно соответствует Гауссовскому распределению со средним значением  $\mu=0$  и дисперсией:

$$d = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}. \quad (3)$$

Тогда, окончательное выражение значения стандартизованного теста будет записан в следующем виде:

$$Q = \frac{Q_s - \mu}{\sqrt{d}} = \frac{\sigma}{\sqrt{\frac{1}{18}n(n-1)(2n+5)}}. \quad (4)$$

Кендаль изменил это выражение для случая возможных идентичных временных рядов и предложил выражение [Kendall, 1975]:

$$Q = \frac{\sigma}{\sqrt{\frac{1}{18} \left[ n(n-2)(2n+5) - \sum_i x_i(x_i-2)(2x_i+5) \right]}} \quad (5)$$

где,  $x_i$  – количество идентичных значений в ряду данных (для каждого значения).

Уровни значимости трендовых изменений, соответствующие значениям непараметрического статистического теста Манна-Кендаля, приведены в таблице 1.

Данная методика применена для оценки изменчивости суммарной продолжительности типов синоптических процессов. При этом, имея в виду, что продолжительность типов 3, 4, 8, 11, 14 и 15 незначительна, оценка трендовых изменений для них не производилась.

Таблица 1

Уровни значимости (SL) и вероятности ошибок (a) для непараметрического статистического теста Манна-Кендаля

Table 1

Significance levels (SL) and error probabilities (a) for the nonparametric statistical Mann-Kendal test

| Q    | SL       | a        | Q      | SL     | a      |
|------|----------|----------|--------|--------|--------|
| >1   | >68,3%   | <0,317   | >1,282 | >80,0% | <0,2   |
| >1,5 | >86,6%   | <0,134   | >1,645 | >90,0% | <0,1   |
| >2   | >95,4%   | <0,046   | >1,960 | >95,0% | <0,05  |
| >3   | >99,7%   | <0,003   | >2,576 | >99,0% | <0,01  |
| >4   | >99,999% | <0,00001 | >3,290 | >99,9% | <0,001 |

**Основные результаты и их обсуждение.** Показатели суммарной продолжительности типов синоптических процессов за холодное и тёплое полугодия, и за год в целом, дают отчетливое представление о динамике формирования климата Средней Азии (табл. 2, приложение А).

Таблица 2

Средняя суммарная продолжительность синоптических процессов Средней Азии (число дней)

Table 2

Average total duration of synoptic processes of Middle Asia (number of days)

| Период | Типы синоптических процессов |      |      |     |     |      |      |      |      |      |     |      |      |     |      | Σ    |     |     |       |
|--------|------------------------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|-------|
|        | 1                            | 2    | 3    | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    | 9a   | 9б  | 10   | 11   | 12  | 13   |      | 14  | 15  |       |
| ХП     | 1961-1990                    | 14,7 | 10,5 | 1,7 | 3,6 | 14,1 | 4,1  | 12,7 | 9,8  | 44,3 | 2,8 | 17,7 | 25,5 | 0,0 | 10,6 | 5,9  | 3,1 | 0,1 | 181,2 |
|        | 1991-2020                    | 14,5 | 9,9  | 1,2 | 0,2 | 7,2  | 1,8  | 8,4  | 5,5  | 37,9 | 2,9 | 17,9 | 26,8 | 0,0 | 31,9 | 13,5 | 1,6 | 0,0 | 181,3 |
| ТП     | 1961-1990                    | 2,7  | 1,1  | 0,1 | 0,7 | 20,2 | 11,5 | 2,9  | 8,8  | 18,9 | 5,6 | 16,8 | 38,0 | 4,0 | 19,8 | 32,6 | 0,3 | 0,0 | 184,0 |
|        | 1991-2020                    | 1,9  | 1,0  | 0,1 | 0,3 | 9,0  | 2,6  | 1,3  | 5,2  | 14,3 | 6,9 | 15,4 | 28,8 | 2,2 | 29,7 | 64,6 | 0,6 | 0,0 | 184,0 |
| Год    | 1961-1990                    | 17,4 | 11,6 | 1,8 | 4,3 | 34,3 | 15,6 | 15,6 | 18,6 | 63,2 | 8,4 | 34,5 | 63,5 | 4,0 | 30,4 | 38,5 | 3,4 | 0,1 | 365,2 |
|        | 1991-2020                    | 16,4 | 10,8 | 1,4 | 0,5 | 16,1 | 4,5  | 9,7  | 10,7 | 52,2 | 9,9 | 33,3 | 55,6 | 2,2 | 61,7 | 78,2 | 2,2 | 0,0 | 365,3 |

*Примечание.* ХП – холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП – теплое полугодие (май-октябрь).

*Note.* ХП – cold half-year (November-April), ТП – warm half-year (May-October).

В холодное полугодие периода 1961-1990 гг. над среднеазиатском регионом в среднем наблюдалась наибольшая суммарная продолжительность антициклонических ситуаций (64,8 суток или 35,8%). Холодные вторжения (типы 5, 6 и 10) занимали 43,7 суток (24,1%). За ними следуют южные циклоны, суммарная продолжительность

которых составляла 26,9 суток или 14,8%. Малоградиентные поля повышенного и пониженного давления имели в этот период суммарную продолжительность 16,5 суток, что составляло 9,1% от продолжительности холодного полугодия. Волновая деятельность на холодном фронте и малоподвижный циклон имели суммарную продолжительность 12,7 суток (7,0%) и 9,8 суток (5,4%), соответственно. Остальные типы синоптических процессов имели продолжительность менее 4 суток.

В холодное полугодие периода 1991-2020 гг. произошли значительные изменения в структуре этого показателя. Суммарная продолжительность антициклонических процессов немного снизилась (58,7 суток или 32,4%). Изменения суммарной продолжительности южных циклонов также невелики. Значительно уменьшилась суммарная продолжительность холодных вторжений, составляя 35,8 суток (19,8%). Решающую роль в этом сыграли северо-западные и северные вторжения, суммарная продолжительность которых уменьшилась в два и более раз. Самые значимые (почти трёхкратные) изменения произошли в суммарной продолжительности типов 12 и 13, которая увеличилась до 45,4 суток (25,1%).

В тёплое полугодие периода 1961-1990 гг. характер синоптических процессов существенно меняется. Суммарная продолжительность циклонической деятельности уменьшилась до 3,9 суток или 2,1%. Наибольшую долю приходилась холодным вторжениям, которые летом имели большую повторяемость. Благодаря этому они занимали 37,9% дней тёплого полугодия. Второе место по суммарной продолжительности занимали малоградиентные поля повышенного и пониженного давления (28,5%), далее следовали антициклонические ситуации (22,4%) и т.д.

В тёплое полугодие периода 1991-2020 гг., также как в холодное полугодие, происходили существенные изменения. Тогда как суммарные продолжительности южных циклонов и антициклонических процессов уменьшились незначительно, основные значимые изменения произошли в структуре холодных вторжений и малоградиентных барических полей. Если суммарная продолжительность холодных вторжений в этом полугодии уменьшилась до 40,4 суток (22,0%), то для малоградиентных полей повышенного и пониженного давления она увеличилась почти в два раза (94,3 суток или 51,3%). В этот период последние стали преобладающими типами процессов в тёплое полугодие.

В результате описанных изменений основной сдвиг суммарной продолжительности в целом за год произошёл от холодных вторжений (113,4 суток в период 1961-1990 гг., 76,2 суток – в период 1991-2020 гг.) в сторону малоградиентных полей повышенного и пониженного давления (68,8 и 139,7 суток, соответственно).

Следует отметить, что вышеизложенные характеристики продолжительности синоптических процессов Средней Азии, являясь осредненными за достаточно большой период времени, не дают представления об их динамике во времени.

Межгодовые изменения продолжительности южнокаспийского и мургабского циклонов имеют противоположные знаки, как в 1961-1990 гг., так и в 1991-2020 гг. (рис. Б.1-Б.2, прил. В и Г). В период 1961-1990 гг. тренды не выражаются большими изменениями. Так, для южнокаспийского циклона тренды продолжительности имеют тенденции к уменьшению, а значения уровня значимости составляют в холодное полугодие – 0,53, в тёплое – 0,12 и в целом за год – 0,53, т.е. оцениваются как очень низкие. Если для мургабского циклона в холодное полугодие тренд имеет тенденцию к уменьшению, а уровень значимости изменений оценивается как низкий (1,07), то в тёплое полугодие и в целом за год тренды имеют тенденцию к увеличению продолжительности. При этом значимость изменений оценивается как очень низкая (холодное полугодие – 0,25, год – 0,98) (прил. В). В период 1991-2020 гг. тренды изменения продолжительности для этих типов меняют свои знаки (прил. Г). Критерии значимости для южнокаспийского

циклона лежат в пределах 0,01-1,50, т.е. имеют очень низкий и низкий уровни значимости. Если для мургабского циклона уровень значимости изменений продолжительности в тёплое полугодие имеет значение 0,0 (очень низкий), то в холодное полугодие и в целом за год значимость составляет соответственно 2,40 и 2,25 (высокий).

В целях оценки изменения продолжительности группы южных циклонов (типы 1, 2 и 3), рассмотрим тенденции изменения их суммарной продолжительности в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. (табл. 3 и 4).

Таблица 3

**Характеристики тенденций изменения суммарной продолжительности групп типов синоптических процессов Средней Азии (1961–1990 гг.)**

Table 3

**Characteristics of total duration trends of groups of types of synoptic processes of Middle Asia (1961–1990)**

| Тип     | Сезон | Уравнение тренда                 | Трендовое приращение, $\Delta N$ (сутки) | Стандартное отклонение, $\sigma$ | Q    | SL, % |
|---------|-------|----------------------------------|--|----------------------------------|------|-------|
| 1+2+3   | ХП    | $\Delta N_1 = 0,0732t - 144,7$   | 2,1                                      | 8,37                             | 0,25 | <68,3 |
|         | ТП    | $\Delta N_1 = -0,019t + 37,9$    | -0,6                                     | 2,40                             | 0,23 | <68,3 |
|         | Год   | $\Delta N_1 = 0,0541t - 106,8$   | 1,6                                      | 8,52                             | 0,18 | <68,3 |
| 5+6+7   | ХП    | $\Delta N_1 = -1,1444t + 2260,8$ | -33,2                                    | 13,17                            | 2,52 | >95,4 |
|         | ТП    | $\Delta N_1 = -1,5488t + 3059,7$ | -44,9                                    | 16,50                            | 2,72 | >99,0 |
|         | Год   | $\Delta N_1 = -2,6933t + 5320,6$ | -78,1                                    | 26,50                            | 2,95 | >99,0 |
| 9+9a+9б | ХП    | $\Delta N_1 = 0,6439t - 1272,1$  | 18,7                                     | 9,85                             | 1,90 | >90,0 |
|         | ТП    | $\Delta N_1 = 0,2611t - 515,85$  | 7,6                                      | 9,42                             | 0,80 | <68,3 |
|         | Год   | $\Delta N_1 = 0,9051t - 1787,9$  | 26,2                                     | 16,93                            | 1,55 | >86,6 |
| 10      | ХП    | $\Delta N_1 = -0,3377t + 667,14$ | -9,8                                     | 8,52                             | 1,15 | >68,3 |
|         | ТП    | $\Delta N_1 = -0,2046t + 404,22$ | -5,9                                     | 10,88                            | 0,55 | <68,3 |
|         | Год   | $\Delta N_1 = -0,5423t + 1071,4$ | -15,7                                    | 15,85                            | 0,99 | <68,3 |
| 12+13   | ХП    | $\Delta N_1 = 0,9492t - 1875,2$  | 27,5                                     | 10,62                            | 2,59 | >99,0 |
|         | ТП    | $\Delta N_1 = 1,8125t - 3580,6$  | 52,6                                     | 19,93                            | 2,64 | >99,0 |
|         | Год   | $\Delta N_1 = 2,7617t - 5455,8$  | 80,1                                     | 28,46                            | 2,81 | >99,0 |

В период 1961-1990 гг. изменение суммарной продолжительности типов данной группы имело очень низкий уровень значимости (от 0,18 в годовом расчете до 0,25 в холодное полугодие). При этом в тёплое полугодие наблюдалось незначительное уменьшение, а в холодное полугодие, и, как итог, в целом за год – увеличение суммарной продолжительности (табл. 3). В период 1991-2020 гг. все тренды имеют тенденцию к уменьшению. Значимости изменений имеют низкий уровни для холодного (0,83), тёплого (0,21) полугодий и за год (0,78) (табл. 4). Хотя суммарная продолжительность группы южных циклонов в период 1991-2020 гг. оставалась немного ниже нормы 1961-1990 гг., необходимо отметить, что полиномиальные тренды указывают на устойчивое увеличение продолжительности в последние несколько лет (рис. 1). Анализ показывает, что данное обстоятельство связано с изменениями продолжительности южнокаспийского циклона.

Рассмотрим изменения продолжительности северо-западного и северного холодных вторжений (типы 5 и 6) и тесно связанной с ними волновой деятельности на холодном фронте (тип 7) в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. (рис. Б.3-Б.5, прил. В и Г).

Таблица 4

Характеристики тенденций изменения суммарной продолжительности групп типов синоптических процессов Средней Азии (1991–2020 гг.)

Table 4

Characteristics of total duration trends of groups of types of synoptic processes of Middle Asia (1991–2020)

| Тип     | Сезон | Уравнение тренда                  | Трендовое приращение, $\Delta N$ (сутки) | Стандартное отклонение, $\sigma$ | Q    | SL, % |
|---------|-------|-----------------------------------|--|----------------------------------|------|-------|
| 1+2+3   | ХП    | $\Delta N_2 = -0,0172t + 33,35$   | -7,5                                     | 9,07                             | 0,83 | <68,3 |
|         | ТП    | $\Delta N_2 = -0,2571t + 513,67$  | -0,5                                     | 2,33                             | 0,21 | <68,3 |
|         | Год   | $\Delta N_2 = -0,2744t + 547,02$  | -8,0                                     | 10,26                            | 0,78 | <68,3 |
| 5+6+7   | ХП    | $\Delta N_2 = -0,3842t + 757,0$   | -11,1                                    | 7,94                             | 1,40 | >68,3 |
|         | ТП    | $\Delta N_2 = -0,2740t + 527,6$   | -7,9                                     | 7,69                             | 1,03 | >68,3 |
|         | Год   | $\Delta N_2 = -0,6582t + 1284,6$  | -19,1                                    | 10,93                            | 1,75 | >86,6 |
| 9+9a+9b | ХП    | $\Delta N_2 = -1,0977t + 2194,7$  | -31,8                                    | 16,38                            | 1,94 | >86,6 |
|         | ТП    | $\Delta N_2 = -0,9620t + 1924,4$  | -27,9                                    | 14,94                            | 1,87 | >86,6 |
|         | Год   | $\Delta N_2 = -2,0596t + 4119,1$  | -59,7                                    | 27,49                            | 2,17 | >95,4 |
| 10      | ХП    | $\Delta N_2 = 0,2924t - 584,66$   | 8,5                                      | 6,71                             | 1,26 | >68,3 |
|         | ТП    | $\Delta N_2 = -0,5948t + 1184,09$ | -17,5                                    | 8,82                             | 1,96 | >86,6 |
|         | Год   | $\Delta N_2 = -0,3024t + 599,43$  | -8,8                                     | 11,16                            | 0,79 | <68,3 |
| 12+13   | ХП    | $\Delta N_2 = 1,7007t - 3381,83$  | 49,3                                     | 19,21                            | 2,57 | >95,4 |
|         | ТП    | $\Delta N_2 = 2,0527t - 4074,6$   | 59,5                                     | 23,12                            | 2,57 | >95,4 |
|         | Год   | $\Delta N_2 = 3,7534t - 7456,43$  | 108,8                                    | 39,11                            | 2,78 | >95,4 |

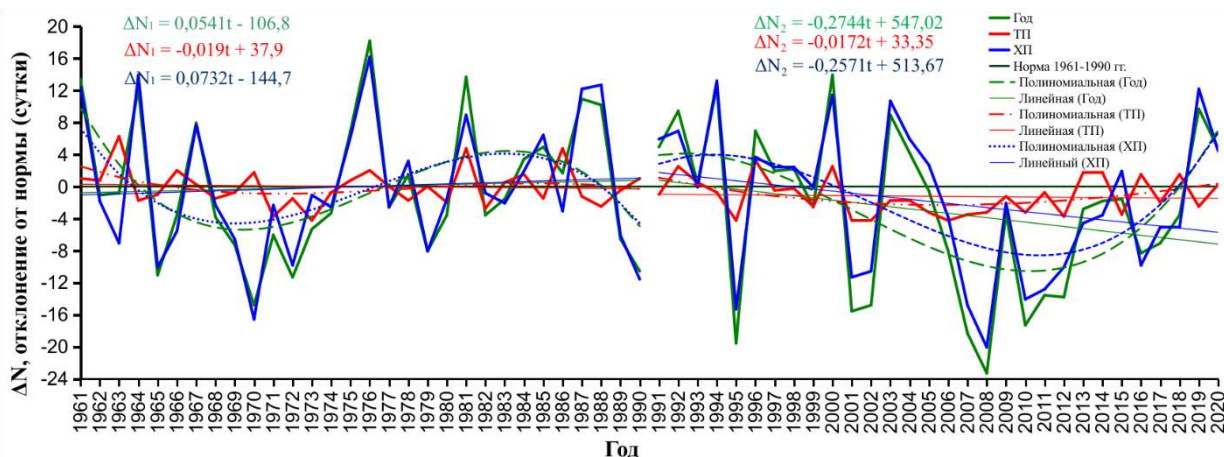


Рис. 1. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) суммарной продолжительности типов 1, 2 и 3 по полугодиям и за год (число суток)

Fig. 1. Deviation from the norm (1961-1990) of the total duration of types 1, 2 and 3 for half-years and for a year (number of days)

В период 1961-1990 гг. продолжительность северо-западного холодного вторжения имела устойчивую тенденцию сильного уменьшения (рис. Б.3). Значимость изменения составляет в холодное полугодие 2,33, в тёплое – 2,28, за год – 2,49, что соответствует высокому уровню изменений. Оставаясь значительно ниже нормы, в холодное полугодие периода 1991-2020 гг. продолжительность данного типа имела слабую тенденцию увеличения (0,32). В тёплое полугодие, и, как следствие, в годовом расчете линейные тренды продолжительности имели тенденцию уменьшения. При этом в тёплое полугодие

значимость изменений составляет 0,69 (очень низкий), а за год 0,31 (очень низкий). Отметим, что полиномиальные тренды за последние несколько лет показывают тенденцию увеличения.

Продолжительность северного холодного вторжения имела аналогичный северо-западному холодному вторжению межгодовой ход изменения (рис. Б.3). В период 1961-1990 гг. наблюдалось устойчивое значительное уменьшение продолжительности во все сезоны (прил. В). Значимости изменения имели в холодное полугодие низкий (1,00), в тёплое полугодие и за год – высокий (2,56 и 2,58) уровни изменения. В период 1991-2020 гг. суммарная продолжительность северного холодного вторжения устойчиво находилась в пределах ниже нормы (рис. Б.4). В холодное полугодие этого периода уменьшение продолжительности сменяется очень слабым увеличением (значимость изменений 0,04). В тёплое полугодие продолжалось уменьшение продолжительности с очень низким уровнем значимости 0,94. В результате указанных изменений в годовом расчете тренды продолжительности северного холодного вторжения имели тенденцию уменьшения (очень низкий уровень значимости – 0,80).

Продолжительность волновой деятельности на холодном фронте в период 1961-1990 гг. имела тенденцию уменьшения во все сезоны и в целом за год (рис. Б.5). Значимость изменений находилась на низком (холодное полугодие и год) и очень низком уровнях (тёплое полугодие). В период 1991-2020 гг. продолжается тенденция заметного уменьшения продолжительности в холодное полугодие и в целом за год. Значения изменений остаются в прежних пределах (прил. Г). Однако, полиномиальные тренды холодного полугодия и годового изменения указывают на сильное уменьшение продолжительности в последнее десятилетие.

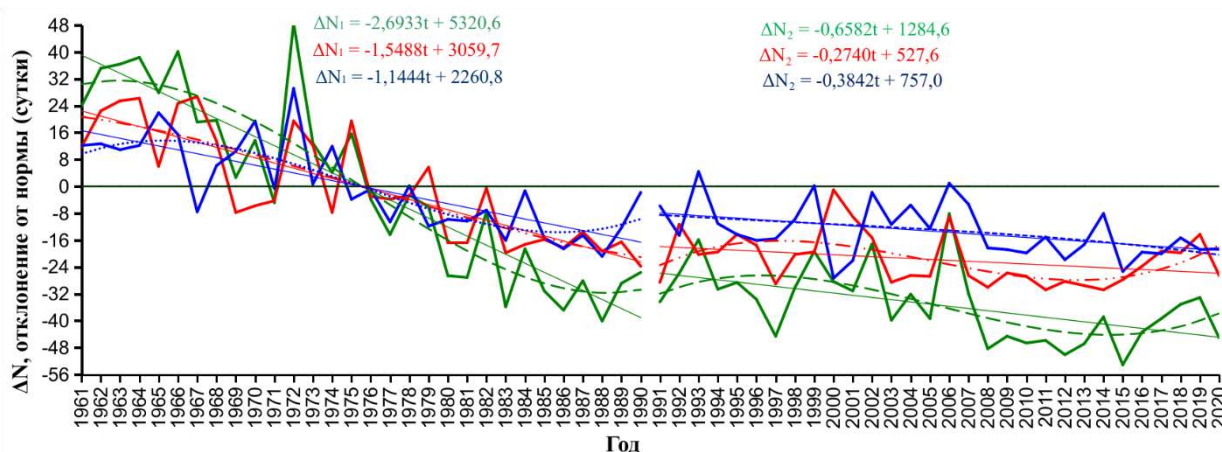
Суммарная продолжительность холодных вторжений и тесно связанной с ними волновой деятельности на холодном фронте имели тенденцию неуклонного уменьшения с самого начала периода 1961-1990 гг. (рис. 2). Середина 70-х годов прошлого столетия оказалась переломной. Это означает, что годовая суммарная продолжительность этих процессов стала меньше нормы периода 1961-1990 гг.

В уменьшении продолжительности процессов этой группы тёплое и холодное полугодия имеют примерно одинаковое значение. Изменения для них показывают очень высокий уровень значимости (табл. 3). В период 1991-2020 гг. сохраняется тенденция уменьшения их суммарной продолжительности. Однако, темпы уменьшения замедляются. В тёплое и холодное полугодия значимости изменений находятся на низком уровне (1,40 и 1,03, соответственно), а в целом за год – на уровне «средний» (табл. 4). Сопоставление полиномиальных трендов этих процессов дает возможность заключить, что в последнее десятилетие продолжается уменьшение продолжительности в каждом полугодиях и за год в целом (рис. 2). В этом процессе значимое место занимает достаточно резкое уменьшение продолжительности волновой деятельности на холодном фронте (рис. Б.5).

Линейные тренды изменения продолжительности малоподвижного циклона над Средней Азией (тип 8) в период 1961-1990 гг. имели тенденцию незначительного уменьшения (рис. Б.6). Значимость изменений для всех сезонов находились на очень низком уровне (0,42, 0,74 и 0,77 в холодное и тёплое полугодия и за год, соответственно) (прил. В). В период 1991-2020 гг. тенденция уменьшения продолжительности ослабляется, а значимость изменений составлял для холодного полугодия очень низкий (0,97) и для тёплого полугодия и за год в целом низкий уровень (1,14 и 1,26, соответственно) (прил. Г).

Рассмотрим межгодовое изменение продолжительности типов, составляющих группу антициклонических процессов над Средней Азией (типы 9, 9а и 9б) в период 1961-1990 гг. Все типы синоптических процессов имели в основном тенденцию увеличения (рис. Б.7-Б.9) с очень низким, низким и средним уровнем значимости. Исключением является значимость изменения типа 9а в холодное полугодие, которое

составлял 1,74 (высокий уровень значимости) (прил. В). В период 1991-2020 гг. знаки изменений сменились противоположно. При этом типы 9а и 9б имеют тенденцию уменьшения с очень низким и низким уровнем изменений в каждые полугодия и за год в целом (от 0,25 до 1,20). Значимость изменения типа 9 в этом периоде оценивается как очень высокий – 2,15, 2,26 и 2,45 в холодное и тёплое полугодие, и, в целом за год, соответственно (прил. Г).



**Рис. 2. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) суммарной продолжительности типов 5, 6 и 7 по полугодиям и за год (число суток)**

*Условные обозначения линий см. на рис. 1.*

**Fig. 2. Deviation from the norm (1961-1990) of the total duration of types 5, 6 and 7 for half-years and for a year (number of days)**

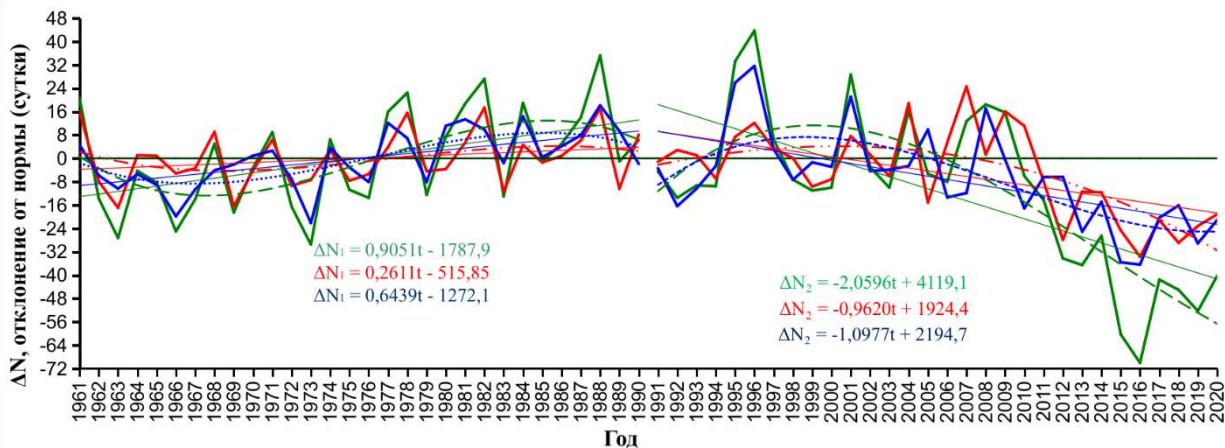
*Symbols of lines see in Fig. 1.*

Как результат изложенных выше изменений межгодовой ход суммарной продолжительности группы антициклонических процессов в период 1961-1990 гг. имела тенденцию увеличения (рис. 3). Значимость изменений для них – очень низкий (0,80) в тёплое полугодие и высокий в холодное полугодие (1,90) и имеет средний уровень (1,55) в целом за год (табл. 3). Произошедшие в период 1991-2020 гг. тенденции уменьшения имели средний и высокий (в тёплое полугодие – 1,94, в холодное полугодие – 1,87 и в целом за год – 2,17) уровни значимости (табл. 4). Полиномиальные тренды показывают, что наиболее значимое уменьшение продолжительности происходило в последнее десятилетие.

Период 1961-1990 гг. характеризовался уменьшением продолжительности западного вторжения (тип 10) во все исследуемые сезоны года (рис. 4). При этом изменения носят низкий и очень низкий характер (в холодное полугодие – 1,15, в тёплое полугодие – 0,55 и в целом за год – 0,99) (табл. 3). В период 1991-2020 гг. в тёплое полугодие и в годовом расчете продолжалось уменьшение продолжительности. Однако, в холодное полугодие наблюдалось увеличение данного показателя и в последние два десятилетия стабильно находилась на уровне выше нормы. Значимость изменений для холодного полугодия составляло 1,26 (низкий), для тёплого полугодия 1,96 (средний) и в целом за год 0,79 (очень низкий).

Самые большие изменения произошли в межгодовом ходе продолжительности малоградиентных полей повышенного (тип 12) и пониженного (тип 13) давления (рис. Б.10-Б.11). Анализ продолжительности процессов этой группы показывает, что происходило неуклонное увеличение продолжительности типа 12 в тёплое и типа 13 в холодное полугодие. Значимости данных изменений находятся в пределах от среднего

до очень высокого уровня, как в 1961-1990 гг., так и в 1991-2020 гг. (прил. В и Г). В результате суммарная продолжительность этой группы процессов, как по полугодиям, так и в целом за год имеет существенные тенденции увеличения (рис. 5). Значимости изменений для исследуемых периодов времени находятся на высоком уровне (табл. 3 и 4).

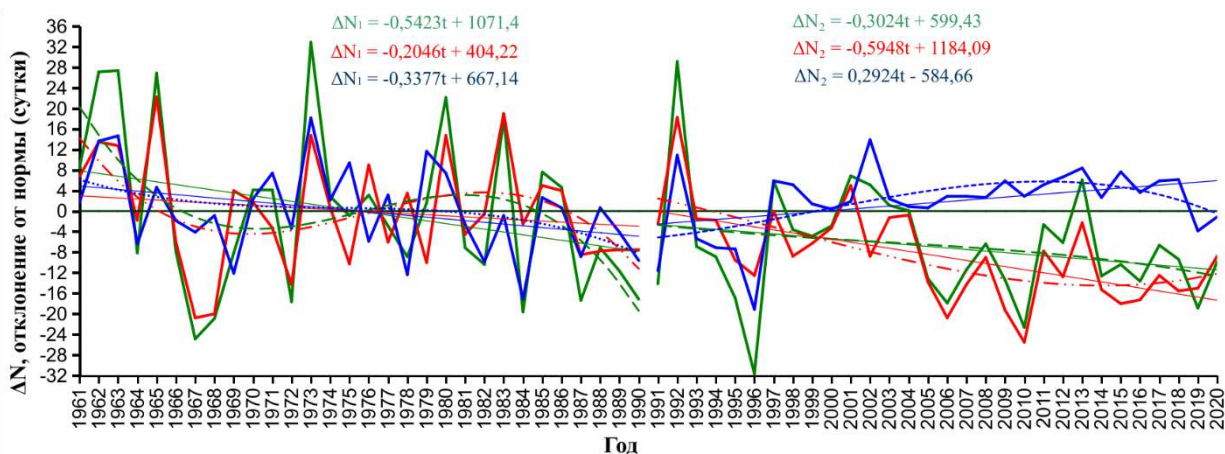


**Рис. 3. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) суммарной продолжительности типов 9, 9а и 9б по полугодиям и за год (число суток)**

*Условные обозначения линий см. на рис. 1.*

**Fig. 3. Deviation from the norm (1961-1990) of the total duration of types 9, 9a and 9b for half-years and for a year (number of days)**

*Symbols of lines see in Fig. 1.*



**Рис. 4. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 10 по полугодиям и за год (число суток).**

*Условные обозначения см. на рис. 1.*

**Fig. 4. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 10 for half-years and for a year (number of days)**

*Symbols of lines see in Fig. 1.*

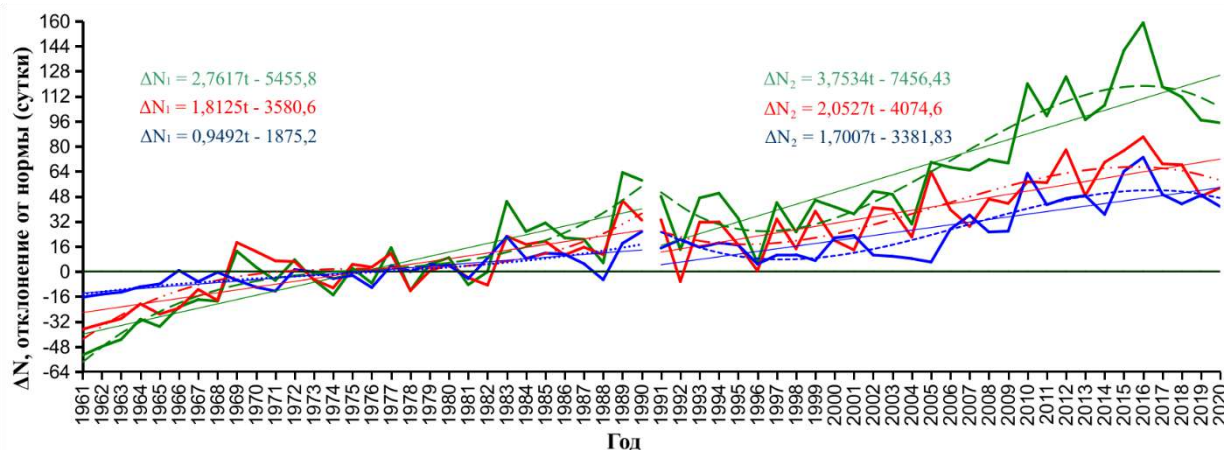


Рис. 5. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) суммарной продолжительности типов 12 и 13 по полугодиям и за год (число суток)

Условные обозначения линий см. на рис. 1.

Fig. 5. Deviation from the norm (1961-1990) of the total duration of types 12 and 13 for half-years and for a year (number of days)

Symbols of lines see in Fig. 1.

**Выводы.** В продолжительностях типов синоптических процессов Средней Азии произошло ряд существенных изменений. В период 1991-2020 гг. продолжительности таких групп типов синоптических процессов, как южные циклоны и антициклонические ситуации не имеют больших изменений относительно нормы. Продолжительности группы типов, связанных с вторжениями холодного воздуха, имея тенденцию слабого уменьшения, устойчиво находятся в пределах ниже нормы базового периода 1961-1990 гг. В годовом расчете продолжительность западного вторжения имеет тенденцию заметного уменьшения. Однако, в холодное полугодие происходит ее увеличение и устойчиво находится выше нормы. И, наконец, происходит устойчивое увеличение продолжительности малоградиентных полей повышенного и пониженного давления.

**Вклад авторов.** **Б.М. Холматжанов:** постановка задачи, проведение расчетов, анализ, проверка, руководство. **Э.И. Абдулахатов:** сбор, обработка данных, систематизация материала, анализ, написание текста. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

Байдал М.Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 211 с.

Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. – 1952. Т. 23. – 314 с.

Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 485 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Климатическая изменчивость повторяемости и продолжительности основных форм циркуляции в умеренных широтах Северного полушария // Метеорология и гидрология, №1. – 1996. – С. 12-22.

Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Труды НИУ Главного управления гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. Вып. 21. – М., Л.: Гидрометеоздат, 1946. – 80 с.

*Дзердзеевский Б.Л.* Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии / Материалы метеорологических исследований. Циркуляция атмосферы. ИГ АН СССР и Междунед. геофиз. комитет при Президиуме АН СССР. – М.: 1968. – 240 с.

*Инагамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т.* Особенности синоптических процессов Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ, 2002. – 486 с.

Календарь типов синоптических процессов Средней Азии / Под ред. С.И. Инагамовой. Вып. 3. – Ташкент: НИГМИ, 1993. – 56 с.

Календарь типов синоптических процессов Средней Азии / Под ред. С.И. Инагамовой. Вып. 4. – Ташкент: НИГМИ, 2013. – 66 с.

*Кононова Н.К.* Влияние циркуляции атмосферы Северного полушария на формирование стихийных бедствий на территории России в XXI веке // *ГеоРиск*, №3, 2014. – С. 22-27.

*Кононова Н.К.* Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате // *Междисциплинарный научный журнал «Сложные системы»*. – Москва: МГУ, №2 (11), 2014. – С. 11-35.

*Кононова Н.К.* Изменения циркуляции атмосферы Северного полушария в XX-XXI столетиях и их последствия для климата // *Фундаментальная и прикладная климатология*, №1. 2015. – С. 127-156.

*Кононова Н.К.* Циркуляционные эпохи в секторах Северного полушария в 1899-2014 гг. // *Геополитика и экогеодинамика регионов*, т. 1 (11), вып. 2. 2015. – С. 56-66.

*Кононова Н. К., Мальнева И. В., Горбунов Р.В.* Циркуляция атмосферы последних лет и сели 2015 года в России и ближнем зарубежье. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита // Материалы IV Международной конференции Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6-10 сентября 2016 г.

*Кононова Н.К.* Флуктуации глобальной циркуляции атмосферы в XX-XXI вв. // *Сложные системы*, №1 (18), 2016. – С. 22-37.

*Кононова Н.К., Самохина О.Ф.* Колебания температуры воздуха в высоких широтах России и их связь с циркуляцией атмосферы Северного полушария // *Фундаментальная и прикладная климатология*, №3, 2017. – С. 124-146.

Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. II. Вып. 3. Средняя Азия / Под ред. С.И. Инагамовой, Т.А. Войновой, Э.С. Казарянц. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 322 с.

*Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Молдахметов М.М., Махмудова Л.К.* Климатические колебания общей циркуляции атмосферы, осадков и речного стока над территорией Казахстана. 2011. Доступно в <https://articlekz.com/article/8558>

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

*Холматжанов Б.М.* Продолжительность синоптических процессов в Средней Азии // *Проблемы освоения пустынь*. №3-4, Ашхабад: 2017. – С. 10-17.

*Холматжанов Б.М.* Региональная циркуляция атмосферы, особенности ее влияния на изменение климата Средней Азии и загрязнение воздуха в горных районах Узбекистана. Дисс. на соиск. уч. степ. докт. геогр. наук. – Ташкент: 2019. – 299 с.

*Kendall M.G.* Rank Correlation Methods. Griffin, London. 1975. – P. 342.

*Kononova N.K.* Peculiarities of atmospheric-circulation of Northern Hemisphere during end XX – beginning XXI centuries and its reflection in climate. // *Complex Systems*. V. 2, № 11, 2014. – P. 11-35.

*Kononova N.K.* Fluctuations of the Global Atmospheric Circulation in the XX-XXI Centuries // *Journal of Earth Science & Climatic Change*. Volume 7. Issue 5. 2016. 1000350 doi:10.4172/2157-7617.1000350

*Mihael Brenčić.* Statistical Analysis of Categorical Time Series of Atmospheric Elementary Circulation Mechanisms – Dzerdziejewski Classification for the Northern Hemisphere. 2016. PLoS ONE 11(4): e0154368. doi:10.1371/journal.pone.0154368

*Pimankina N., Kononova N.K., Yeriskovskaya L.A.* Analysis of the influence of atmospheric circulation onto the fluctuations of the Tuyuksu Glacier mass balance (Ile Alatau mountains) / Davos

Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13. July 8-12, 2013, Davos, Switzerland. Abstract Proceedings. – P. 1116.

## ЎРТА ОСИЁ СИНОПТИК ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ДАВОМИЙЛИГИ ВА УНИНГ ЎЗГАРИШ ТАМОЙИЛЛАРИ

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,2</sup>, Э.И. АБДУЛАХАТОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz

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

**Аннотация.** *Ўрта Осиё синоптик жараёнлари давомийликларининг 1991-2020 йй. базавий иқлимий давридаги ўзгаришлари 1961-1990 йй. базавий иқлимий даври давомийлик кўрсаткичлари билан қиёслаш орқали тадқиқ этилган. Тренд ўзгаришларининг таҳлили Ўрта Осиё синоптик жараёнлари давомийликлари таркибида бир қатор ўзгаришлар содир бўлганлигини кўрсатди. 1991-2020 йй. иқлимий даврида жанубий циклонлар ва антициклонал синоптик жараёнлар гуруҳларининг давомийликлари 1961-1990 йй. меъёрига нисбатан кичик ўзгариш тамойилига эга. Минтақада ҳаво ҳароратининг кескин пасайишига олиб келувчи шимоли-ғарб ва шимолдан совуқ ҳавонинг кириб келиш жараёнлари йилнинг барча мавсумларида 1961-1990 йй. меъеридан барқарор кичик қийматларни ташиқил этган. Йиллик ҳисобда ғарбий кириб келиш давомийлиги муайян камайиш тамойилига эга бўлса-да, унинг совуқ ярим йилликдаги давомийлиги меъёрдан барқарор юқорида жойлашган. Ўрта Осиё минтақасига кириб келувчи ҳаво массаларининг маҳаллий ҳаво массаларига трансформациясини белгиловчи кичик градиентли юқори ва паст босимли майдонларнинг давомийлиги сезиларли ортган.*

**Калит сўзлар:** *атмосфера циркуляцияси, синоптик жараён, давомийлик, иқлимий давр, тренд, Манн-Кендалл тести, Ўрта Осиё.*

## DURATION OF MIDDLE ASIAN SYNOPTIC PROCESSES AND ITS CHANGE TENDENCES

В.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,2</sup>, Е.И. АБДУЛАХАТОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, b.xolmatjanov@nuu.uz

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

**Abstract.** *Changes in the duration of synoptic processes in Middle Asia in the basic climatic period 1991-2020 are studied compared with the duration in the basic climatic period 1961-1990. An analysis of trend duration changes of synoptic processes in Middle Asia showed that a number of changes occurred in their structure. The duration of the processes included in the groups of southern cyclones and anticyclonic synoptic processes in the climatic period 1991-2020 had a slight trend of change relative to the norm of 1961-1990. The duration of cold invasions from the northwest and north, leading to a significant decrease in air temperature in the region, in all seasons of the year amounted to stably low values from the norm of 1961-1990. In the cold half of the year, the duration of western invasions turned out to be consistently higher than the norm, although in the annual calculation the process tended to decrease. The duration of low-gradient fields of high and low pressures has significantly increased, causing the transformation of incoming air masses into the Middle Asian region into local air masses.*

**Keywords:** *atmospheric circulation, synoptic process, duration, climatic period, trend, Mann-Kendall test, Middle Asia.*

## REFERENCES

*Baydal M.X.* Kompleksniy makrotsirkulyatsionniy metod dolgosrochnix prognozov pogodi [Complex macrocirculatory method of long-term weather forecasts]. – L.: Gidrometeoizdat, 1961. – 211 s. (in Russian)

*Vangengeym G.Ya.* Osnovi makrotsirkulyatsionnogo metoda dolgosrochnix meteorologicheskix prognozov dlya Arktiki [Fundamentals of the macrocirculatory method of long-term meteorological forecasts for the Arctic] // Trudy AANII. – 1952. T. 23. – 314 s. (in Russian)

*Girs A.A.* Makrotsirkulyatsionniy metod dolgosrochnix meteorologicheskix prognozov [Macrocirculatory method of long-term meteorological forecasts.] – L.: Gidrometeoizdat, 1974. – 485 s. (in Russian)

*Gruza G.V., Ranikova E.Ya.* Klimaticheskaya izmenchivost povtoryayemosti i prodoljitelnosti osnovnix form sirkulyatsii v umerennix shirotax Severnogo polushariya [Climatic variability of the frequency and duration of the main forms of circulation in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere] // Meteorologiya i gidrologiya, №1. – 1996. – S. 45-56. (in Russian)

*Dzherdzhevskiy B.L., Kurganskaya V.M., Vitviskaya Z.M.* Tipizatsiya sirkulyatsionnix mexanizmov v severnom polusharii i xarakteristika sinopticheskix sezonov [Typification of circulation mechanisms in the northern hemisphere and characterization of synoptic seasons] // Tr. NIU Glavnogo upravleniya gidrometeorol. sluzhbi pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. Sinopticheskaya meteorologiya. Vyp. 21. – M., L.: Gidrometeoizdat, 1946. – 80 s. (in Russian)

*Dzherdzhevskiy B.L.* Sirkulyatsionniye mexanizmi v atmosfere severnogo polushariya v XX stoletii [Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern hemisphere in the twentieth century] / Materiali meteorologicheskix issledovaniy. Sirkulyatsiya atmosferi. IG AN SSSR I Mejduved. geofiz. komitet pri Prezidiume AN SSSR. – M.: 1968. – 240 s. (in Russian)

*Inagamova S.I., Muhtarov T.M., Muhtarov Sh.T.* Osobennosti sinopticheskix protsessov Sredney Azii [Features of synoptic processes of Middle Asia]. – Tashkent: SANIGMI, 2002. – 486 s. (in Russian)

Kalendar tipov sinopticheskix protsessov nad Sredney Aziey [Calendar of types of synoptic processes over Middle Asia]. Vyp. 3. / Pod red. S.I.Inagamovoy. – Tashkent: NIGMI, 1993. – 56 s. (in Russian)

Kalendar tipov sinopticheskix protsessov nad Sredney Aziey [Calendar of types of synoptic processes over Middle Asia]. Vyp. 4. / Pod red. S.I.Inagamovoy. – Tashkent: NIGMI, 2013. – 82 s. (in Russian)

*Kononova N.K.* Vliyaniye sirkulyatsii atmosferi Severnogo polushariya na formirovaniye stixiynix bedstviy na territorii Rossii v XXI veke [The influence of the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere on the formation of natural disasters in Russia in the XXI century] // GeoRisk, №3, 2014. – S. 22-27. (in Russian)

*Kononova N.K.* Osobennosti sirkulyatsii atmosferi Severnogo polushariya v konse XX – nachale XXI veka i ix otrajeniye v klimate [Changes in the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX-XXI centuries and their consequences for the climate] // Mejdissiplinarniy nauchniy jurnal «Complex systems». – Moskva: MGU, №2 (11), 2014. – S. 11-35. (in Russian)

*Kononova N.K.* Izmeneniya sirkulyatsii atmosferi Severnogo polushariya v XX-XXI stoletiyax i ix posledstviya dlya klimata [Changes in the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX-XXI centuries and their consequences for the climate] // Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya, №1. 2015. – S. 127-156. (in Russian)

*Kononova N.K.* Sirkulyatsionniye epoxi v sektorax Severnogo polushariya v 1899-2014 gg. [Circulation epochs in the sectors of the Northern Hemisphere in 1899-2014] // Geopolitika i ekogeodinamika regionov, t. 1 (11), Vyp. 2. 2015. – S. 56-66. (in Russian)

*Kononova N.K., Malneva I.V., Gorbunov R.B.* Sirkulyatsiya atmosferi poslednix let i seli 2015 goda v Rossii i blizнем zarubejye. Seleviye potoki: katastrofi, risk, prognoz, zashita [Atmospheric circulation of recent years and mudslides of 2015 in Russia and the near abroad. Mudflows: disasters, risk, forecast, protection] // Materiali IV Mejdunarodnoy konferensii Rossiya, Irkutsk – pos. Arshan (Respublika Buryatiya), 6-10 sentabr 2016. (in Russian)

*Kononova N.K.* Fluktuatsii globalnoy sirkulyatsii atmosferi v XX-XXI vv. [Fluctuations of global atmospheric circulation in the XX-XXI centuries] // Journal Complex systems .№1 (18), 2016. – S. 22-37. (in Russian)

*Kononova N.K., Samoxina J.F.* Kolebaniya temperaturi vozduxa v visokix shirotax Rossii i ix svyaz s sirkulyatsiyey atmosferi Severnogo polushariya [Fluctuations in air temperature in the high latitudes of Russia and their connection with the circulation of the atmosphere of the Northern hemisphere] // Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya, №3, 2017. – S. 124 -146. (in Russian)

Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody [A guide to short range weather forecasts]. Ch. II. Vyp. 3. Srednyaya Aziya / Pod red. S.I. Inagamovoy, T.A. Voynovoy, E.S. Kazaryants. – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – 322 s. (in Russian)

*Salnikov V.G., Turulina G.K., Polyakova S.Ye., Moldaxmetov M.M., Maxmudova L.K.* Klimaticheskiye kolebaniya obshey sirkulyatsii atmosferi, osadkov i rechnogo stoka nad territoriyey Kazaxstana [Climatic fluctuations of the general circulation of the atmosphere, precipitation and river flow over the territory of Kazakhstan]. 2011. Dostupno v <https://articlekz.com/article/8558.92> (in Russian)

Sinopticheskiye protsessi Sredney Azii [Synoptic processes of Middle Asia] / Bugayev V.A., Dzhordzhio V.A., Kozik Ye.M., Petrosyants M.A., Pshenichnyy A.YA., Romanov N.N., Chernysheva O.N. / Pod red. T.A.Sarymsakova, V.A.Bugayeva, V.A.Dzhordzhio, M.A.Petrosyantsa, O.N.Chernyshevoy. – Tashkent: AN Uz, 1957. – 477 s. (in Russian)

*Xolmatjanov B.M.* Prodoljitelnost sinopticheskix protsessov v Sredney Azii [Duration of synoptic processes in Central Asia] // Problemi osvoyeniya pustin. №3-4, Ashxabad: 2017. – S. 10-17. (in Russian)

*Xolmatjanov B.M.* Regionalnaya sirkulyatsiya atmosferi, osobennosti yee vliyaniya na izmeneniye klimata Sredney Azii i zagryazneniye vozduxa v gornix rayonax Uzbekistana [Regional atmospheric circulation, features of its impact on climate change in Middle Asia and air pollution in the mountainous regions of Uzbekistan] // Diss. na soisk. uch. step. dokt. geogr. nauk. – Tashkent: 2019. – 299 s. (in Russian)

## Приложение А

Средняя суммарная продолжительность синоптических процессов (число дней за месяц и полугодия) над Средней Азией (1 – 1961-1990 гг., 2 – 1991-2020 гг.)

## Appendix A

Average total duration of synoptic processes (number of days per month and half-year) over Middle Asia (1 – 1961-1990, 2 - 1991-2020)

| Тип | Период | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | ТП    | Год   |       |
|-----|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1   | 1      | 2,1  | 2,5  | 3,7  | 3,2  | 1,5  | 0,2  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,9  | 1,5  | 1,7  | 14,7  | 2,7   | 17,4  |
|     | 2      | 1,8  | 2,9  | 3,4  | 2,4  | 1,1  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,2  | 0,4  | 1,7  | 2,4  | 14,5  | 1,9   | 16,4  |
| 2   | 1      | 2,1  | 1,7  | 2,6  | 1,8  | 0,6  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,4  | 0,6  | 1,7  | 10,5  | 1,1   | 11,6  |
|     | 2      | 2,6  | 1,8  | 2,4  | 1,2  | 0,7  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,2  | 1,1  | 0,8  | 9,9   | 1,0   | 10,8  |
| 3   | 1      | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,2  | 0,2  | 1,7   | 0,1   | 1,8   |
|     | 2      | 0,4  | 0,2  | 0,3  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,1  | 0,2  | 1,2   | 0,1   | 1,4   |
| 4   | 1      | 0,8  | 0,8  | 0,5  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,1  | 0,5  | 0,8  | 3,6   | 0,7   | 4,3   |
|     | 2      | 0,1  | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,2   | 0,3   | 0,5   |
| 5   | 1      | 3,6  | 2,3  | 1,7  | 1,5  | 2,3  | 3,0  | 3,1  | 3,8  | 4,0  | 4,0  | 2,7  | 2,3  | 14,1  | 20,2  | 34,3  |
|     | 2      | 1,2  | 1,2  | 0,8  | 0,7  | 1,1  | 0,9  | 1,3  | 1,8  | 1,9  | 2,0  | 1,8  | 1,5  | 7,2   | 9,0   | 16,1  |
| 6   | 1      | 0,6  | 0,9  | 0,5  | 0,8  | 1,9  | 1,7  | 2,2  | 2,8  | 1,5  | 1,4  | 0,8  | 0,5  | 4,1   | 11,5  | 15,6  |
|     | 2      | 0,3  | 0,1  | 0,5  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,6  | 0,1  | 0,7  | 0,3  | 0,5  | 0,2  | 1,8   | 2,6   | 4,5   |
| 7   | 1      | 2,3  | 2,0  | 2,3  | 2,1  | 0,9  | 0,4  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 1,3  | 1,8  | 2,2  | 12,7  | 2,9   | 15,6  |
|     | 2      | 1,3  | 1,6  | 1,9  | 1,0  | 0,3  | 0,0  | 0,2  | 0,0  | 0,1  | 0,6  | 1,2  | 1,4  | 8,4   | 1,3   | 9,7   |
| 8   | 1      | 0,8  | 1,2  | 2,9  | 2,3  | 2,4  | 1,5  | 2,0  | 1,4  | 0,9  | 0,6  | 1,2  | 1,4  | 9,8   | 8,8   | 18,6  |
|     | 2      | 1,2  | 0,6  | 0,9  | 1,2  | 1,1  | 1,9  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,8  | 0,8  | 0,7  | 5,5   | 5,2   | 10,7  |
| 9   | 1      | 8,5  | 7,1  | 5,2  | 4,3  | 3,0  | 1,7  | 0,7  | 1,2  | 4,5  | 7,8  | 9,1  | 10,1 | 44,3  | 18,9  | 63,2  |
|     | 2      | 7,6  | 6,5  | 5,7  | 4,3  | 2,6  | 0,8  | 0,4  | 1,0  | 3,0  | 6,5  | 5,7  | 8,1  | 37,9  | 14,3  | 52,2  |
| 9a  | 1      | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,4  | 1,0  | 0,7  | 0,3  | 0,2  | 2,8   | 5,6   | 8,4   |
|     | 2      | 0,2  | 0,7  | 0,4  | 0,7  | 0,9  | 0,8  | 0,9  | 1,6  | 1,6  | 1,2  | 0,4  | 0,4  | 2,9   | 6,9   | 9,9   |
| 9б  | 1      | 2,0  | 3,3  | 3,6  | 3,4  | 2,9  | 1,5  | 1,5  | 2,8  | 4,5  | 3,6  | 2,6  | 2,8  | 17,7  | 16,8  | 34,5  |
|     | 2      | 2,3  | 2,7  | 3,1  | 3,2  | 2,9  | 1,6  | 1,0  | 2,4  | 4,3  | 3,4  | 3,3  | 3,3  | 17,9  | 15,4  | 33,3  |
| 10  | 1      | 4,2  | 3,0  | 4,5  | 5,2  | 6,6  | 8,0  | 6,6  | 6,3  | 5,2  | 5,3  | 4,5  | 4,1  | 25,5  | 38,0  | 63,5  |
|     | 2      | 4,1  | 3,9  | 4,4  | 5,4  | 5,7  | 5,5  | 4,0  | 4,1  | 4,7  | 4,8  | 4,7  | 4,4  | 26,8  | 28,8  | 55,6  |
| 11  | 1      | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,9  | 2,3  | 0,8  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 4,0   | 4,0   |
|     | 2      | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 1,4  | 0,6  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 2,2   | 2,2   |
| 12  | 1      | 2,0  | 1,5  | 1,7  | 1,5  | 3,6  | 3,0  | 2,8  | 2,5  | 4,4  | 3,5  | 2,3  | 1,6  | 10,6  | 19,8  | 30,4  |
|     | 2      | 5,5  | 4,3  | 4,6  | 4,5  | 4,2  | 3,6  | 4,1  | 3,8  | 5,7  | 8,4  | 7,6  | 5,6  | 31,9  | 29,7  | 61,7  |
| 13  | 1      | 0,7  | 0,6  | 0,6  | 2,2  | 4,1  | 7,0  | 8,7  | 7,8  | 3,7  | 1,3  | 1,0  | 0,8  | 5,9   | 32,6  | 38,5  |
|     | 2      | 2,2  | 1,5  | 2,6  | 5,0  | 9,9  | 14,1 | 16,3 | 15,1 | 7,1  | 2,2  | 0,9  | 1,4  | 13,5  | 64,6  | 78,2  |
| 14  | 1      | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,5  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,1  | 0,9  | 0,6  | 3,1   | 0,3   | 3,4   |
|     | 2      | 0,3  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,1  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,3  | 0,1  | 0,2  | 0,6  | 1,6   | 0,6   | 2,2   |
| 15  | 1      | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,1   | 0,0   | 0,1   |
|     | 2      | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Σ   | 1      | 31,0 | 28,2 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 181,2 | 184,0 | 365,2 |
|     | 2      | 31,0 | 28,3 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 30,0 | 31,0 | 181,3 | 184,0 | 365,3 |

*Примечание.* XII – холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП – теплое полугодие (май-октябрь).

*Note.* XII – cold half-year (November-April), ТП – warm half-year (May-October).

Приложение Б  
Appendix B

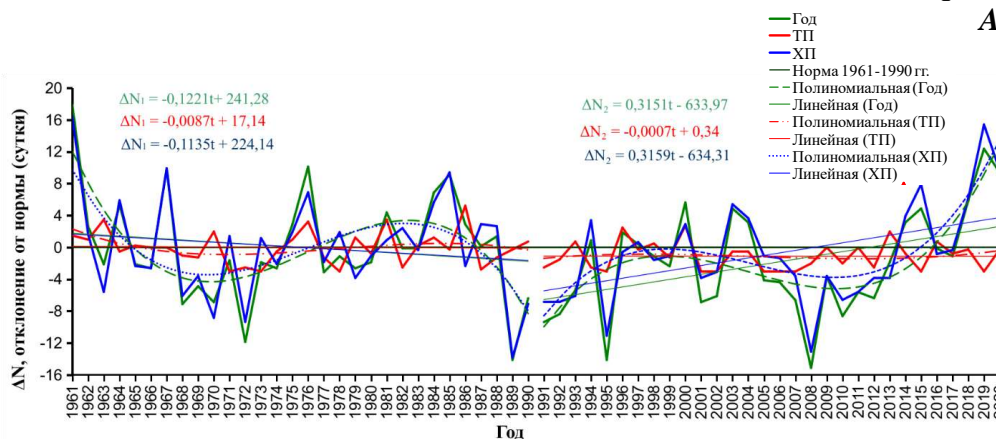


Рис. Б.1. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 1 по полугодиям и за год (число суток)

Fig. B1. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 1 for half-years and for a year (number of days)

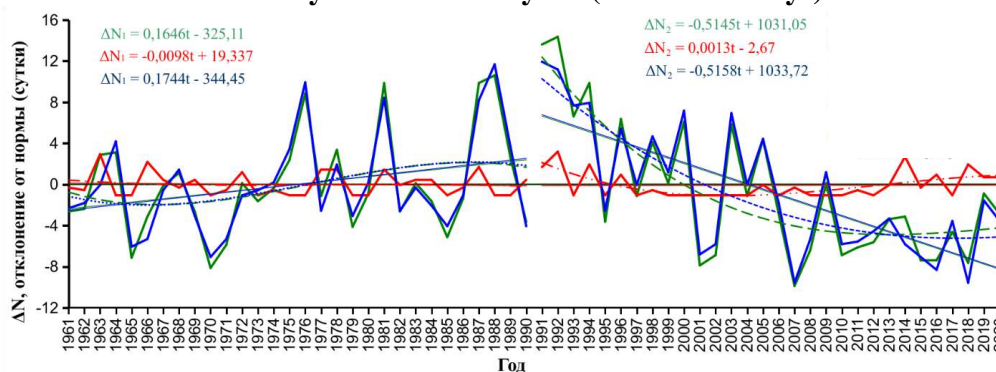


Рис. Б.2. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 2 по полугодиям и за год (число суток)

Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

Fig. B2. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 2 for half-years and for a year (number of days)

Symbols of lines see in Fig. B1.

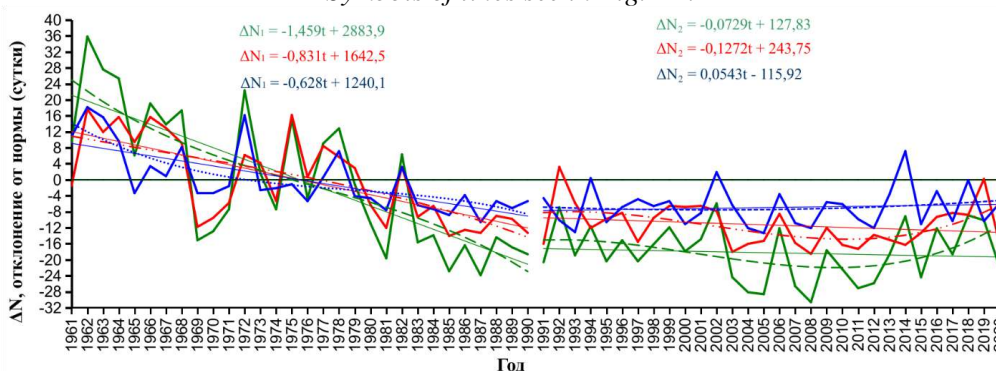
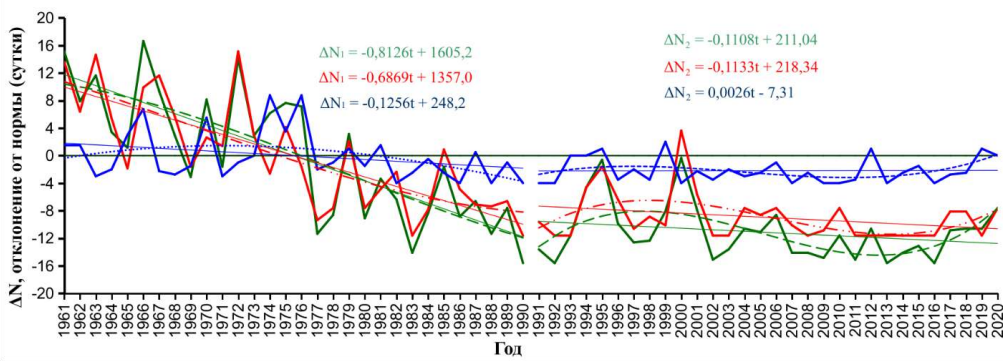


Рис. Б.3. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 5 по полугодиям и за год (число суток)

Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

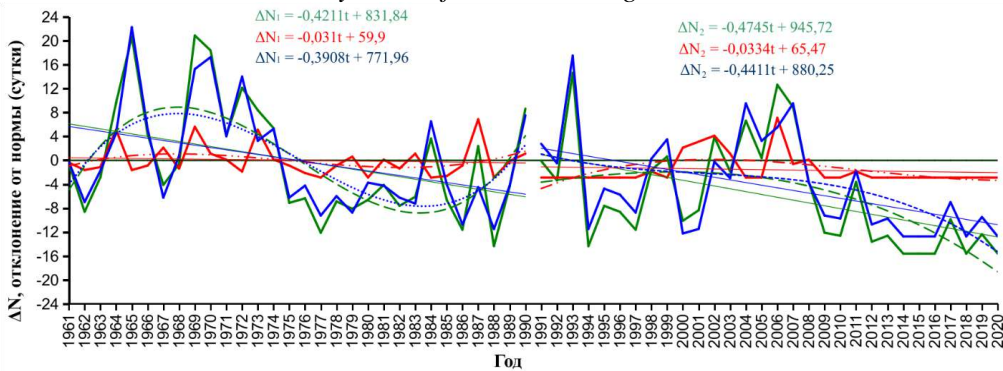
Fig. B3. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 5 for half-years and for a year (number of days)

Symbols of lines see in Fig. B1.



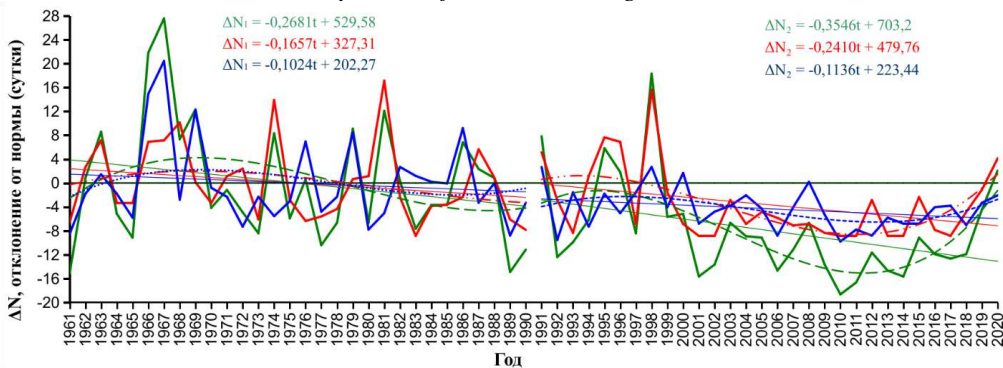
**Рис. Б.4. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 6 по полугодиям и за год (число суток)**  
 Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

**Fig. B4. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 6 for half-years and for a year (number of days)**  
 Symbols of lines see in Fig. B1.



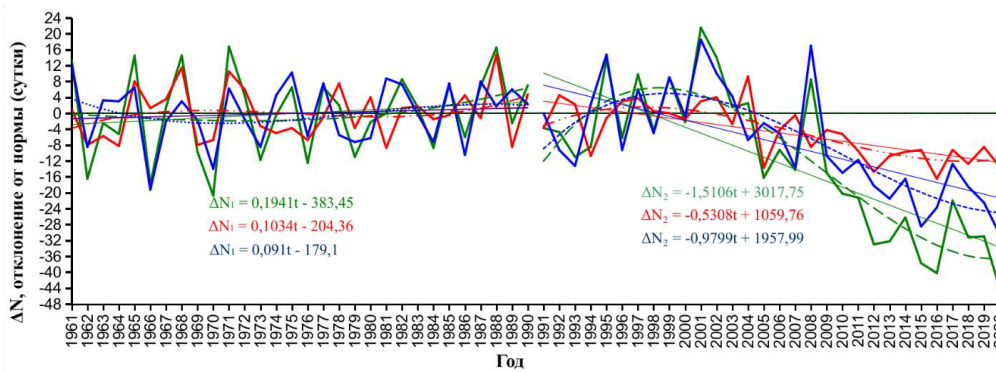
**Рис. Б.5. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) совокупной суммарной продолжительности типа 7 по полугодиям и за год (число суток)**  
 Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

**Fig. B5. Deviation from the norm (1961-1990) of the total duration of type 7 for half-years and for a year (number of days)**  
 Symbols of lines see in Fig. B1.



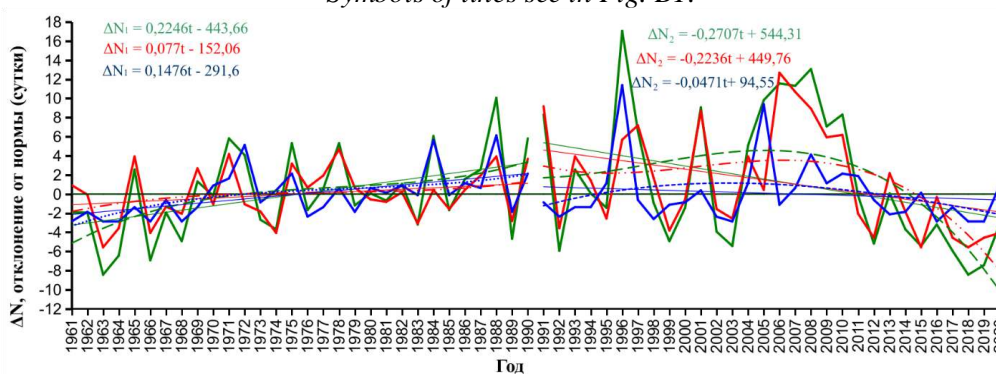
**Рис. Б.6. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 8 по полугодиям и за год (число суток)**  
 Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

**Fig. B6. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 8 for half-years and for a year (number of days)**  
 Symbols of lines see in Fig. B1.



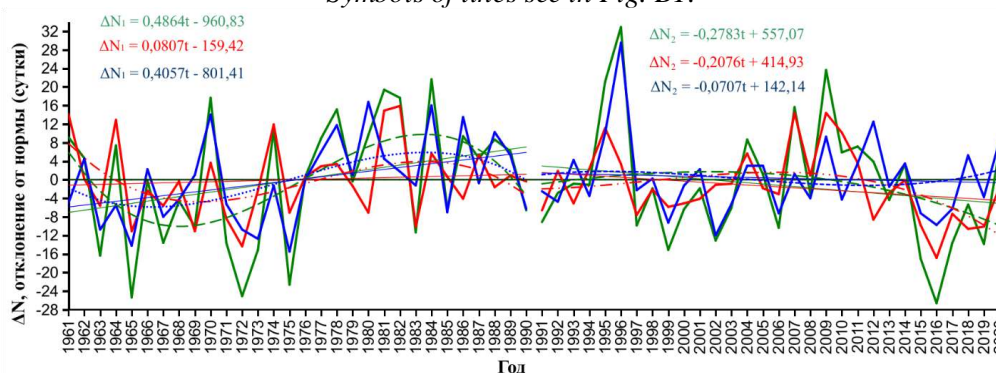
**Рис. Б.7. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 9 по полугодиям и за год (число суток)**  
*Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.*

**Fig. B8. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 9 for half-years and for a year (number of days)**  
*Symbols of lines see in Fig. B1.*



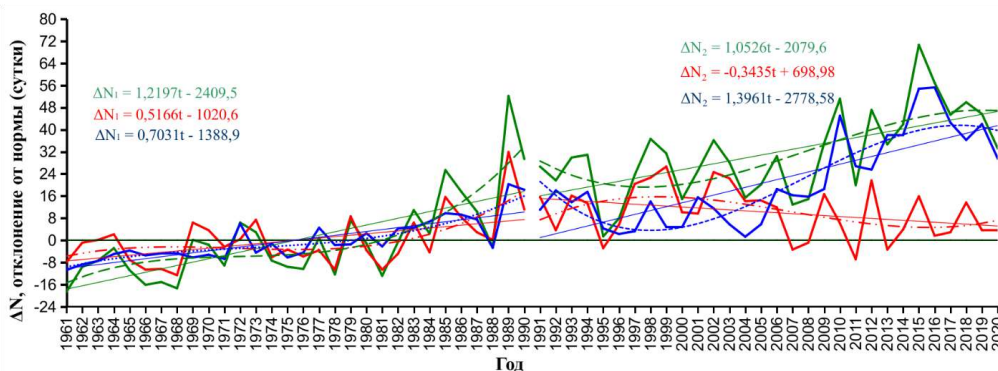
**Рис. Б.8. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 9а по полугодиям и за год (число суток)**  
*Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.*

**Fig. B8. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 9a for half-years and for a year (number of days)**  
*Symbols of lines see in Fig. B1.*



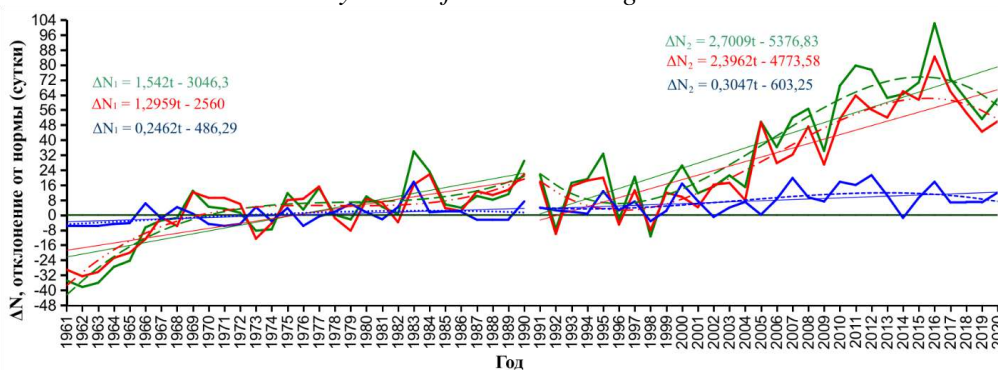
**Рис. Б.9. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 9б по полугодиям и за год (число суток)**  
*Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.*

**Fig. B9. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 9b for half-years and for a year (number of days)**  
*Symbols of lines see in Fig. B1.*



**Рис. Б.10. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 12 по полугодиям и за год (число суток)**  
Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

**Fig. B10. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 12 for half-years and for a year (number of days)**  
Symbols of lines see in Fig. B1.



**Рис. Б.11. Отклонение от нормы (1961-1990 гг.) продолжительности типа 13 по полугодиям и за год (число суток)**  
Условные обозначения линий см. на рис. Б.1.

**Fig. B11. Deviation from the norm (1961-1990) of the duration of type 13 for half-years and for a year (number of days)**  
Symbols of lines see in Fig. B1.

## Приложение В

## Характеристики тенденций изменения продолжительности типов синоптических процессов Средней Азии (1961-1990 гг.)

## Appendix C

## Characteristics of duration trends of types of synoptic processes of the Middle Asia (1961–1990)

| Тип | Сезон | Уравнение тренда                 | Трендовое приращение, $\Delta N$ (сутки) | Стандартное отклонение, $\sigma$ | Q    | SL, % |
|-----|-------|----------------------------------|--|----------------------------------|------|-------|
| 1   | ХП    | $\Delta N_1 = -0,1135t + 224,14$ | -3,3                                     | 6,26                             | 0,53 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = -0,0087t + 17,14$  | -0,3                                     | 2,11                             | 0,12 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = -0,1221t + 241,28$ | -0,3                                     | 6,64                             | 0,53 | <68,3 |
| 2   | ХП    | $\Delta N_1 = 0,1744t - 344,45$  | -3,5                                     | 4,72                             | 1,07 | >68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = -0,0098t + 19,337$ | 5,1                                      | 1,15                             | 0,25 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = 0,1646t - 325,11$  | 4,8                                      | 4,85                             | 0,98 | <68,3 |
| 5   | ХП    | $\Delta N_1 = -0,628t + 1240,1$  | -18,2                                    | 7,81                             | 2,33 | >95,4 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = -0,831t + 1642,5$  | -24,1                                    | 10,55                            | 2,28 | >95,4 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = -1,459t + 2883,9$  | -42,3                                    | 16,99                            | 2,49 | >95,4 |
| 6   | ХП    | $\Delta N_1 = -0,1256t + 248,2$  | -3,6                                     | 3,62                             | 1,00 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = -0,6869t + 1357,0$ | -19,9                                    | 7,78                             | 2,56 | >95,4 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = -0,8126t + 1605,2$ | -23,6                                    | 9,13                             | 2,58 | >95,4 |
| 7   | ХП    | $\Delta N_1 = -0,3908t + 771,96$ | -11,3                                    | 8,70                             | 1,30 | >68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = -0,031t + 59,9$    | -0,9                                     | 2,64                             | 0,34 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = -0,4211t + 831,84$ | -12,2                                    | 9,61                             | 1,27 | >68,3 |
| 8   | ХП    | $\Delta N_1 = -0,1024t + 202,27$ | -3,0                                     | 7,06                             | 0,42 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = -0,1657t + 327,31$ | -4,8                                     | 6,48                             | 0,74 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = -0,2681t + 529,58$ | -7,8                                     | 10,15                            | 0,77 | <68,3 |
| 9   | ХП    | $\Delta N_1 = 0,091t - 179,1$    | 2,6                                      | 7,83                             | 0,34 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = 0,1034t - 204,36$  | 3,0                                      | 6,52                             | 0,46 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = 0,1941t - 383,45$  | 5,6                                      | 10,47                            | 0,54 | <68,3 |
| 9а  | ХП    | $\Delta N_1 = 0,1476t - 291,6$   | 4,3                                      | 2,46                             | 1,74 | >90,0 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = 0,077t - 152,06$   | 2,2                                      | 2,76                             | 0,81 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = 0,2246t - 443,66$  | 6,5                                      | 4,37                             | 1,49 | >80,0 |
| 9б  | ХП    | $\Delta N_1 = 0,4057t - 801,41$  | 11,8                                     | 9,03                             | 1,30 | >80,0 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = 0,0807t - 159,42$  | 2,3                                      | 8,09                             | 0,29 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = 0,4864t - 960,83$  | 14,1                                     | 13,58                            | 1,04 | >68,3 |
| 12  | ХП    | $\Delta N_1 = 0,7031t - 1388,9$  | 20,4                                     | 7,66                             | 2,66 | >99,0 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = 0,5166t - 1020,6$  | 15,0                                     | 9,41                             | 1,59 | >86,6 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = 1,2197t - 2409,5$  | 35,4                                     | 15,48                            | 2,29 | >95,4 |
| 13  | ХП    | $\Delta N_1 = 0,2462t - 486,29$  | 7,1                                      | 5,30                             | 1,35 | >80,0 |
|     | ТП    | $\Delta N_1 = 1,2959t - 2560$    | 37,6                                     | 15,23                            | 2,47 | >95,4 |
|     | Год   | $\Delta N_1 = 1,542t - 3046,3$   | 44,7                                     | 17,67                            | 2,53 | >95,4 |

**Примечание.** ХП – холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП – теплое полугодие (май-октябрь).

**Note.** ХП – cold half-year (November-April), ТП – warm half-year (May-October).

## Приложение Г

## Характеристики тенденций изменения продолжительности типов синоптических процессов Средней Азии (1991–2020 гг.)

## Appendix D

## Characteristics of duration trends of types of synoptic processes of the Middle Asia (1991–2020)

| Тип | Сезон | Уравнение тренда                  | Трендовое приращение, $\Delta N$ (сутки) | Стандартное отклонение, $\sigma$ | Q    | SL, % |
|-----|-------|-----------------------------------|--|----------------------------------|------|-------|
| 1   | ХП    | $\Delta N_2 = 0,3159t - 634,31$   | 9,16                                     | 6,09                             | 1,50 | >68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,0007t + 0,34$    | -0,02                                    | 1,75                             | 0,01 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = 0,3151t - 633,97$   | 9,14                                     | 6,47                             | 1,41 | >68,3 |
| 2   | ХП    | $\Delta N_2 = -0,5158t + 1033,72$ | -15,0                                    | 6,23                             | 2,40 | >95,4 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = 0,0013t - 2,67$     | 0,0                                      | 1,28                             | 0,03 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,5145t + 1031,05$ | -14,9                                    | 6,62                             | 2,25 | >95,4 |
| 5   | ХП    | $\Delta N_2 = 0,0543t - 115,92$   | 1,6                                      | 4,91                             | 0,32 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,1272t + 243,75$  | -3,7                                     | 5,33                             | 0,69 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,0729t + 127,83$  | -2,1                                     | 6,93                             | 0,31 | <68,3 |
| 6   | ХП    | $\Delta N_2 = 0,0026t - 7,31$     | 0,1                                      | 1,85                             | 0,04 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,1133t + 218,34$  | -3,3                                     | 3,49                             | 0,94 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,1108t + 211,04$  | -3,2                                     | 4,00                             | 0,80 | <68,3 |
| 7   | ХП    | $\Delta N_2 = -0,4411t + 880,25$  | -12,8                                    | 8,06                             | 1,59 | >86,6 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,0334t + 65,47$   | -1,0                                     | 2,56                             | 0,38 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,4745t + 945,72$  | -13,8                                    | 8,83                             | 1,56 | >86,6 |
| 8   | ХП    | $\Delta N_2 = -0,1136t + 223,44$  | -3,3                                     | 3,41                             | 0,97 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,2410t + 479,76$  | -7,0                                     | 6,16                             | 1,14 | >68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,3546t + 703,2$   | -10,3                                    | 8,16                             | 1,26 | >68,3 |
| 9   | ХП    | $\Delta N_2 = -0,9799t + 1957,99$ | -28,4                                    | 13,21                            | 2,15 | >95,4 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,5308t + 1059,76$ | -15,4                                    | 6,81                             | 2,26 | >95,4 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -1,5106t + 3017,75$ | -43,8                                    | 17,67                            | 2,45 | >95,4 |
| 9а  | ХП    | $\Delta N_2 = -0,0471t + 94,55$   | -1,4                                     | 3,31                             | 0,41 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,2236t + 449,76$  | -6,5                                     | 5,41                             | 1,20 | >68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,2707t + 544,31$  | -7,9                                     | 7,11                             | 1,10 | >68,3 |
| 9б  | ХП    | $\Delta N_2 = -0,2783t + 557,07$  | -2,1                                     | 8,24                             | 0,25 | <68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,2076t + 414,93$  | -6,0                                     | 7,44                             | 0,81 | <68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = -0,0707t + 142,14$  | -8,1                                     | 12,80                            | 0,63 | <68,3 |
| 12  | ХП    | $\Delta N_2 = 1,0526t - 2079,6$   | 40,5                                     | 16,04                            | 2,52 | >95,4 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = -0,3435t + 698,98$  | -10,0                                    | 9,28                             | 1,07 | >68,3 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = 1,131t - 2236,6$    | 30,5                                     | 15,36                            | 1,99 | >86,6 |
| 13  | ХП    | $\Delta N_2 = 2,7009t - 5376,83$  | 8,8                                      | 6,63                             | 1,33 | >68,3 |
|     | ТП    | $\Delta N_2 = 2,3962t - 4773,58$  | 69,5                                     | 25,25                            | 2,75 | >95,4 |
|     | Год   | $\Delta N_2 = 0,3047t - 603,25$   | 78,3                                     | 28,84                            | 2,72 | >95,4 |

**Примечание.** ХП – холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП – теплое полугодие (май-октябрь).

**Note.** ХП – cold half-year (November-April), ТП – warm half-year (May-October).

УДК: 551.584.5

**АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ  
БАЗОВОГО И ТЕКУЩЕГО КЛИМАТИЧЕСКИХ ПЕРИОДОВ  
ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ  
БАСЕЙНА РЕКИ ЧИРЧИК И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Л.М. КАРАНДАЕВА<sup>1\*</sup>, С.В. КАРАНДАЕВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, karan.serg@rambler.ru

***Аннотация.** Выполнен анализ атмосферных осадков двух климатических периодов: базового и текущего. Информационной основой расчетов послужили ряды данных за исторический период наблюдений о месячных суммах атмосферных осадков по данным метеорологических станций, расположенных в пределах бассейна реки Чирчик, а также по данным метеорологических станций, если они расположены вне, но вблизи территории бассейна. Выбрано 7 метеостанций с достаточно длинными для проведения исследований рядами наблюдений.*

*Как результат выполненных исследований следует отметить увеличение средних многолетних годовых, зимних, за октябрь-апрель и за май-сентябрь сумм осадков текущего климатического периода по сравнению с базовым периодом. Увеличение осадков без исключения на всех станциях отмечается в феврале, мае, июне, ноябре, а уменьшение в апреле и октябре.*

***Ключевые слова:** бассейн реки Чирчик, атмосферные осадки, базовый климатический период, текущий климатический период, холодный период (октябрь-апрель), теплый период (май-сентябрь).*

**Введение.** Проблема современных глобальных климатических изменений и их последствий – одна из важных и широко обсуждаемых в науке. Это связано с тем, что последствия климатических изменений затрагивают многие природные процессы. Для Узбекистана последствия изменения климата имеют актуальное значение. Значительная часть территории Узбекистана является аридной зоной. Кроме того, Узбекистан относится к категории стран наиболее уязвимых к изменению климата. Исследованию изменений климата посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых. В частности, ученые Научно-исследовательского гидрометеорологического института (НИГМИ) занимались и продолжают заниматься изучением изменения климата. В 1996 году вышел из печати очерк «Климат Узбекистана» [Леухина и др., 1996]. На узбекском и русском языках опубликован «Краткий очерк климата Узбекистана» [Глазырин и др., 1999]. Вышли в свет книга «Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан» [Чуб, 2000], монография «Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан» [Чуб, 2007], а затем «Климатическое описание Ташкентского вилоята» [Смирнова, Чанышева, 2007], «Динамика климатических сезонов в Ташкенте» [Царев, 2010] и многие, многие другие научные работы.

Климатические условия на Земле особенно заметно изменились за последние десятилетия. Потепление климата сопровождается усилением опасных метеорологических явлений: ливневые осадки, ураганы и т.д., которые приносят экономический ущерб населению, а нередко и человеческие жертвы. В условиях глобального изменения климата особый интерес представляет изучение изменения температуры воздуха и атмосферных осадков. Указанные климатические характеристики могут оказывать как положительное, так

\* Ответственный автор: karan.serg@rambler.ru, тел.: +998 71 235-80-01; +998 91 136-05-12

и отрицательное воздействие на окружающую среду и на деятельность человека в частности. Тем самым определяется важность и актуальность исследования временных рядов приземной температуры воздуха и атмосферных осадков, измеренных на метеостанциях.

Исследования тенденций в динамике приземной температуры воздуха для территории бассейна реки Чирчик и сопредельных территорий в условиях изменения климата описаны в статье [Карандаева, Карандаев, 2022]. Настоящая работа посвящена исследованиям по выявлению тенденций в динамике атмосферных осадков. Выявить закономерности и особенности можно сопоставлением данных многолетних наблюдений за атмосферными осадками двух климатических периодов: базового и текущего.

**Объектом** исследования данной работы выбрана территория бассейна реки Чирчик.

**Предмет исследования** – месячные суммы атмосферных осадков по данным метеостанций, расположенных непосредственно в бассейне реки Чирчик и на близлежащих территориях.

**Целью** исследования данной работы является выявление тенденций изменения во времени атмосферных осадков по данным метеостанций, расположенных непосредственно в бассейне реки Чирчик и на близлежащих территориях. Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

- сформировать архив многолетних данных месячных сумм атмосферных осадков;
- выполнить статистический анализ и анализ линейных трендов временных рядов месячных сумм атмосферных осадков;
- выявить тенденции изменения во времени атмосферных осадков.

**Исходные данные и методы исследования.** В качестве исходной информации для проведения исследований послужили ряды данных месячных сумм атмосферных осадков за исторический период наблюдений по данным метеорологических станций, расположенных в пределах бассейна реки Чирчик, а также по данным метеорологических станций, если они расположены вне, но вблизи территории бассейна. Для проведения исследований, как показано в таблице 1, выбраны 7 метеорологических станций с достаточно длинными рядами наблюдений [Список ..., 1978].

Методы исследований – математико-статистические методы. В процессе исследования использовался пакет программного обеспечения на MS EXCEL.

Таблица 1

## Сведения о метеостанциях бассейна реки Чирчик

Table 1

## Information about meteorological stations in the Chirchik River basin

| № | Метеостанция     | Высота, м | Широта, град. | Долгота, град. | Годы наблюдения |
|---|------------------|-----------|---------------|----------------|-----------------|
| 1 | Дукант           | 2001      | 41,15         | 70,07          | 1959-2019       |
| 2 | Каунчи (Янгиюль) | 341       | 41,08         | 69,00          | 1957-2019       |
| 3 | Ойгаинг          | 2161      | 42,17         | 70,88          | 1963-2019       |
| 4 | Пскем            | 1258      | 41,90         | 70,37          | 1937-2019       |
| 5 | Сукок            | 1351      | 41,24         | 69,82          | 1959-2019       |
| 6 | Ташкент          | 477       | 41,33         | 69,30          | 1935-2019       |
| 7 | Туябугуз         | 404       | 40,93         | 69,40          | 1966-2019       |

**Основные результаты и их обсуждение.** О происходящих климатических изменениях можно судить на основании сравнения осредненных за последние годы метеорологических данных с климатической нормой. В качестве такого базового

климатического периода по определению ВМО принят период 1961-1990 гг., соответственно период 1991-2019 гг. – текущий климатический период.

*Анализ атмосферных осадков двух климатических периодов: базового и текущего по данным метеорологических станций бассейна реки Чирчик.*

Статистические показатели атмосферных осадков двух климатических периодов: базового и текущего вычислены по данным 7 рассматриваемых метеостанций. Ниже, как пример (табл. 2 и 3, рис. 1 и 2), приведены результаты расчетов по данным двух метеостанций: Ташкент и Ойгаинг. Метеостанция Ташкент расположена на высоте ниже 1 км н.у.м., а метеостанция Ойгаинг – на высоте выше 1 км н.у.м.

Гидрологический год делится на два периода: холодный (октябрь-апрель) и теплый (май-сентябрь).

Максимальные значения сумм осадков за октябрь-апрель базового климатического периода отмечены по данным всех 7 рассматриваемых метеостанций в 1969 году. Минимальные же значение сумм осадков наблюдаются на двух станциях: Дукант, Ташкент в 1965 году; на трех метеостанциях: Каунчи, Сукок, Туябугуз в 1986 году; на метеостанциях Ойгаинг и Пскем в 1982 году и 1961 году, соответственно.

**Таблица 2**

**Статистические характеристики осадков (мм) базового и текущего климатических периодов по данным метеостанции Ойгаинг**

**Table 2**

**Statistical characteristics of precipitation (mm) for the basic and current climatic periods according to the data of the Oygaing meteorological station**

| Месяцы                           | 1961-1990 гг. |         |              | 1991-2019 гг. |         |              |
|----------------------------------|---------------|---------|--------------|---------------|---------|--------------|
|                                  | Минимальная   | Средняя | Максимальная | Минимальная   | Средняя | Максимальная |
| Январь                           | 10            | 62      | 146          | 14            | 67      | 161          |
| Февраль                          | 13            | 60      | 142          | 8             | 80      | 204          |
| Март                             | 25            | 88      | 263          | 16            | 76      | 153          |
| Апрель                           | 3             | 94      | 216          | 14            | 86      | 229          |
| Май                              | 22            | 70      | 149          | 0             | 77      | 179          |
| Июнь                             | 3             | 43      | 164          | 0             | 53      | 160          |
| Июль                             | 0             | 28      | 95           | 0             | 31      | 102          |
| Август                           | 0             | 15      | 64           | 0             | 19      | 98           |
| Сентябрь                         | 0             | 27      | 78           | 0             | 28      | 110          |
| Октябрь                          | 5             | 79      | 246          | 3             | 74      | 232          |
| Ноябрь                           | 9             | 70      | 159          | 9             | 88      | 315          |
| Декабрь                          | 9             | 91      | 249          | 15            | 82      | 191          |
| Год                              | 494           | 727     | 1241         | 379           | 766     | 1114         |
| Октябрь-апрель (холодный период) | 274           | 548     | 901          | 279           | 553     | 890          |
| Май-сентябрь (теплый период)     | 77            | 183     | 328          | 27            | 209     | 373          |
| Зима                             | 84            | 216     | 395          | 99            | 226     | 458          |
| Весна                            | 111           | 252     | 461          | 96            | 239     | 436          |
| Лето                             | 6             | 85      | 223          | 5             | 103     | 225          |
| Осень                            | 65            | 176     | 424          | 42            | 190     | 391          |

Таблица 3

Статистические характеристики осадков (мм) базового и текущего климатических периодов по данным метеостанции Ташкент

Table 3

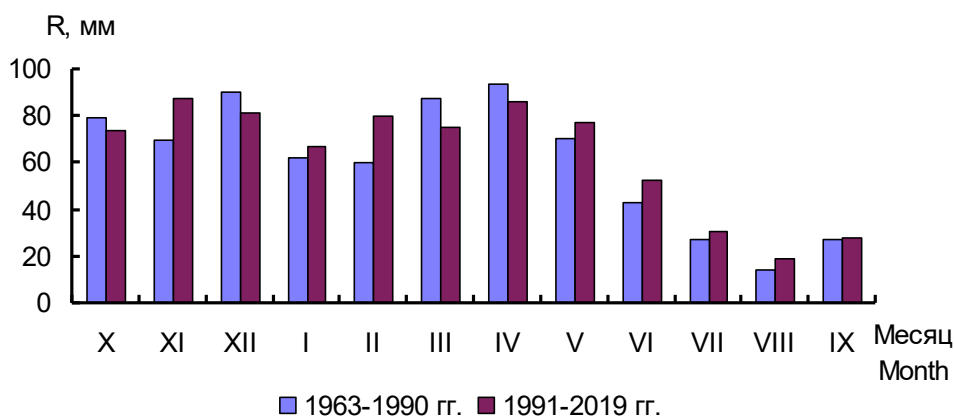
Statistical characteristics of precipitation (mm) for the basic and current climatic periods according to the data of the Tashkent meteorological station

| Месяцы                           | 1961-1990 гг. |         |              | 1991-2019 гг. |         |              |
|----------------------------------|---------------|---------|--------------|---------------|---------|--------------|
|                                  | Минимальная   | Средняя | Максимальная | Минимальная   | Средняя | Максимальная |
| Январь                           | 16            | 53      | 114          | 9             | 56      | 95           |
| Февраль                          | 6             | 46      | 100          | 1             | 71      | 183          |
| Март                             | 18            | 74      | 170          | 19            | 68      | 125          |
| Апрель                           | 2             | 63      | 179          | 14            | 62      | 146          |
| Май                              | 1             | 32      | 73           | 1             | 41      | 100          |
| Июнь                             | 0             | 7       | 25           | 0             | 17      | 66           |
| Июль                             | 0             | 4       | 39           | 0             | 3       | 17           |
| Август                           | 0             | 3       | 36           | 0             | 2       | 6            |
| Сентябрь                         | 0             | 4       | 21           | 0             | 5       | 20           |
| Октябрь                          | 0             | 34      | 110          | 0             | 25      | 88           |
| Ноябрь                           | 6             | 43      | 115          | 7             | 51      | 167          |
| Декабрь                          | 7             | 51      | 99           | 6             | 60      | 136          |
| Год                              | 284           | 413     | 761          | 233           | 460     | 748          |
| Октябрь-апрель (холодный период) | 225           | 363     | 611          | 243           | 394     | 580          |
| Май-сентябрь (теплый период)     | 7             | 49      | 151          | 8             | 67      | 171          |
| Зима                             | 78            | 149     | 276          | 107           | 187     | 284          |
| Весна                            | 53            | 169     | 340          | 62            | 171     | 314          |
| Лето                             | 0             | 13      | 60           | 0             | 22      | 73           |
| Осень                            | 23            | 81      | 162          | 8             | 80      | 198          |

Максимальные значения сумм осадков за октябрь-апрель текущего климатического периода наблюдаются по данным метеостанций Дукант и Сукок в 2009 году; по данным метеостанций Ташкент и Туябугуз в 2002 году; по данным метеостанций Каунчи, Ойгаинг и Пскем в 1998 году, 2017 году, 1994 году, соответственно. Минимальные значения зафиксированы в 2011 году на станциях Дукант, Каунчи, Сукок, Туябугуз; на станциях Ойгаинг, Пскем, Ташкент в 2013 году, в 2000 году, в 1997 году, соответственно.

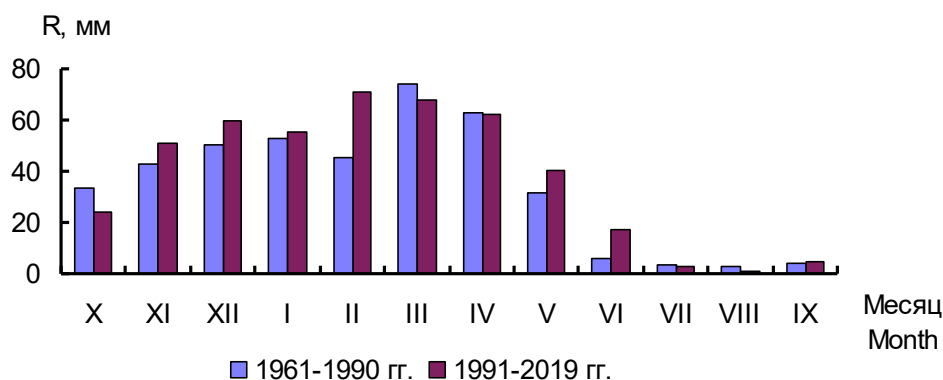
В распределении сумм осадков в октябре-апреле по месяцам внутри года отмечаются один максимум на станциях Дукант, Ойгаинг (как пример, см. рис. 1), Сукок в апреле, Каунчи, Ташкент (как пример, см. рис. 2), Туябугуз в марте, а на Пскеме два максимума в декабре и апреле. В мае-сентябре наблюдается один минимум в августе на всех семи метеостанциях. Вышесказанное относится к базовому климатическому периоду.

Относительно текущего климатического периода можно сказать, что в распределении осадков в октябре-апреле по месяцам внутри года отмечаются один максимум на станциях: Каунчи, Пскем, Ташкент, Туябугуз в феврале, на станции Ойгаинг в ноябре, на станции Сукок в апреле, а на Дуканте отмечается два максимума в феврале и марте.



**Рис. 1. Внутригодовое распределение месячных сумм атмосферных осадков базового и текущего климатических периодов по данным метеостанции Ойгаинг**

**Fig. 1. Intra-annual distribution of monthly amounts of atmospheric precipitation of the base and current climatic periods according to the data of the Oigaing meteorological station**



**Рис. 2. Внутригодовое распределение месячных сумм атмосферных осадков базового и текущего климатических периодов по данным метеостанции Ташкент**

**Fig. 2. Intra-annual distribution of norms of monthly sums of atmospheric precipitation of the base and current climatic periods according to the data of the Tashkent meteorological station**

В таблицах 4 и 5 приведены тренды месячных сумм атмосферных осадков базового и текущего климатических периодов, соответственно.

Из анализа трендов атмосферных осадков (табл. 4 и 5) отдельных месяцев с октября по март холодного периода можно сделать следующие выводы:

- в октябре тенденция роста осадков базового климатического периода наблюдается на 5 станциях, а текущего климатического периода на всех 7 рассматриваемых станциях.
- в ноябре тенденция роста осадков наблюдается на 5 станциях только в текущем климатическом периоде;
- в декабре тенденция роста осадков наблюдается на 4 метеостанциях только в базовом климатическом периоде;
- в феврале тенденция роста осадков наблюдается только на Пскеме в базовом климатическом периоде и только на Дуканте в текущем климатическом периоде;

– в марте тенденция роста осадков наблюдается только на 1 станции (Пскем) в базовом климатическом периоде и на 6 рассматриваемых станций (кроме Дукант) в текущем климатическом периоде;

– в январе тенденция роста осадков наблюдается на 6 станциях (кроме Сукок) в базовом климатическом периоде и в текущем климатическом периоде на 6 станциях (кроме Туябугуз).

Таблица 4

## Тренды месячных сумм атмосферных осадков базового климатического периода

Table 4

## Trends in the monthly sums of atmospheric precipitation of the basic climatic period

| Месяц    | Станции |                     |         |         |         |         |          |
|----------|---------|---------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
|          | Дукант  | Каунчи<br>(Янгиюль) | Ойгаинг | Пскем   | Сукок   | Ташкент | Туябугуз |
| Январь   | 0,5549  | 0,1571              | 0,3915  | 0,3301  | -1,2553 | 0,5504  | -0,0686  |
| Февраль  | -0,1253 | -0,1105             | -0,2608 | 0,0670  | -0,1757 | -0,1073 | -0,4325  |
| Март     | -0,1805 | -0,3119             | -1,1719 | 0,1693  | -1,5822 | -0,1081 | -0,7032  |
| Апрель   | 0,1419  | -0,3648             | 0,0295  | 0,5795  | -0,6917 | 0,1585  | -0,3232  |
| Май      | -1,4126 | 0,1080              | 0,2460  | 0,6000  | -1,6285 | 0,1698  | 0,2180   |
| Июнь     | -0,3695 | -0,1458             | -1,1042 | -0,3326 | -0,3818 | -0,2050 | -0,0514  |
| Июль     | -0,1437 | -0,0346             | -0,1684 | -0,0471 | -0,2123 | 0,0187  | -0,1861  |
| Август   | -0,1156 | -0,0114             | -0,0215 | -0,1593 | -0,0481 | -0,0089 | 0,0207   |
| Сентябрь | -0,0547 | 0,0998              | 0,0625  | 0,5313  | 0,3630  | 0,0915  | 0,0356   |
| Октябрь  | 0,6446  | 0,1919              | -0,5244 | -0,1479 | 0,0536  | 0,0800  | 0,0268   |
| Ноябрь   | -0,7230 | -0,6343             | -0,7006 | -0,7706 | -0,3738 | -0,7437 | -0,0242  |
| Декабрь  | -0,0774 | 0,1085              | -0,4581 | 0,2116  | 0,2298  | 0,1225  | -0,3245  |

Таблица 5

## Тренды месячных сумм атмосферных осадков текущего климатического периода

Table 5

## Trends in the monthly sums of atmospheric precipitation of the current climate period

| Месяц    | Станции |                     |         |         |         |         |          |
|----------|---------|---------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
|          | Дукант  | Каунчи<br>(Янгиюль) | Ойгаинг | Пскем   | Сукок   | Ташкент | Туябугуз |
| Январь   | 0,9957  | 0,1235              | 0,2486  | 0,1656  | 0,3895  | 0,1819  | -0,1210  |
| Февраль  | 0,0576  | -0,0452             | -0,3665 | -0,2114 | -0,6190 | -0,7130 | -0,3343  |
| Март     | -0,1055 | 0,6004              | 0,6053  | 0,8669  | 0,3264  | 0,4527  | 0,0275   |
| Апрель   | -1,3195 | 0,1790              | -0,3335 | -0,0888 | 0,5029  | 0,1909  | -0,3014  |
| Май      | -2,5170 | -1,0084             | 0,0615  | -0,6300 | -3,185  | -1,5069 | -1,6677  |
| Июнь     | -1,1170 | -0,0630             | -0,0973 | -0,1053 | -0,6624 | -0,0807 | 0,1817   |
| Июль     | -0,4295 | -0,1049             | -1,0444 | -0,7176 | -0,3665 | -0,1869 | -0,0828  |
| Август   | -0,2404 | -0,1866             | -0,5663 | -0,2706 | -0,0413 | -0,0089 | 0,0039   |
| Сентябрь | 0,1439  | -0,1714             | 0,8486  | 0,4146  | 0,0982  | -0,1813 | -0,0476  |
| Октябрь  | 1,8553  | 0,4038              | 0,3736  | 0,1881  | 1,2423  | 0,5416  | 0,8250   |
| Ноябрь   | 0,1290  | 0,1916              | -0,4714 | -0,3871 | 0,0135  | 0,5943  | 1,2754   |
| Декабрь  | -1,3558 | -0,9624             | -0,0835 | -1,7609 | -1,1710 | -0,8606 | -0,5190  |

Итак, в базовом климатическом периоде за 6 месяцев холодного периода с октября по март по данным 7 метеостанций наблюдается 17 случаев с тенденцией увеличения осадков, а в текущем климатическом периоде – 25.

Анализируя результаты, приведенные в таблице 6, следует отметить увеличение средних многолетних годовых, зимних, октябрь-апрель, май-сентябрь сумм осадков текущего климатического периода по сравнению с базовым периодом.

Таблица 6

**Суммы атмосферных осадков (мм) за периоды:  
зима, октябрь-апрель, май-сентябрь и год**

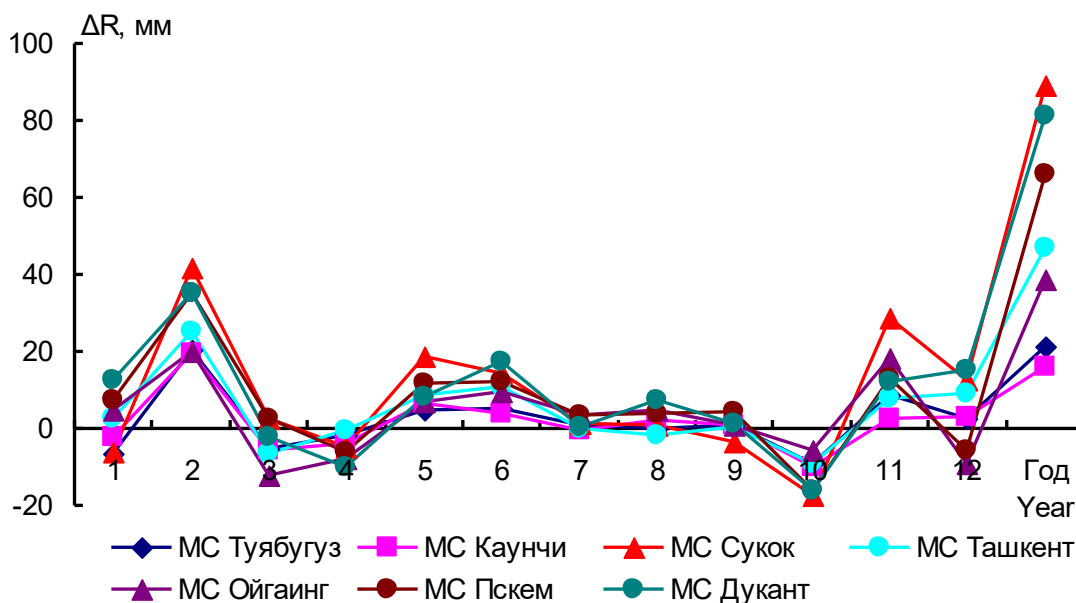
Table 6

**Precipitation amounts (mm) for the periods:  
winter, October-April, May-September and year**

| № | Станция          | Период    | Год | Зима | Октябрь-апрель | Май-сентябрь |
|---|------------------|-----------|-----|------|----------------|--------------|
| 1 | Дукант           | 1961-1990 | 874 | 297  | 724            | 149          |
|   |                  | 1991-2019 | 955 | 360  | 774            | 183          |
|   |                  | Разность  | 81  | 63   | 50             | 34           |
| 2 | Каунчи (Янгиюль) | 1961-1990 | 338 | 124  | 301            | 37           |
|   |                  | 1991-2019 | 355 | 145  | 308            | 50           |
|   |                  | Разность  | 17  | 21   | 7              | 13           |
| 3 | Ойгаинг          | 1963-1990 | 727 | 216  | 548            | 183          |
|   |                  | 1991-2019 | 766 | 226  | 553            | 209          |
|   |                  | Разность  | 39  | 10   | 5              | 26           |
| 4 | Пскем            | 1961-1990 | 825 | 281  | 680            | 143          |
|   |                  | 1991-2019 | 891 | 318  | 714            | 179          |
|   |                  | Разность  | 66  | 37   | 34             | 36           |
| 5 | Сукок            | 1968-1990 | 816 | 268  | 700            | 117          |
|   |                  | 1991-2019 | 906 | 313  | 759            | 149          |
|   |                  | Разность  | 90  | 45   | 59             | 32           |
| 6 | Ташкент          | 1961-1990 | 413 | 149  | 363            | 49           |
|   |                  | 1991-2019 | 460 | 187  | 395            | 67           |
|   |                  | Разность  | 47  | 38   | 32             | 18           |
| 7 | Туябугуз         | 1966-1990 | 388 | 146  | 343            | 45           |
|   |                  | 1991-2019 | 409 | 164  | 354            | 57           |
|   |                  | Разность  | 21  | 18   | 11             | 12           |

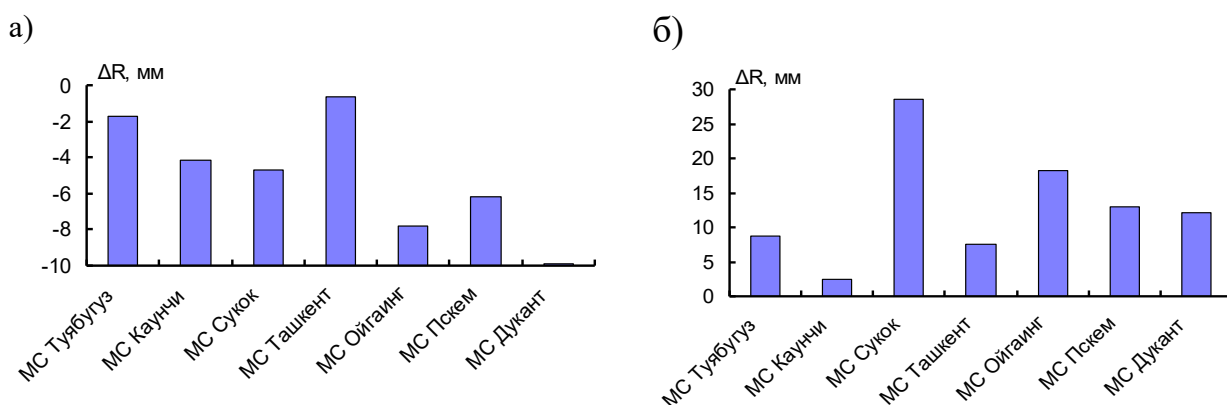
На рисунке 3 представлен график разностей месячных и годовых сумм осадков за 1991-2019 гг. относительно климатической нормы. На рисунках 4 и 5 представлены графики разностей сумм осадков в апреле и ноябре за 1991-2019 гг. относительно климатической нормы.

Увеличение осадков без исключения на всех станциях отмечается в феврале, мае, июне, ноябре, а уменьшение в апреле и октябре (рис. 3 и 4). Авторы работы [Карандаева, Карандаев, 2020] так же отмечают увеличение осадков в ноябре, а уменьшение в апреле в бассейне реки Зеравшан и сопредельных территориях. Об увеличении осадков в ноябре пишет Б.М.Холматжанов в своей докторской диссертации «Региональная циркуляция атмосферы, особенности ее влияния на изменение климата Средней Азии и загрязнение воздуха в горных районах Узбекистана» [Холматжанов, 2019].



**Рис. 3. Разность осадков ( $\Delta R$ ) за 1991-2019 гг. относительно климатической нормы 1961-1990 гг.**

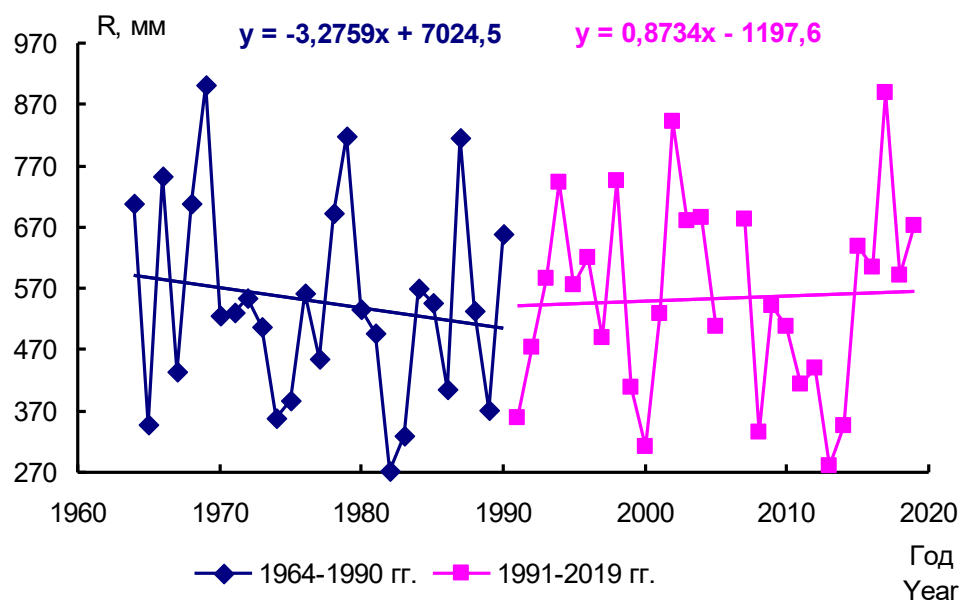
**Fig. 3. The difference in precipitation ( $\Delta R$ ) for 1991-2019 relative to the climatic norm of 1961-1990**



**Рис. 4. Разность осадков ( $\Delta R$ ) в апреле (а) и ноябре (б) за 1991-2019 гг. относительно климатической нормы 1961-1990 гг.**

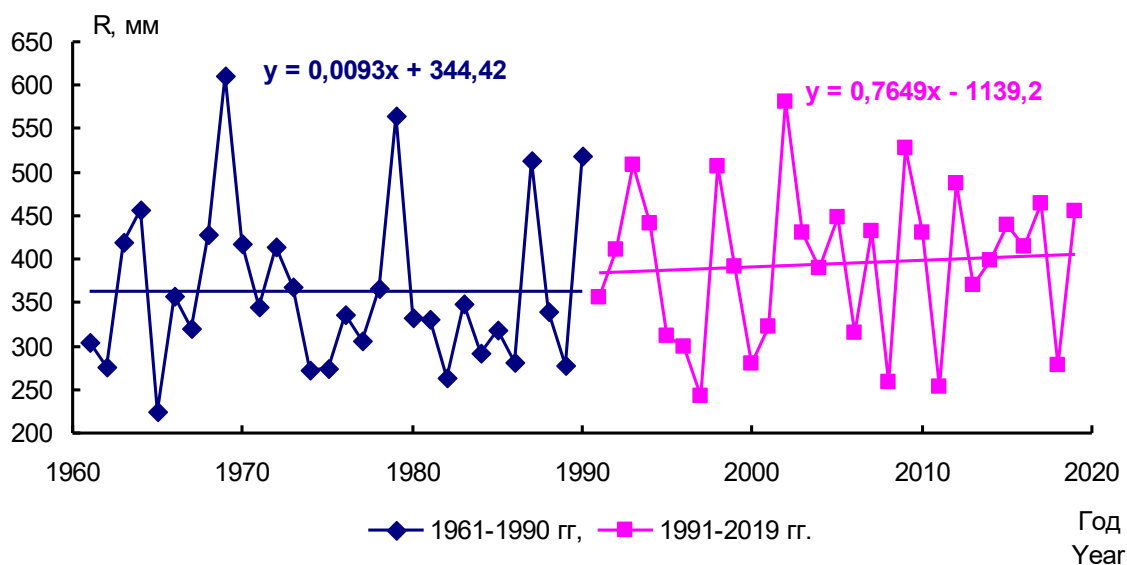
**Fig. 4. The difference in precipitation ( $\Delta R$ ) in April (a) and November (b) for 1991-2019 relative to the climatic norm 1961-1990**

В данной работе выполнен анализ межгодового хода сумм осадков за год, за зиму, за холодный период, за теплый период. Ниже, как пример, представлены графики межгодового хода сумм осадков за октябрь-апрель по данным метеостанций Ойгаинг (рис. 5) и Ташкент (рис. 6), а в таблице 7 представлены линейные тренды сумм осадков.



**Рис. 5. Межгодовой ход осадков за октябрь-апрель базового и текущего климатических периодов по данным метеостанции Ойгаинг**

**Fig. 5. Interannual variation of precipitation for October-April of basic and current climatic periods according to the data of the Oygaining meteorological station**



**Рис. 6. Межгодовой ход осадков за октябрь-апрель базового и текущего климатических периодов по данным метеостанции Ташкент**

**Fig. 6. Interannual variation of precipitation for October-April of basic and current climatic periods according to the Tashkent meteorological station**

Таблица 7

## Линейные тренды осадков (мм/год) по данным 7 метеостанций

Table 7

## Linear trends of precipitation (mm/year) according to the 7 meteostations

| № | Станция          | Период    | Год     | Зима    | Октябрь-апрель | Май-сентябрь |
|---|------------------|-----------|---------|---------|----------------|--------------|
| 1 | Дукант           | 1959-2019 | 0,6478  | 1,3752  | 0,7878         | 0,1670       |
|   |                  | 1961-1990 | -1,8609 | 0,3522  | 0,6740         | -2,0960      |
|   |                  | 1991-2019 | -5,4896 | -1,8152 | -1,3227        | -3,1760      |
| 2 | Каунчи (Янгиюль) | 1957-2019 | -0,1763 | 0,3709  | -0,3148        | 0,1191       |
|   |                  | 1961-1990 | -0,9480 | 0,3450  | -0,9376        | 0,0160       |
|   |                  | 1991-2019 | -1,3627 | -0,9592 | 0,4547         | -1,5343      |
| 3 | Ойгаинг          | 1963-2019 | 0,4622  | 0,1214  | -0,1043        | 0,4490       |
|   |                  | 1963-1990 | -3,6804 | -0,8034 | -3,2759        | -0,9856      |
|   |                  | 1991-2019 | -0,8253 | -0,3159 | 0,8734         | -0,7979      |
| 4 | Пскем            | 1937-2019 | 0,9123  | 0,2227  | 0,3443         | 0,7188       |
|   |                  | 1961-1990 | 1,8369  | 1,3829  | 1,8369         | 0,5923       |
|   |                  | 1991-2019 | 0,0550  | -1,6160 | 0,0550         | -1,3089      |
| 5 | Сукок            | 1968-2019 | 1,4429  | 0,9899  | 1,7180         | 0,0224       |
|   |                  | 1968-1990 | -5,7030 | -1,7665 | -4,1142        | -1,9076      |
|   |                  | 1991-2019 | -3,4733 | -0,8136 | 1,8507         | -4,1569      |
| 6 | Ташкент          | 1935-2019 | 0,9134  | 0,5492  | 0,7479         | 0,2260       |
|   |                  | 1961-1990 | 0,0259  | 0,6939  | 0,0093         | 0,0736       |
|   |                  | 1991-2019 | -1,5661 | -1,1782 | 0,7649         | -1,9539      |
| 7 | Туябугуз         | 1966-2019 | 0,2901  | 0,3213  | 0,3190         | 0,0768       |
|   |                  | 1966-1990 | -1,8125 | -0,7173 | -2,2531        | 0,0368       |
|   |                  | 1991-2019 | -0,7606 | -0,6776 | 1,2083         | -1,6125      |

Проведенный анализ показал, что в текущем климатическом периоде наблюдается тенденция уменьшения сумм атмосферных осадков за год, за зиму, за теплый период. Однако, за холодный период наблюдается тенденция роста, кроме Дуканта.

Экстремальные значения атмосферных осадков в зимние месяцы декабрь, январь, февраль приведены в таблице 8. Из данных таблицы видно, что минимум атмосферных осадков текущего климатического периода по сравнению с базовым в основном уменьшился. Однако в декабре и январе по данным метеостанций Дукант, Ойгаинг и Пскем минимум атмосферных осадков увеличился. Максимум атмосферных осадков увеличился в феврале на всех 7 рассматриваемых метеостанциях, а уменьшился:

- в декабре на 3 метеостанциях: Каунчи, Ойгаинг, Туябугуз;
- в январе на 4 метеостанциях: Дукант, Каунчи, Ойгаинг, Туябугуз.

**Выводы.** Данная работа посвящена выявлению тенденций изменения во времени атмосферных осадков по данным 7 метеорологических станций бассейна реки Чирчик и сопредельных территорий.

Как результат выполненных исследований следует отметить увеличение средних многолетних годовых, зимних, за октябрь-апрель и за май-сентябрь сумм осадков текущего климатического периода по сравнению с базовым периодом.

**Таблица 8**  
**Экстремальные значения атмосферных осадков (мм) зимних месяцев**  
**Table 8**  
**Extreme values of precipitation (mm) during the winter months**

| №                   | Станция          | Осадки             | Период    | Декабрь | Январь | Февраль |
|---------------------|------------------|--------------------|-----------|---------|--------|---------|
| 1                   | Дукант           | Минимальные        | 1961-1990 | 17,8    | 31,3   | 30,2    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 34,4    | 53,8   | 2,3     |
|                     |                  | Изменение минимума |           | 16,6    | 22,5   | -27,9   |
|                     |                  | Максимальные       | 1961-1990 | 237,3   | 287,5  | 150,0   |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 269,8   | 214,9  | 250,9   |
| Изменение максимума |                  | 32,5               | -72,6     | 100,9   |        |         |
| 2                   | Каунчи (Янгиюль) | Минимальные        | 1961-1990 | 11,5    | 12,7   | 15,3    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 1,8     | 2,0    | 0,7     |
|                     |                  | Изменение минимума |           | -9,7    | -10,7  | -14,6   |
|                     |                  | Максимальные       | 1961-1990 | 129,2   | 121,9  | 71,3    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 126,9   | 83,1   | 133,5   |
| Изменение максимума |                  | -2,3               | -38,8     | 62,2    |        |         |
| 3                   | Ойгаинг          | Минимальные        | 1963-1990 | 8,9     | 10,1   | 13,0    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 15,1    | 13,6   | 8,2     |
|                     |                  | Изменение минимума |           | 6,2     | 3,5    | -4,8    |
|                     |                  | Максимальные       | 1963-1990 | 248,9   | 145,5  | 141,7   |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 191,1   | 160,6  | 203,6   |
| Изменение максимума |                  | -57,8              | 15,1      | 61,9    |        |         |
| 4                   | Пскем            | Минимальные        | 1961-1990 | 13,0    | 20,0   | 20,0    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 19,9    | 22,6   | 20,5    |
|                     |                  | Изменение минимума |           | 6,9     | 2,6    | 0,5     |
|                     |                  | Максимальные       | 1961-1990 | 268,0   | 283,0  | 140,0   |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 284,0   | 221,3  | 262,0   |
| Изменение максимума |                  | 16,0               | -61,7     | 122,0   |        |         |
| 5                   | Сукок            | Минимальные        | 1968-1990 | 27,9    | 31,1   | 15,9    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 14,3    | 11,4   | 5,2     |
|                     |                  | Изменение минимума |           | -13,6   | -19,7  | -10,7   |
|                     |                  | Максимальные       | 1968-1990 | 210,7   | 215,8  | 133,5   |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 267,1   | 163,4  | 228,3   |
| Изменение максимума |                  | 56,4               | -52,4     | 94,8    |        |         |
| 6                   | Ташкент          | Минимальные        | 1961-1990 | 6,5     | 16,3   | 6,1     |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 6,3     | 8,5    | 1,2     |
|                     |                  | Изменение минимума |           | -0,2    | -7,8   | -4,9    |
|                     |                  | Максимальные       | 1961-1990 | 99,0    | 113,9  | 99,7    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 135,8   | 94,9   | 182,8   |
| Изменение максимума |                  | 36,8               | 19,0      | 83,1    |        |         |
| 7                   | Туябугуз         | Минимальные        | 1966-1990 | 12,7    | 16,9   | 11,9    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 2,8     | 1,0    | 2,5     |
|                     |                  | Изменение минимума |           | -9,9    | -15,9  | -9,4    |
|                     |                  | Максимальные       | 1966-1990 | 123,1   | 114,5  | 81,8    |
|                     |                  |                    | 1991-2019 | 114,1   | 105,9  | 137,8   |
| Изменение максимума |                  | -9,0               | -8,6      | 56,0    |        |         |

Однако, проведенный анализ линейных трендов показал, что в текущем климатическом периоде наблюдается тенденция уменьшения сумм атмосферных осадков за год, за зиму, за теплый период. За холодный период наблюдается тенденция роста сумм осадков, кроме метеостанции Дукант.

Увеличение осадков текущего климатического периода без исключения на всех станциях отмечается в феврале, мае, июне, ноябре, а уменьшение в апреле и октябре.

В основном отмечается уменьшение минимума атмосферных осадков текущего климатического периода по сравнению с базовым периодом. Однако, в декабре и январе по данным метеостанций Дукант, Ойгаинг и Пскем наблюдается увеличение минимума атмосферных осадков.

На всех 7 рассматриваемых метеостанциях увеличился максимум атмосферных осадков в феврале текущего климатического периода.

**Вклад авторов. Л.М. Карандаева:** руководство, методология, анализ, написание текста. **С.В. Карандаев:** сбор данных, обработка, анализ, работа с текстом, оформление. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

*Глазырин Г.Е., Чанышева С.Г., Чуб В.Е.* Краткий очерк климата Узбекистана. – Ташкент: Chinor ENK, 1999. – 30 с.

*Карандаева Л.М., Карандаев С.В.* Статистический и сравнительный анализ температуры воздуха и атмосферных осадков за разные климатические периоды по данным метеорологических станций бассейна реки Зеравшан и сопредельных территорий // Известия географического общества Узбекистана, 57-том, 2020. – С. 208-218.

*Карандаева Л.М., Карандаев С.В.* Анализ температуры воздуха базового и текущего климатических периодов по данным метеорологических станций бассейна реки Чирчик и сопредельных территорий // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, №1, 2022. – С. 46-57.

*Леухина Г.Н., Ляпина О.А., Веремеева Т.Л.* Климат Узбекистана. – Ташкент: САНИГМИ, 1996. – 71 с.

*Смирнова Е.Н., Чанышева С.Г.* Климатическое описание Ташкентского вилоята. – Ташкент: НИГМИ, 2005. – 158 с.

Список синоптических станций. – Л.: Гидрометеиздат. 1978. – 116 с.

*Царёв Б.К.* Динамика климатических сезонов в Ташкенте. – Ташкент: НИГМИ, 2010. – 100 с.

*Холматжанов Б.М.* Региональная циркуляция атмосферы, особенности ее влияния на изменение климата Средней Азии и загрязнение воздуха в горных районах Узбекистана: Автореферат док. дис. геогр. наук: 11.00.04. – Ташкент, 2019. – 59 с.

*Чуб В.Е.* Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. – Ташкент: НИГМИ, 2000. – 252 с.

*Чуб В.Е.* Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Ташкент: НИГМИ, 2007. – 132 с.

**ЧИРЧИК ДАРЁСИ ҲАВЗАСИ ВА УНГА ТУТАШ ҲУДУДЛАРДАГИ  
МЕТЕОРОЛОГИК СТАНЦИЯЛАР МАЪЛУМОТЛАРИ БЎЙИЧА БАЗАВИЙ ВА  
ЖОРИЙ ИҚЛИМИЙ ДАВРДАГИ АТМОСФЕРА ЁГИНЛАРИ ТАҲЛИЛИ****Л.М. КАРАНДАЕВА<sup>1</sup>, С.В. КАРАНДАЕВ<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, karan.serg@rambler.ru

**Аннотация.** Мақолада базавий ва жорий иқлимий даврдаги атмосфера ёгинлари таҳлил қилинган. Ҳисоблашларда Чирчиқ дарёси ҳавзасида жойлашган метеостанциялардаги тарихий даврда кузатишган жами ойлик атмосфера ёгинлари тўғрисидаги, шунингдек, ҳавза ҳудудидан ташқарида, лекин унга яқин бўлган метеостанция маълумотлари асосий манба бўлиб хизмат қилган.

Тадқиқот учун кузатув қаторлари етарлича узоқ муддат бўлган 7 та метеостанция танлаб олинди. Тадқиқот натижаларига кўра, базавий иқлимий даврга нисбатан жорий иқлимий даврда ўртача кўп йиллик, қишги, совуқ ва илиқ даврда ёгингарчилик миқдорининг ошиганини таъкидлаш мумкин.

Барча метеостанцияларда ёгингарчилик миқдорининг ошиши февраль, май, июнь, ноябрь ойларида, камайиши эса апрель ва октябрь ойларида кузатишган.

**Калит сўзлар:** Чирчиқ дарёси ҳавзаси, атмосфера ёгинлари, базавий иқлимий давр, жорий иқлимий давр, совуқ давр (октябрь-апрель), илиқ давр (май-сентябрь).

**ANALYSIS OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION AT BASIC AND PRESENT  
CLIMATIC PERIODS ACCORDING TO THE DATA OF METEOROLOGICAL  
STATIONS OF THE CHIRCHIK RIVER BASIN AND NEIGHBORING TERRITORIES****L.M. KARANDAEVA<sup>1</sup>, S.V. KARANDAEV<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, karan.serg@rambler.ru

**Abstract.** The analysis of atmospheric precipitation of basic and current climatic periods is carried out. The information basis for the calculations was the series of data for the historical period of observations on the monthly amounts of atmospheric precipitation according to the data of meteorological stations located within the Chirchik River basin, as well as according to the data of meteorological stations if they are located outside, but near the territory of the basin. 7 meteorological stations with long term series of observations for research were selected.

As a result of the studies performed, it should be noted an increase in the average long-term annual, winter, for October-April and May-September total precipitation of the current climatic period compared to the base period. An increase in precipitation without exception at all stations is noted in February, May, June, November, and a decrease in April and October.

**Keywords:** Chirchik River basin, atmospheric precipitation, basic climatic period, current climatic period, cold period (October-April), warm period (May-September).

**REFERENCES**

Glazirin G.E., Chanisheve S.G., Chub V.E. Kratkiy ocherk klimata Uzbekistana [A brief essay on the climate of Uzbekistan]. Tashkent: Chinor ENK, 1999. – 30 s. (in Russian)

Karandaeva L.M., Karandaev S.V. Statisticheskiy i sravnitelniy analiz temperaturi vozduxa i atmosfernix osadkov za raznie klimaticheskie periodi po dannim meteorologicheskix stantsiy basseyna reki Zeravchan i sopredelnix territoriy [Statistical and comparative analysis of air temperature and atmospheric precipitation for different climatic periods according to the data of meteorological stations in the Zeravshan River basin and adjacent territories] // Izvestiya geograficheskogo obshestva Uzbekistana, 57-tom, 2020, – S. 208-218. (in Russian)

*Karandaeva L.M., Karandaev S.V.* Analiz temperaturi vozduxa bazovogo i tekushego klimaticheskix periodov po dannim meteorologicheskix stantsiy basseyna reki Chirchik i sopredelnix territoriy [Analysis of the air temperature of the base and current climatic periods according to the meteorological stations of the Chirchik River basin and adjacent territories] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, №1, 2022. – S. 46-57. (in Russian)

*Leuxina G.N., Lyapina O.A., Veremeeva T.L.* Klimat Uzbekistana [Climate of Uzbekistan]. – Tashkent: SANIGMI, 1996. – 71 s. (in Russian)

*Smirnova E.N., Chanisheva S.G.* Klimaticheskoe opisanie Tashkentskogo viloyata [Climate description of Tashkent Viloyat]. – Tashkent: NIGMI, 2005. – 158 s. (in Russian)

*Spisok sinopticheskix stantsiy* [List of synoptic stations]. – L.: Gidrometeoizdat. 1978. – 116 s. (in Russian)

*Tsaryov B.K.* Dinamika klimaticheskix sezonov v Tashkente [Dynamics of climatic seasons in Tashkent]. – Tashkent: NIGMI, 2010. – 100 s. (in Russian)

*Xolmatjanov B.M.* Regionalnaya tsirkulyatsiya atmosferi, osobennosti eyo vliyaniya na izmenenie klimata Sredney Azii i zagryaznenie vozduxa v gornix rayonax Uzbekistana [Regional atmospheric circulation, features of its impact on climate change in Middle Asia and air pollution in the mountainous regions of Uzbekistan]. Avtoreferat dok. dis. geogr. nauk: 11.00.04. – Tashkent: 2019. – 59 s. (in Russian)

*Chub V.E.* Izmenenie klimata i ego vliyanie na prirodno-resursniy potensial Respubliki Uzbekistan [Climate change and its impact on the natural-resource potential of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent: NIGMI, 2000. – 252 s. (in Russian)

*Chub V.E.* Izmenenie klimata i ego vliyanie na gidrometeorologicheskie prosessi, agroklimaticheskie i volyie resursi Respubliki Uzbekistan [Climate change and its influence on hydrometeorological processes, agroclimatic and water resources of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent: NIGMI, 2007. – 132 s. (in Russian)

**УДК: 551.48**

## **ИҚЛИМ ЎЗГАРИШИНИНГ МЕТЕОРОЛОГИК ҚУРҒОҚЧИЛИККА ТАЪСИРИНИ БАҲОЛАШ (ЧИРЧИҚ ДАРЁСИ ҲАВЗАСИ МИСОЛИДА)**

**К.Р. РАХМОНОВ<sup>1\*</sup>, Ғ.Ў. УМИРЗАҚОВ<sup>1</sup>, Б.Р. РАПИҚОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, k.rakhmonov@nuu.uz, g.umirzakov@nuu.uz, b.rapiqov@nuu.uz

**Аннотация.** Тадқиқот ишида асосий эътибор иқлим ўзгариши шароитида Чирчиқ дарёси ҳавзасида метеорологик қурғоқчиликни баҳолаш масалаларига қаратилган. Мақсадни амалга ошириш учун, Чирчиқ дарёси ҳавзасида жойлашган Писком метеорологик станцияси танлаб олинди. Мазкур метеорологик станцияда қўзатишга оид ойлик атмосфера ёгинлари маълумотлари асосида стандартлаштирилган ёгингарчилик индекслари (SPI) иккита базавий иқлимий даврлар учун ҳисобланди ҳамда FAO классификацияси асосида уларнинг даврий ўзгариши баҳоланди. Тадқиқот натижаларига кўра, биринчи базавий иқлимий давр (1961-1990 йй.)га нисбатан иккинчи базавий иқлимий давр (1990-2020 йй.)да қурғоқчиликнинг тақрорланиши ортадан аниқланди.

**Калит сўзлар:** иқлим ўзгариши, иқлимий давр, метеорологик қурғоқчилик, стандартлаштирилган ёгингарчилик индекси, қурғоқчилик тақрорланиши, миқдорий баҳолаш.

**Кириш.** Бугунги кунда Ўрта Осиё минтақасида сув ресурслари билан боғлиқ бўлган қатор муаммолар кўзга ташланмоқда. Буларнинг асосий сабаби сув ресурсларининг танқислиги ва улардан нооқилона фойдаланишидир. Бундан ташқари, сув

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

ресурсларининг етишмаслигига албатта метеорологик омиллар ҳам ўз таъсирини кўрсатади. Чунки, ҳавзадаги метеорологик қурғоқчилик оқибатида гидрологик қурғоқчилик юзага келади.

Метеорологик қурғоқчиликнинг асосий белгиси сифатида муайян вақтда атмосфера ёғинлари миқдорининг кўп йиллик меъёрга нисбатан камлигини келтиришимиз мумкин. Бунинг оқибатида дарё хавзаларида сув ресурслари тақчиллиги, яъни кам сувли йиллар намоён бўлади. Шунингдек, иқлим ўзгариши нафақат ер юзаси ҳароратининг ортишига, шу билан бирга атмосфера ёғинларини вақт ва ҳудуд бўйича нотекис тақсимланишига ҳам таъсир этмоқда. Юқоридагиларни ҳисобга олган ҳолда, бугунги кунда метеорологик қурғоқчиликни тадқиқ этиш **долзарб** масалалардан бири ҳисобланади.

Ушбу турдаги масалалар В.Е.Чуб [Чуб, 2007], Н.А.Агальцева [Агальцева и др., 2010], Ю.В.Петров [Петров, 2021], Н.Рахматова [Rakhmatova et al., 2021] каби маҳаллий ва Т.М.Кее [McKee et al., 1993], М.Свобода [Свобода и др., 2012], К.Наслингер [Haslinger et al., 2014], Z.Li [Li et al., 2017], J.Wu [Wu et al., 2017], Н.Гуо [Guo et al., 2018] ва бошқа хорижий тадқиқотчилар томонидан ўрганилган.

Мазкур тадқиқот ишининг асосий **мақсади** иқлим ўзгариши шароитида Чирчиқ дарёси хавзасида содир бўлган метеорологик қурғоқчиликни аниқлаш ва баҳолашдан иборат. Метеорологик қурғоқчилик индексларини 3 ойлик, 6 ойлик ва йиллик вақт оралиқлари учун ҳисоблаш, уларни базавий ҳамда жорий иқлимий даврлар бўйича Бирлашган Миллатлар Озиқ-овқат ва кишлок хўжалиги ташкилоти (Food and Agriculture Organization – FAO) қурғоқчилик таснифи асосида баҳолаш тадқиқот ишининг асосий **вазифалари** ҳисобланади.

Ишнинг **тадқиқот объекти** сифатида Чирчиқ дарёси хавзасининг тоғли қисмида жойлашган Писком метеостанцияси танлаб олинди. Ҳавзада юз бераётган метеорологик қурғоқчиликни иқлим ўзгариши шароитида баҳолаш ишнинг **тадқиқот предмети** ҳисобланади.

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Тадқиқот ишида Писком метеостанциясида кузатилган ойлик атмосфера ёғини миқдорлари маълумотларидан фойдаланилди. Мазкур атмосфера ёғини маълумотлари асосида 1961-2020 йиллар, яъни 60 йиллик давр учун стандартлаштирилган ёғингарчилик индекслари (SPI) ҳисобланди.

SPI метеорологик қурғоқчиликни турли вақт оралиғида тавсифлаш учун кенг қўлланиладиган индексдир. Қисқа вақт (1-3 ой) оралиғида SPI орқали тупроқ намлиги ўзгариши ўрганилса, узокроқ вақт (6-18 ой) оралиғида дарё оқимини шаклланиши ва сув омборларини бошқариш билан боғлиқ масалаларни тадқиқ этиш мумкин. SPI ни иқлими сезиларли даражада фарқ қиладиган минтақалар бўйича ҳам қиёслаш мумкин. SPI ни ҳисоблашнинг биринчи босқичи ёғингарчиликнинг узок муддатли вақт сериясига ишончли тарзда мос келадиган маълум бир эҳтимоллик тақсимотини, масалан, Гамма тақсимоти, тўлиқ бўлмаган Бета тақсимоти ва Пирсон III тақсимотини тўғри танлаш ва ушбу тақсимотга мослаштиришдан иборатдир [Svoboda, Brian, 2016]. SPI ни ҳисоблашда Гамма тақсимоти кенг қўлланилади, чунки ушбу тақсимотнинг ёғингарчилик тақсимотига мослик даражаси юқорилиги аниқланган [McKee et al., 1993].

SPI муайян вақт оралиғидаги ёғингарчилик эҳтимолига асосланган индекс ҳисобланади. Ойлик маълумотлардан фойдаланган ҳолда SPI 1 ойдан 96 ойгача бўлган турли даврлар учун аниқланиши мумкин. Муайян даврда кузатилган SPI нинг мусбат қийматлари ёғинларнинг кўп йиллик ўртача миқдоридан кўп, манфий қийматлари эса кам бўлганлигидан далолат беради. SPI индексининг даражасига қараб, ҳавзада содир бўлаётган метеорологик қурғоқчиликни таснифлаш имкони мавжуд.

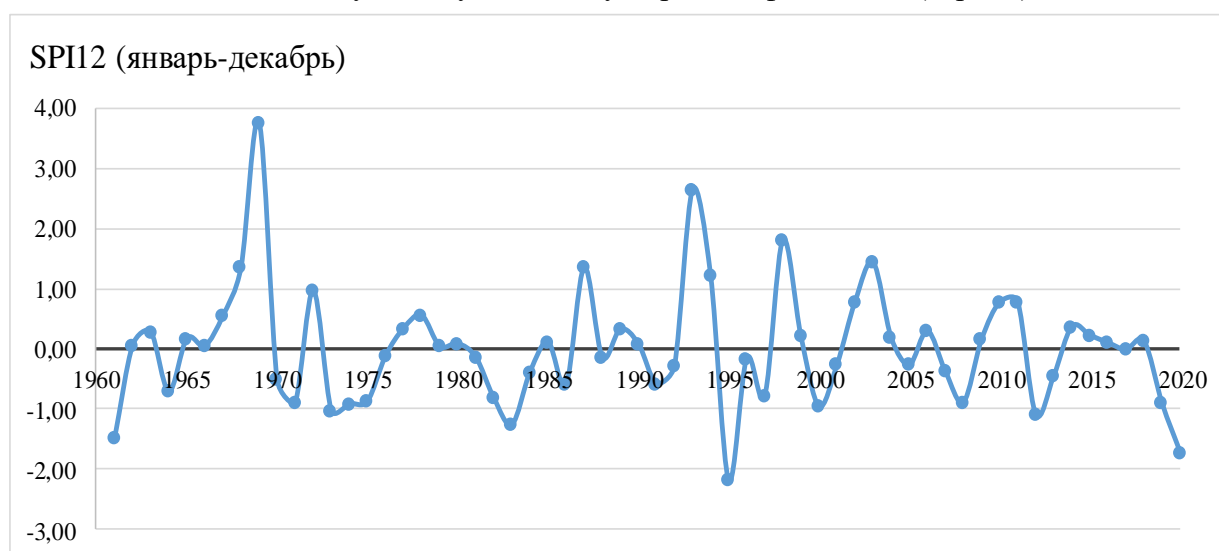
Мазкур ишда кузатув маълумотлари қаторлари 1961-1990 йй. ва 1991-2020 йй. базавий иқлимий даврларига мос келувчи ҳисоб йилларига ажратилди.

Ишда метеорологик қурғоқчилик индекслари асосан 3 ойлик, 6 ойлик ва йиллик вақт оралиқлари (даврлар) учун ҳисобланди. Ҳисобланган индекслар иккита базавий иқлимий даврлар учун FAОнинг қурғоқчилик классификацияси мезонлари асосида баҳоланди.

Қурғоқчилик классификацияси мезонлари қуйидагича:

- 1) индекснинг қиймати + 2,0 дан катта бўлса – *экстремал нам*;
- 2) +1,5 - +1,99 оралиқларда ўзгарса – *жуда нам*;
- 3) +1,0 - +1,49 оралиқларда ўзгарса – *ўрта нам*;
- 4) -0,99 ва +0,99 оралиқларда ўзгарса – *меъёрга яқин*;
- 5) -1 ва -1,49 оралиқларда ўзгарса – *ўрта қурғоқчилик*;
- 6) -1,5 ва -1,99 оралиқларда ўзгарса – *қаттиқ қурғоқчилик*;
- 7) -2,0 дан кичик бўлганда эса *экстремал қурғоқчилик* сифатида баҳоланади.

Тадқиқот ишида дастлаб асосий эътибор метеорологик қурғоқчиликнинг йиллараро тебранишини ўрганишга қаратилди. Шу мақсадда, тўпланган метеорологик маълумотлар асосида йиллик SPI индекслари ҳисобланди ва график шаклда SPI қийматларининг Писком метеостанцияси бўйича кўп йиллик ўзгариши ифодаланди (1-расм).



1-расм. Писком метеостанцияси бўйича SPI12 нинг йиллараро ўзгариши (1961-2020 йй.)

Рис 1. Многолетние изменения SPI12 на метеостанции Пскем (1961-2020 гг.)

Fig 1. Inter-annual changes of SPI12 at the Pskem meteorological station (1961-2020)

Эътибор қиладиган бўлсак, 1-расмда 1969 йилда SPI индекси бошқа қийматлардан сезиларли даражада юқорилиги билан ажралиб турибди. Бунинг асосий сабаби мазкур йилда Ўрта Осиё, жумладан, Чирчиқ дарёси ҳавзасида ҳам атмосфера ёғинлари меъёрга нисбатан бир неча баробар кўп бўлган. Ушбу йилда Писком метеостанциясида кузатишган йиллик атмосфера ёғинларининг абсолют қиймати 1651 мм ни ташкил этган. Ўз навбатида, 1969 йилда SPI индекслари ҳам бошқа йиллардан кескин фарқ қилган ва унинг қиймати +3,76 га тенг бўлган. SPI нинг мазкур қиймати FAО қурғоқчилик классификацияси таснифига кўра “экстремал нам” мезонига тўғри келган.

Йиллик SPI қийматлари ўзгаришида 1995 йил ҳам алоҳида ажралиб туради. Чунки, ушбу йилда қурғоқчилик индексининг энг кичик қиймати кузатишган. Бу 1995 йилнинг анча қурғоқчил келганини англатади. Бунинг сабаби атмосфера ёғинларининг бошқа

йилларга нисбатан кам бўлганлиги билан изоҳланади. Масалан, 1995 йилда Писком метеостанциясида йиллик ёгин миқдори 452 мм бўлган бўлса, аниқланган SPI индекси ҳам шунга мос равишда -2,19 га тенг бўлган ва “экстремал қурғоқчил” йил кузатилган.

Мазкур тадқиқот ишида SPI қийматларининг календарь йил учун ҳар уч ойлик: 1) январь-март; 2) апрель-июнь; 3) июль-сентябрь; 4) октябрь-декабрь қийматлари (SPI3) ҳам аниқланди ва таҳлил қилинди.

Келтирилган ушбу даврлардаги SPI3 қийматлари ҳам FAO қурғоқчилик таснифи бўйича ўрганилди. FAO қурғоқчилик таснифи иккита базавий иқлимий даврлар учун амалга оширилди (1-жадвал).

*1-жадвал*

**SPI3нинг FAO қурғоқчилик таснифи мезонлари бўйича 1961-1990 йй. ва 1991-2020 йй. базавий иқлимий даврларидаги такрорланувчанлиги (Писком MS)**

*Таблица 1*

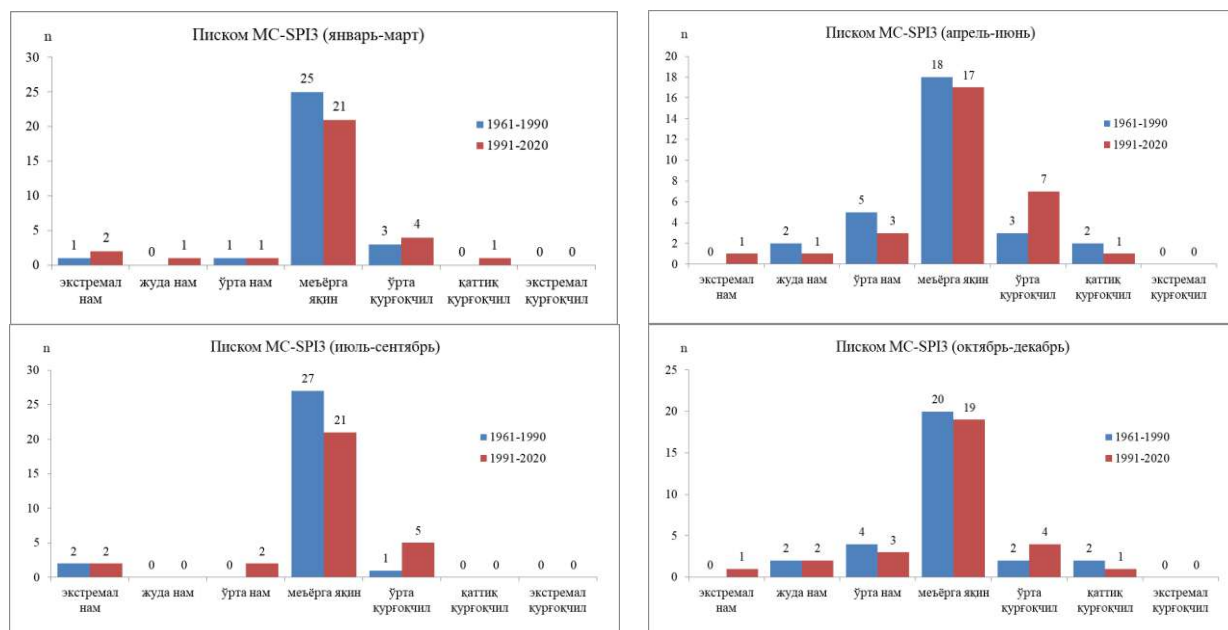
**Повторяемость SPI3 в базовых климатических периодах 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. в соответствии с критериями классификации засухи FAO (Пскем MS)**

*Table 1*

**Frequency of SPI3 in the 1961-1990 and 1991-2020 base climatic periods according to FAO drought classification criteria (Pskem MS)**

| Қурғоқчилик индекси |               | 1961-1990 йй.   | SPI3 | 1991-2020 йй.   | SPI3 |
|---------------------|---------------|-----------------|------|-----------------|------|
| экстремал нам       | > 2,0         | январь-март     | 1    | январь-март     | 2    |
| жуда нам            | 1,5 ÷ 1,99    |                 | 0    |                 | 1    |
| ўрта нам            | 1,0 ÷ 1,49    |                 | 1    |                 | 1    |
| меъёрга яқин        | -0,99 ÷ +1,99 |                 | 25   |                 | 21   |
| ўрта қурғоқчил      | -1,0 ÷ -1,49  |                 | 3    |                 | 4    |
| қаттиқ қурғоқчил    | -1,5 ÷ -1,99  |                 | 0    |                 | 1    |
| экстремал қурғоқчил | < -2,0        |                 | 0    |                 | 0    |
| экстремал нам       | > 2,0         | апрель-июнь     | 0    | апрель-июнь     | 1    |
| жуда нам            | 1,5 ÷ 1,99    |                 | 2    |                 | 1    |
| ўрта нам            | 1,0 ÷ 1,49    |                 | 5    |                 | 3    |
| меъёрга яқин        | -0,99 ÷ +1,99 |                 | 18   |                 | 17   |
| ўрта қурғоқчил      | -1,0 ÷ -1,49  |                 | 3    |                 | 7    |
| қаттиқ қурғоқчил    | -1,5 ÷ -1,99  |                 | 2    |                 | 1    |
| экстремал қурғоқчил | < -2,0        |                 | 0    |                 | 0    |
| экстремал нам       | > 2,0         | июль-сентябрь   | 2    | июль-сентябрь   | 2    |
| жуда нам            | 1,5 ÷ 1,99    |                 | 0    |                 | 0    |
| ўрта нам            | 1,0 ÷ 1,49    |                 | 0    |                 | 2    |
| меъёрга яқин        | -0,99 ÷ +1,99 |                 | 27   |                 | 21   |
| ўрта қурғоқчил      | -1,0 ÷ -1,49  |                 | 1    |                 | 5    |
| қаттиқ қурғоқчил    | -1,5 ÷ -1,99  |                 | 0    |                 | 0    |
| экстремал қурғоқчил | < -2,0        |                 | 0    |                 | 0    |
| экстремал нам       | > 2,0         | октябрь-декабрь | 0    | октябрь-декабрь | 1    |
| жуда нам            | 1,5 ÷ 1,99    |                 | 2    |                 | 2    |
| ўрта нам            | 1,0 ÷ 1,49    |                 | 4    |                 | 3    |
| меъёрга яқин        | -0,99 ÷ +1,99 |                 | 20   |                 | 19   |
| ўрта қурғоқчил      | -1,0 ÷ -1,49  |                 | 2    |                 | 4    |
| қаттиқ қурғоқчил    | -1,5 ÷ -1,99  |                 | 2    |                 | 1    |
| экстремал қурғоқчил | < -2,0        |                 | 0    |                 | 0    |

Ушбу жадвалда келтирилган маълумотлар асосида Писком метеостанцияси бўйича қурғоқчилик таснифи мезонлари асосида SPI3 қийматларининг иқлимий даврлар бўйича ўзгариши графиклари тузилди (2-расм). Мазкур графиклар иқлимий даврлардаги нам ва қурғоқчил даврларнинг такрорланувчанлигидаги ўзгаришларни ўзаро таққослашга имкон беради. Юқорида ажратилган тўрт давр (январь-март, апрель-июнь, июль-сентябрь, октябрь-декабрь)ларнинг барчасида иккинчи базавий иқлимий даврда кузатилган меъёрга яқин бўлган такрорланишлар, биринчи базавий даврдаги такрорланишларга нисбатан камайганини кўришимиз мумкин.



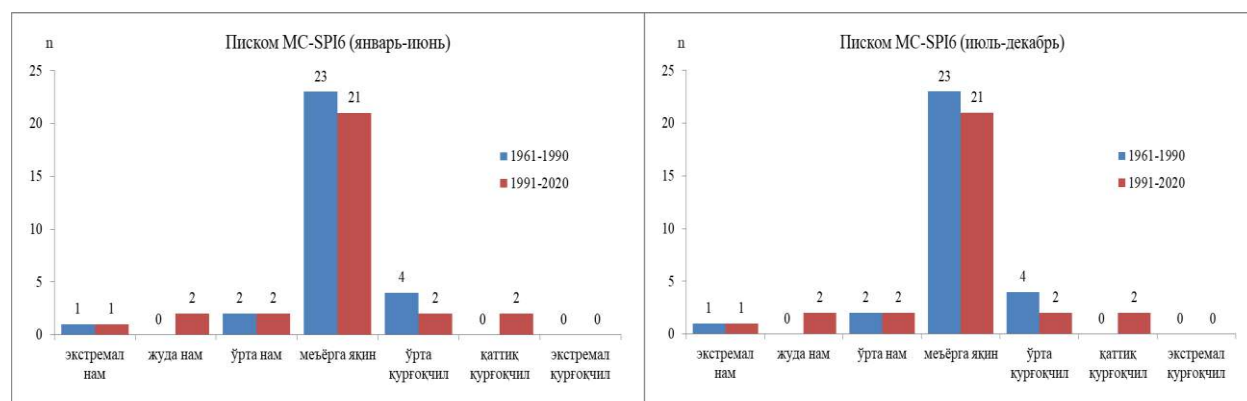
2-расм. Писком метеостанцияси бўйича SPI3 нам ва қурғоқчилик мезонларининг иқлимий даврларда такрорланиши

Рис 2. Повторение критериев засухи и влажности SPI3 на метеостанции Пскем в климатические периоды

Fig 2. Frequency of the SPI3 drought and humidity criteria at the Pskem meteostation in the climatic periods

Графиклардан кўришимиз мумкинки, биринчи базавий иқлимий давр бўйича январь-март ойларида меъёрга яқин индекслар 25 марта кузатилган бўлса, иккинчи базавий иқлимий даврда ушбу қиймат 21 мартага тўғри келади. Кейинги ойларидаги натижалар мос равишда қуйидагича: апрель-июнь 18/17, июль-сентябрь 27/21, октябрь-декабрь 20/19. Бундан ташқари, ўрта қурғоқчил йилларни ифодалайдиган индексларнинг такрорланиши жорий иқлимий даврда базавий даврга нисбатан ортганини кўришимиз мумкин. Жумладан, январь-март 3/4, апрель-июнь 3/7, июль-сентябрь 1/5, октябрь-декабрь 2/4.

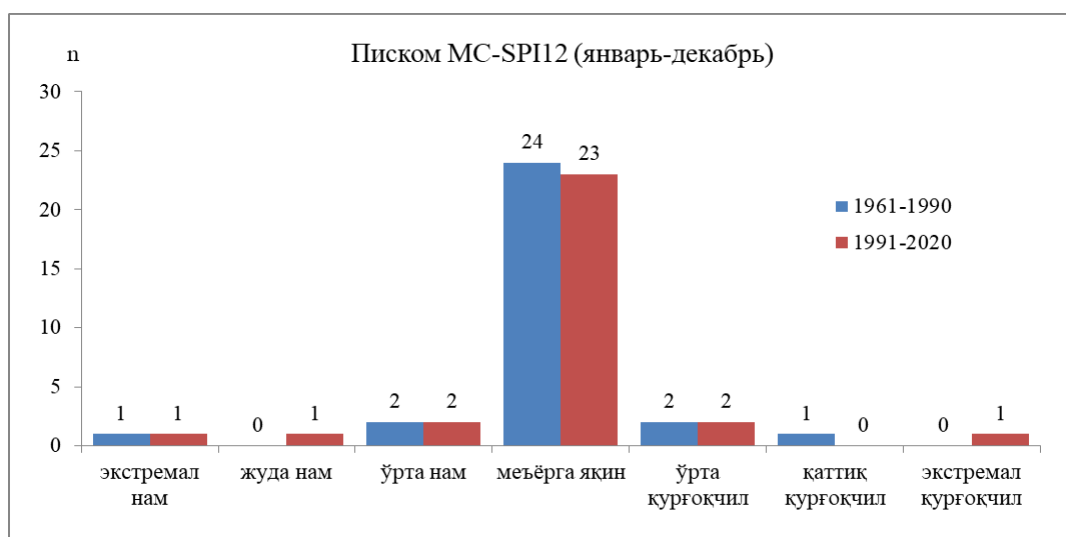
Тадқиқотнинг кейинги босқичида SPI6 қийматлари FAO қурғоқчилик таснифи бўйича баҳоланди ва улар асосида Писком метеостанцияси бўйича SPI6 қийматларининг иқлимий даврлар бўйича ўзгариши графиги чизилди (3-расм). Мазкур графикда ўзгаришлар ҳам SPI3 қийматларининг иқлимий даврларда ўзгариши қонуниятларига мос тушади. Бундай ўзгаришларни SPI12 қийматларининг иқлимий даврларда ўзгариши графигидан ҳам кўришимиз мумкин (4-расм).



**3-расм. Писком метеостанцияси бўйича SPI6 нам ва қурғоқчилик мезонларининг базавий ва жорий иқлимий даврларда такрорланиши**

**Рис 3. Повторение критериев засухи и влажности SPI6 на метеостанции Пскем в базовый и текущий климатические периоды**

**Fig 3. Frequencies of the SPI6 drought and humidity criteria at the Pskem meteorostation in the base and current climatic periods**



**4-расм. Писком метеостанцияси бўйича SPI12 нам ва қурғоқчилик мезонларининг иқлимий даврларда ўзгариши**

**Рис 4. Повторение критериев засухи и влажности SPI12 на метеостанции Пскем в климатические периоды**

**Fig 4. Frequencies of the SPI12 drought and humidity criteria at the Pskem meteorostation in climatic periods**

График маълумотларидан кўриниб турибдики, иқлимий даврлардаги индексларнинг такрорланиши бир-бирдан фарқ қилади. Масалан, январь-июнь ойларида биринчи базавий иқлимий даврда меъёрга яқин бўлган индекслар 23 марта кузатилган бўлса, иккинчи базавий иқлимий даврда ушбу кўрсаткич 21 тага тенг бўлган. Йилнинг кейинги даври яъни, июль-декабрь ойларида ҳам ушбу ўзгаришлар давом этади. Ушбу ойларда биринчи базавий иқлимий даврда меъёрга яқин бўлган индекслар 25 марта

кузатилган, иккинчи базавий иқлимий даврда эса унинг қиймати 21 тага тушиб кетган. Аксинча, мазкур даврда ўрта қурғоқчил йилларнинг сони биринчи базавий иқлимий даврга нисбатан 2 тага кўпайганини кўришимиз мумкин.

Юқоридаги 4-расмдан кўриниб турибдики, иккинчи иқлимий даврга келиб меъёрга яқин бўлган SPI12 қийматларининг такрорланиши биттага камайган, яъни, биринчи иқлимий даврда 24 та, иккинчи базавий даврда 23 тага тўғри келади. Аксинча, биринчи иқлимий даврда экстремал қурғоқчилик кузатилмаган, иккинчи иқлимий даврда эса 1 та экстремал қурғоқчилик юз берган. Умумий ҳолда юқорида келтирилган барча натижалар иккинчи иқлимий давр (1991-2020 йй.)да биринчи иқлимий давр (1961-1990 йй.)га нисбатан метеорологик қурғоқчиликнинг органини кўрсатади.

Ишда олинган натижалар ва уларнинг таҳлилларига асосланган ҳолда қуйидаги хулосаларни қайд этиш мумкин:

1. Ишда метеорологик қурғоқчилик (SPI)нинг йиллараро ўзгариши ўрганилди. SPI қийматларининг Писком метеостанцияси бўйича кўп йиллик ўзгариши таҳлил қилинди. Унга кўра, 1969 йилда Писком метеостанциясида кузатилган йиллик атмосфера ёгинларининг абсолют қиймати 1651 мм ни ташкил этиб, мазкур йилдаги SPI қиймати +3,76 га тенг (экстремал нам) бўлган. Аксинча, 1995 йилда ҳавзада энг минимал индекс қийматлари кузатилган. Масалан, 1995 йилда Писком метеостанциясида йил бўйи атиги 452 мм ёгин ёққан. Шунга мос равишда мазкур йилда SPI индекси ҳам -2,19 га тенг (экстремал қурғоқчил) бўлган.

2. Писком метеостанциясида SPI3 қийматларининг биринчи базавий иқлимий давр бўйича январь-март ойларида меъёрга яқин индекслар 25 марта кузатилган бўлса, иккинчи базавий иқлимий даврда ушбу қиймат 21 мартага тўғри келган. Кейинги ойлардаги натижалар шунга мос равишда ўзгариб борган, яъни, меъёрга яқин бўлган индекслар жорий иқлимий даврда камай борган. Аксинча, ўрта қурғоқчил йилларни ифодаловчи индекслар такрорланиши ортиб борган.

3. Иқлимий даврлардаги SPI6 индексларнинг такрорланиши ҳам бир-биридан фарк қилиши аниқланди. Жумладан, январь-июнь ойларида биринчи базавий иқлимий даврда меъёрга яқин бўлган индекслар 23 марта кузатилган бўлса, иккинчи базавий иқлимий даврда ушбу кўрсаткич 21 тага тенг бўлган. Йилнинг кейинги даври яъни, июль-декабрь ойларида ҳам ушбу ўзгаришлар давом этган. Ушбу ойларда биринчи базавий иқлимий даврда меъёрга яқин бўлган индекслар 25 марта кузатилган, иккинчи базавий иқлимий даврда эса унинг қиймати 21 тага тушиб кетган. Аксинча, мазкур даврда ўрта қурғоқчил йилларнинг сони базавий иқлимий даврга нисбатан 2 тага кўпайганини кўришимиз мумкин.

**Миннатдорчилик.** Мақола муаллифлари мазкур ишни тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган ҳамкасбларига, жумладан, Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Гидрометеорология факультети жамоасига ҳамда Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ходимларига ўзларининг миннатдорчиликларини билдирадилар.

**Муаллифлар ҳиссаси.** **К.Р. Рахмонов:** мақоланинг ғояси, раҳбарлик, мақола матнини ёзиш, мақолани расмийлаштириш. **Ғ.Ў. Умирзақов:** методология, натижалар таҳлили, мақолани расмийлаштириш. **Б.Р. Рапиқов:** маълумотларни тўплаш, ҳисоблашларни бажариш, мақола матнини ёзиш. Мақола муаллифлари кўлёзманинг нашрга тавсия этилган матни билан танишдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Агальцева Н.А., Мягков С.В., Пак А.Б.* Экстремальные гидрологические явления в условиях изменения климата / Материалы Республиканской научно-практической конференции. – Ташкент:

ГИДРОИНГЕО, 2008. – С. 45-48.

*Петров Ю.В., Холматжанов Б.М., Эгамбердиев Х.Т., Ишниязова Ф.А., Буков В.А., Хайдаров М.Б.* Новый подход к классификации атмосферной засухи // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. № 1. 2021. – С. 20-36

*Свобода М., Хайес М., Вуд Д.* Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков. – ВМО, Женева, 2012 (1090). – 36 с.

*Чуб В.Е.* Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Ташкент: Voris-nashriyot, 2007. – 132 с.

*Guo H., Bao A., Ndayisaba F., Liu T., Jiapaer G., El-Tantawi A.M. and De Maeyer P.* Space-time characterization of drought events and their impacts on vegetation in Central Asia // Journal of Hydrology, V. 564, 2018. – PP. 1165-1178.

*Haslinger K., Koffler D., Schöner W. and Laaha G.* Exploring the link between meteorological drought and streamflow: Effects of climate-catchment interaction // Water Resources Research, 50(3), 2014. – PP. 2468-2487.

*Li Z., Chen Y., Fang G., Li Y.* Multivariate assessment and attribution of droughts in Central Asia // Science Report, 7, 2017. – PP. 1316-1324.

*McKee T., Nolan D., John K.* The relationship of drought frequency and duration to time scales / Proceedings of the 8 th Conference on Applied Climatology, V. 17, No. 22, 1993. – P. 136.

*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. №12 (5). – PP. 527-541.

*Svoboda M.D., Fuchs B.A.* Integrated Drought Management Programme (IDMP). Handbook of Drought Indicators and Indices. - Drought Mitigation Center Faculty Publications. 2016. -117 p.

*Wu J., Chen X., Yao H., Gao L., Chen Y., Liu M.* Non-linear relationship of hydrological drought responding to meteorological drought and impact of a large reservoir // Journal of Hydrology, V. 551, 2017. – PP. 495-507.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКУЮ ЗАСУХУ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ЧИРЧИК)

К.Р. РАХМОНОВ<sup>1</sup>, Г.У. УМИРЗАКОВ<sup>1</sup>, Б.Р. РАПИКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, komiljons@mail.ru, g.umirzakov@gmail.com, barkamol\_rapiqov@mail.ru

**Аннотация.** Основное внимание в исследованиях уделено на оценку метеорологической засухи в бассейне реки Чирчик в условиях изменения климата. Для этого была выбрана метеостанция Пскем, расположенная в горной части бассейна реки Чирчик. На основе месячных данных атмосферных осадков, наблюдаемых на данной метеостанции, были рассчитаны стандартизированные индексы осадков (SPI) для двух базовых климатических периодов, а также оценены их периодические изменения на основе классификации FAO. По результатам исследований определено увеличение повторяемости засушливых лет втором базовым климатическом периоде по сравнению первым базовым климатическим периодом.

**Ключевые слова:** изменение климата, климатический период, метеорологическая засуха, стандартизированный индекс осадков, повторяемость засухи, количественная оценка.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON METEOROLOGICAL DROUGHT (ON EXAMPLE OF THE CHIRCHIK RIVER BASIN)

K.R. RAKHMONOV<sup>1</sup>, G.U. UMIRZAKOV<sup>1</sup>, B.R. RAPIKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, komiljons@mail.ru, g.umirzakov@gmail.com, barkamol\_rapiqov@mail.ru

**Abstract.** *The main focus in this research was on the assessment of meteorological drought in the Chirchik river basin under the conditions of climate change. In order to this, Pskem meteostation was chosen, located in the mountainous part of the Chirchik river basin. Based on the monthly precipitation data observed at this meteostation, standardized precipitation indexes (SPI) were calculated for the first and second base climatic periods, and their periodic changes were estimated based on the FAO classification. According to the results of the research, it was found that frequency of dry periods increased in the second base climatic period compared to the first base climatic period.*

**Keywords:** *climate change, climatic period, meteorological drought, standartized precipitation index, drought frequency, assessment.*

## REFERENCES

*Agalseva N.A., Myagkov S.V., Pak A.B. Ekstremalnie gidrologicheskie yavleniya v usloviyakh izmeneniya klimata [Extreme hydrological events under climate change] // Materiali Respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferensii. – Tashkent: GIDROINGEO, 2008. – S. 45-48. (in Russian)*

*Chub V.Y. Izmeneniye klimata i ego vliyaniye na gidrometeorologicheskiye protsessy, agroklimaticheskiye i vodniye resursy Respubliki Uzbekistan [Climate change and its impact on hydrometeorological processes, agroclimatic and water resources of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent: Voris-nashriyot, 2007. – 132 s. (in Russian)*

*Petrov Yu.V., Xolmatjanov B.M., Egamberdiev X.T., Ishniyazova F.A., Bukov V.A., Xaydarov M.B. Noviy podxod k klassifikatsii atmosferno y zasukhi [A new approach to the atmospheric drought classification] // Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi. № 1, 2021. – S. 20-36. (in Russian)*

*Svoboda M., Khayyes M., Vud D. Rukovodstvo dlya pol'zovateley standartizirovannogo indeksa osadkov [User guide of standardized precipitation index]. – Jeneva: WMO, 2012. № 1090. – 36 s. (in Russian)*

**ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY**

УДК: 556+574.9

**ГИДРОГРАФИЯ, МОРФОМЕТРИЯ И МОНИТОРИНГ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ДЖЫЛТЫРБАС****Б.Е. АДЕНБАЕВ<sup>1\*</sup>, С.Б. КАЛАБАЕВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, bahtiyor.adenbayev@mail.ru, salauat.kalabayev@mail.ru

**Аннотация.** *Статья посвящена изучению гидрографии, морфометрии и мониторингу современного состояния озера Джылтырбас. При этом использованы стандартные платформы Google Earth и программы SAS Planet, а также фондовые материалы Каракалпакского филиала Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации, информационного портала Американской геологической службы (USGS). Выявлены амплитуды колебаний уровня воды и площади зеркала озера. За исследуемый период общий приток в озеро составил 7598,86 млн м<sup>3</sup>, а отток – 4266,38 млн м<sup>3</sup>. Максимальные значения приходной и расходной частей наблюдались в 2010 году, при этом приходная часть ( $W_n$ ) равнялась 1601 млн м<sup>3</sup>, соответственно расходная часть ( $W_p$ ) равнялась 1084,1 млн м<sup>3</sup>. В 2010 году наблюдалось также максимальное значение среднегодового уровня воды 52,17 м.*

**Ключевые слова:** *озеро Джылтырбас, уровень воды, площадь водной поверхности, длина озера, изрезанность береговой линии, средняя и максимальная глубина, колебания уровня воды, водный баланс.*

**Введение.** До недавнего времени, 40-50 лет тому назад, Южное Приаралье отличалось распространением озер различного происхождения [Турғунов, 2021]. Самые крупные из этих озер и водоемов до 60-годов минувшего столетия, в основном, питались водой реки Амударья. Исключение составляли отдельные мелкие озера, расположенные вдоль береговой зоны Аральского моря [Атлас беспозвоночных Аральского моря, 1974], так как они питались за счет притока морской воды под влиянием волнения, фильтрации и других факторов. В последующем, по мере снижения уровня Аральского моря, уменьшения естественного поступления речных вод в дельту, начали высыхать морские заливы, а также приморские и внутри-дельтовые озера. В годы благоприятного гидрологического режима, то есть до 60-годов прошлого века, в дельте Амударьи насчитывалось более 40 озер с общей площадью около 2000 км<sup>2</sup> [Рогов, 1968]. В связи с резким уменьшением стока реки Амударьи, прекращением разливов и затоплений её поймы, число озер и занимаемая ими площадь сильно сократились.

В настоящее время здесь имеется около 10 озер, часть которых образовалась в результате скопления в низинах сбросных и коллекторно-дренажных вод, поступающих с орошаемых массивов дельты. Одним из таких озер является озеро Джылтырбас. Это озеро образовалось на месте бывшего залива Джылтырбас. В настоящее время озеро Джылтырбас является одним из водоемов, имеющих большое значение в поддержании экологического состояния этого региона.

Исходя из вышеперечисленных обстоятельств, основной целью данной работы является определение основных морфометрических показателей и мониторинг современного состояния озера Джылтырбас.

\* Ответственный автор: bahtiyor.adenbayev@mail.ru, тел: +998903597219

В качестве **объекта** исследования выбрано озеро Джылтырбас. **Предметом** исследования является определение морфометрических характеристик озера и его современного состояния.

**Исходные данные и методы исследования.** В ходе работы использовались фондовые материалы Каракалпакского филиала Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации, дельтового управления Приаралья, а также материалы Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (МКВК), информационного портала Американской геологической службы (USGS).

В исследованиях применялись методы гидрологических и водохозяйственных расчетов, географического обобщения, стандартные программы компьютерных технологий для выполнения специальных расчетов и подготовки графиков.

**Основные результаты и их обсуждение.** В целях поддержания на одном уровне водных объектов, расположенных на побережье Южного Приаралья, были проведены исследования учеными и специалистами Каракалпакского отделения Академии наук Узбекистана (КОАНУз), Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации (САНИИРИ) и Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (МКВК). Среднеазиатским научно-исследовательским институтом ирригации с учетом сложившихся условий в 1975-1980 гг. был разработан вариант развития системы мелководных бассейнов на обсохшем дне Аральского моря [Южное Приаралье – новые перспективы, 2003].

На месте бывших морских заливов, а также в русле Амударьи сформированы водоемы Муйнак, Сарибас, Джылтырбас, Шеге, Макпалколь и другие небольшие озера. В целях сохранения этих водоемов были построены дамбы на их северной стороне. При этом, территория была разделена на 6 экологических зон, а озеро Джылтырбас было включено в четвертую экологическую зону. По данным Е.Курбанбаева [Курбанбаев, 2010] водоемы, расположенные в этой зоне, питаются в основном за счет коллекторно-дренажных вод и смешанных водотоков, формирующихся на орошаемых массивах.

В 1975-1989 годах Узгипроводхоз и Узгипромеливодхоз приступили к выполнению проектных работ по улучшению экологического состояния озер Южного Приаралья. В частности, в целях улучшения водоснабжения озер Муйнак, Сарыбас (Рыбачье) и Джылтырбас построены каналы и проведено их наполнение [Курбанбаев, 2010].

Для поддержания уровня воды на северо-восточном берегу озера Джылтырбас построена береговая дамба общей протяженностью 14 км, абсолютная высота дамбы 53,5 м (высота дамбы 3-3,5 м) (рис. 1). Согласно проектного плана площадь водного зеркала озера Джылтырбас составляет 353 км<sup>2</sup>, а объем воды – 781 млн. м<sup>3</sup>. В дамбе есть два шлюза с пропускной способностью 130 м<sup>3</sup>/сек. По этим шлюзам избыточная вода сбрасывается в Аральское море.

**Гидрография.** Озеро административно расположено в Муйнакском районе Республики Каракалпакстан. В восточной части озера находится Судочье-Акбеткейский государственный орнитологический заповедник, на юге – песчаные барханы, на западе – озера Майпост и Думалак, Даулбай, на севере – образовавшаяся на обсохшем дне Аральского моря песчаная пустыня Аралкумы. В юго-западной части водоема расположен населенный пункт Казахдарья, в южной – посёлок Шегера [Калабаев, 2019].

Озеро Джылтырбас питается водой из канала Казахдарья и коллекторов КС-1, КС-3. Минерализация воды в озере достигает 3,4-3,5 г/л. В минеральном составе воды преобладают сульфат- и хлорид-ионы, а среди катионов преобладают ионы натрия [Karimov, 2009]. По величине минерализации вода относится к классу сульфатных – умеренно соленых вод, пригодных для всех видов рыболовства (в зависимости от объема воды в озере).



**Рис.1. Дамба, построенная в северо-восточной части озера Джылтырбас**

**Fig.1. Dam built in the northeastern part Dzhyltyrbas Lake**

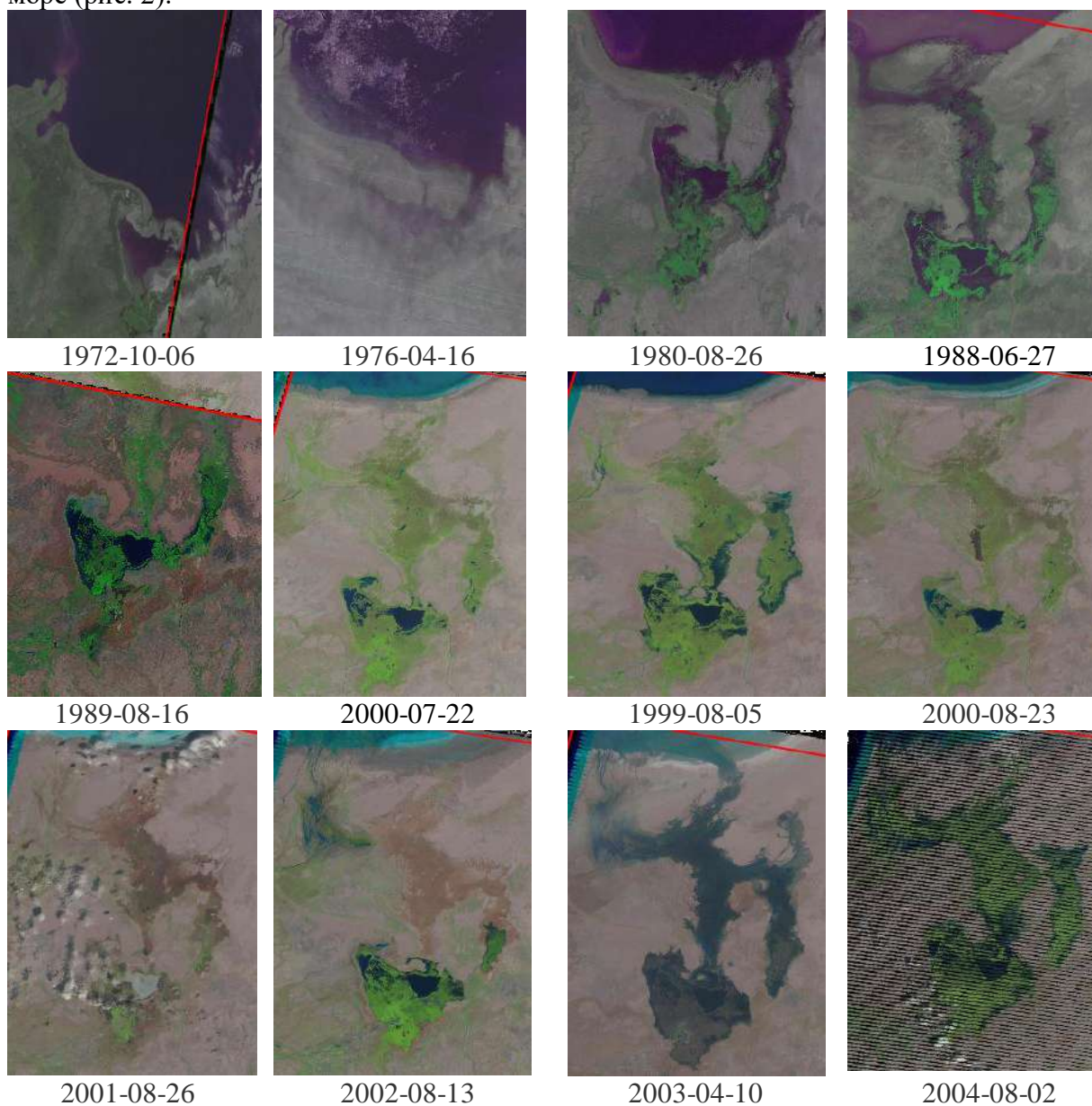
Центральная часть озера, особенно его южная часть, окружена заболоченными тростниковыми зарослями и включает в себя обширные заболоченные участки. Озеро Джылтырбас расположено на трансконтинентальном миграционном потоке птиц и играет очень важную роль в гнездовании, отдыхе и кормлении многих птиц [Духовный, 2008]. Вокруг озера растут большие разнообразные заросли вереска и тамарикса, имеются несколько артезианских скважин с низкой минерализацией воды (1,5-2,0 г/л), температуры которых в пределах 38-40°C.

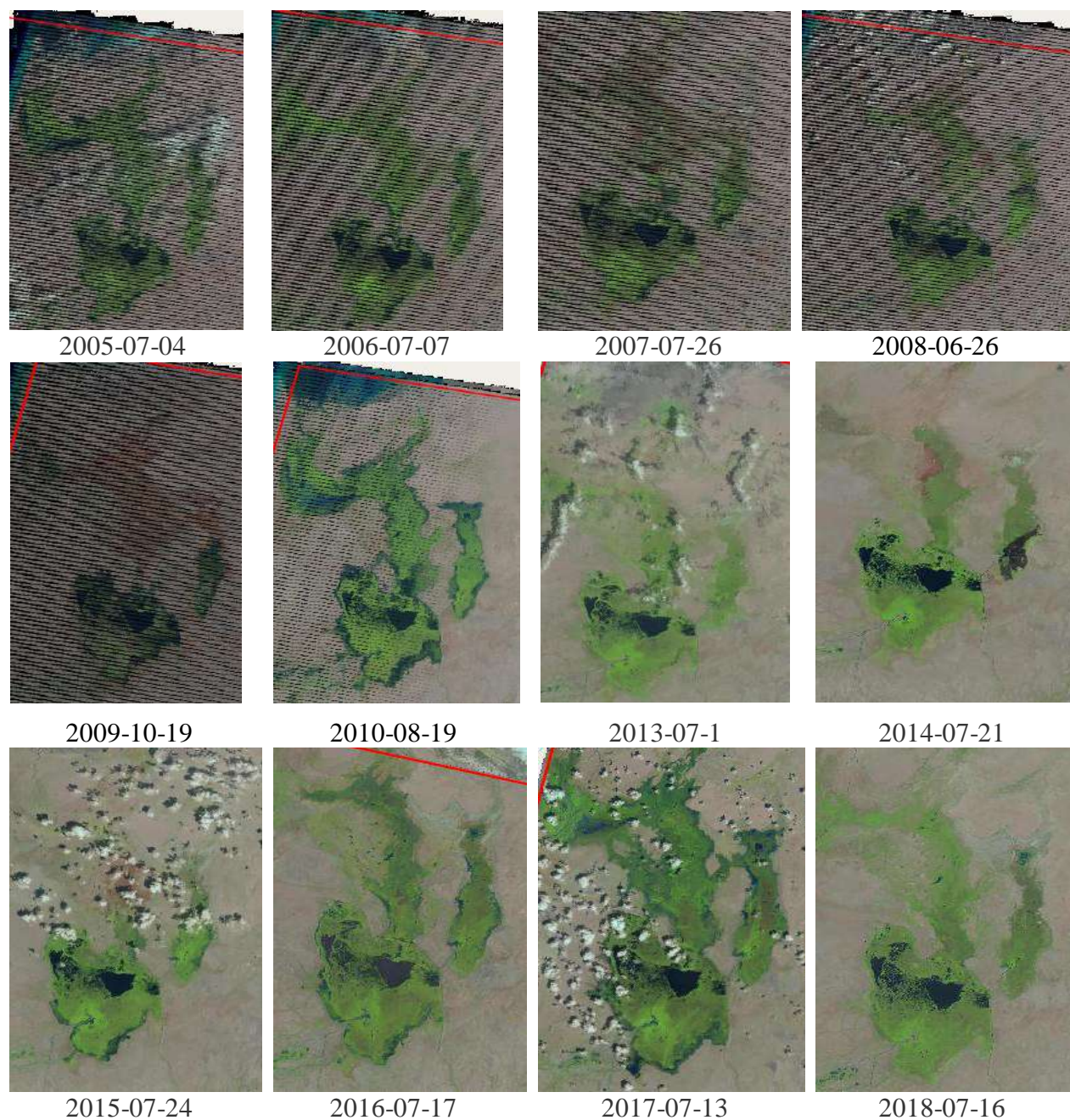
**Коллектор КС-1.** Коллектор КС-1 является межрайонным коллектором и обслуживает участки орошаемых земель Нукусского, Чимбайского, Бозатауского районов. Общая длина коллектора составляет 130,2 км. Максимальное значение расхода воды коллектора составляет 42,0 м<sup>3</sup>/с. В отдельные годы максимальная величина стока достигала 36,4 м<sup>3</sup>/с, но в последние годы она снизилась до 5,75 м<sup>3</sup>/с в связи с сокращением посевных площадей риса и уменьшением расхода воды. Минерализация воды колеблется от 1,0 г/л до 4,8 г/л, в маловодные годы увеличивается до 6,6 г/л [Константинова, 1993]. Тем не менее, в годы умеренной водности качество воды в коллекторе пригодно для обводнения озер и орошения пастбищных сенокосов.

**Коллектор КС-3.** В результате завершения работ по инженерной реконструкции коллектор КС-3 способен пропускать расход воды до 26,0 м<sup>3</sup>/с. Сокращение посевных площадей риса в зоне коллектора КС-3, привело к уменьшению расходов воды в коллекторе. Если в многоводные годы расход воды в коллекторе составлял от 9,54 м<sup>3</sup>/с до 25,2 м<sup>3</sup>/с, то с 2000 года его величина не превышала 3-5 м<sup>3</sup>/с. В средние по водности годы минерализация воды колеблется от 2,2 г/л до 5,1 г/л.

**Канал Казахдарья** построен в 1963-1968 годах. Канал является крупным рукавом реки Амударья на правом берегу и впадает в озеро Джылтырбас, протекая через посёлок Казахдарья. В последние годы количество воды в канале также резко уменьшилось из-за сокращения речного стока. Пропускная способность канала составляет  $66 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Для определения времени отделения озера от Аральского моря и образования его как отдельного водоема изучены спутниковые данные за 1972-2018 годы информационного портала Американской геологической службы (USGS). Из анализа спутниковых данных видно, что с 1980 г. связь между морем и заливом постепенно ослабевала, а к 1989 г. связь оборвалась и залив начал формироваться как отдельный водоем. Однако, в результате исследований установлено, что в отдельные многоводные годы (1992-1994, 2003-2005, 2010, 2016-2017 гг.) озеро сбрасывало свои воды в Аральское море (рис. 2).





**Рис. 2. Спутниковые снимки озера Джылтырбас в период 1972-2018 гг.**

**Fig. 2. Satellite Images of Dzhyltyrbas Lake in the period 1972-2018**

В целях повышения качества мониторинга озер Южного Приаралья в начале 2011 года за счет средств проекта САВа (Central Asian Water) построены 21 гидрологический пост, относящиеся к дельтовому управлению Приаралья. Гидрологические посты №14 и №16 расположены на Казахдарье, гидрологический пост №15 на входе в коллектор КС-1, №19 на входе в коллектор КС-3, гидрологические посты №17 и №18 расположены в двух гидротехнических сооружениях, построенных на северо-востоке озера Джылтырбас [Соколов, 2019].

В результате дальнейших исследований по данным этих гидрологических постов изучены изменения уровня воды и морфометрические характеристики озера Джылтырбас.

Во-первых, проанализирован десятилетний режим изменения уровня воды в озере. Известно, что уровенный режим озер изменяется под влиянием следующих факторов:

- соотношения между приходными (осадки, подземные воды) и расходными (испарение, поверхностный и подземный сток) частями водного баланса озера;
- морфометрических характеристик озерной чаши и озерной котловины (связь с уровнем воды в озере и площадью зеркала озера);
- формы озера, деформации берегов, влияния ветра, волн.

В ходе исследований изучались десятилетние (2008-2018 гг), годовые (сезонные) и кратковременные колебания уровня воды в озере. Амплитуда многолетних и годовых колебаний уровня воды в озере зависит от различных факторов, включая климатические условия, тип питания, водонакопление, размер озера, геологическое строение и т. д.

Абсолютные значения амплитуды колебаний уровня воды естественных озер изменяются от десятков сантиметров до 2-4 м и более в зависимости от сочетания вышеперечисленных условий. В период исследований уровень воды в озере Джылтырбас колебался от 50,63 м до 52,3 м, амплитуда уровня воды в среднем составляла 1,67 м (рис. 3).

Изменения многолетних значений объема воды в озере зависят от различных факторов. Совокупность и количество этих факторов можно оценить, составив уравнение водного баланса ( $m^3$ ):

$$W_O + W_{AY} - W_{KO} - W_B = \pm \Delta W$$

где,  $W_O$  – объем поверхностного и подземного стока,  $W_{AY}$  – объем атмосферных осадков,  $W_{KO}$  – отток из озера,  $W_B$  – испарение с поверхности озера,  $\Delta W$  – изменение объема воды, поступающего в озеро в период исследования [Калабаев, 2019].

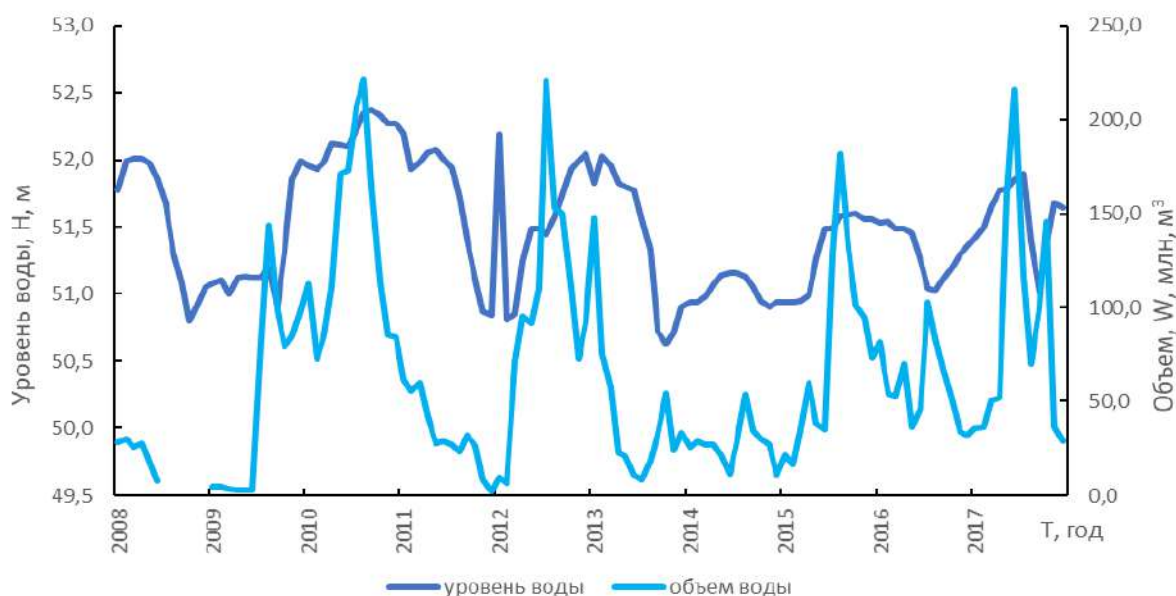


Рис. 3. Межгодовые колебания уровня и объема воды озера Джылтырбас

Fig. 3. Interannual fluctuations in water level and volume inflow of Dzhyltyrbas Lake

За исследуемый период (2008-2018 гг.) общий приток воды в озеро составил 7598,86 млн. м<sup>3</sup>, а отток – 4266,38 млн. м<sup>3</sup>. Максимальные значения приходной и расходной частей наблюдались в 2010 году, при этом приходная часть ( $W_{п}$ ) равнялась 1601 млн. м<sup>3</sup>, расходная часть ( $W_{р}$ ) – 1084,1 млн. м<sup>3</sup>. В результате выпадения большого количества осадков в этом году наблюдалось самое высокое среднегодовое значение уровня воды – 52,17 м. Величина притока в озеро является основным фактором, влияющим на режим уровня воды, что хорошо видно из анализа уравнения водного баланса и рисунка 3.

Сезонные колебания уровня воды озера зависят от сезонных изменений количества воды в реке и метеорологических условий. При изучении сезонных колебаний было установлено, что наименьшее значение средних месячных уровней воды соответствует осеннему сезону (октябрь-ноябрь) 50,63-50,94 м, а наибольшее значение уровня воды соответствует летнему сезону (август) 52,3 м. Уровень воды в озере преимущественно низкий в зимние и осенние месяцы (рис. 4). Такое колебание уровня воды связано со стоком, поступающим из коллекторов КС-1, КС-3 и канала Казахдарья. Например, из этих водотоков в летние месяцы в озеро поступает 117-220 млн. м<sup>3</sup> воды, а в осенне-зимние месяцы – 27-52 млн. м<sup>3</sup> воды. В связи с малой испаряемостью в осенне-зимний периоды и наоборот высокой испаряемостью в летние месяцы амплитуда сезонных колебаний уровня воды в озере составляет 1-1,5 м.

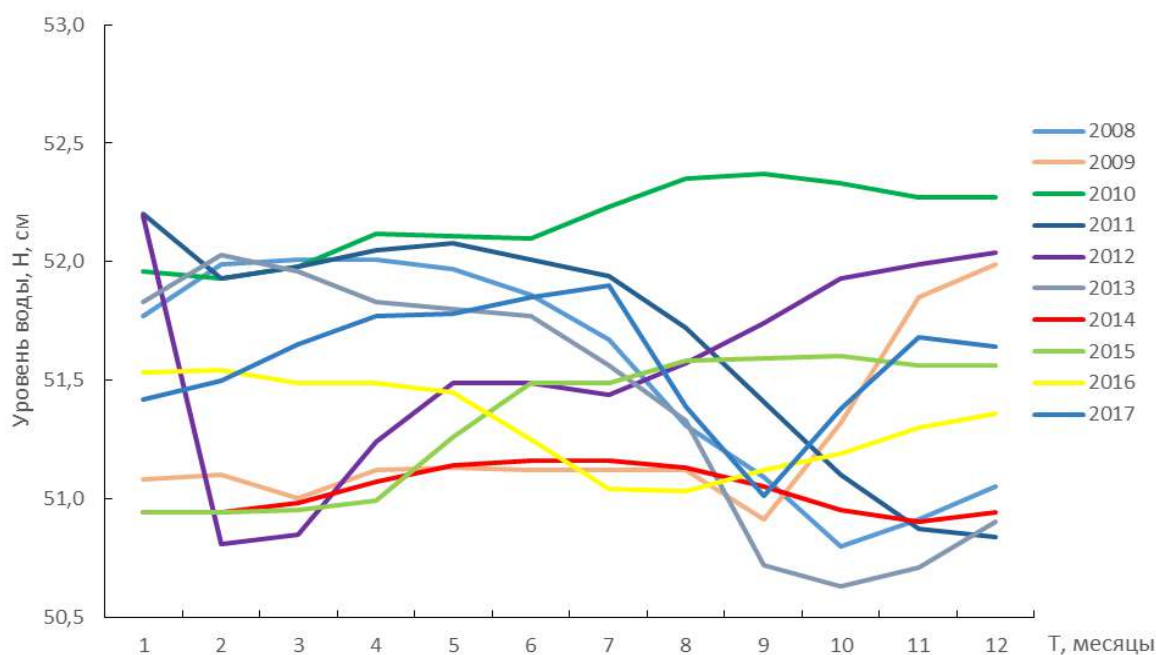


Рис.4. Внутригодовое распределение уровня воды озера Джылтырбас

Fig.4. Intra-annual distribution of the water level of Dzhyltyrbas Lake

Колебания уровня воды в озере происходят в результате волнения, усиления ветра и сейш. Средняя глубина озера составляет 1,2-1,7 м, максимальная глубина достигает 3,2 м.

**Морфометрия.** На основе ГИС-технологий составлен водный кадастр исследуемого водоема. Для этого были использованы платформы Google Earth и программа SAS Planet. По полученным результатам определены следующие морфометрические параметры озера Джылтырбас: длина озера (км), длина береговой

линии (км), максимальная ширина (км), средняя ширина (км), площадь зеркала (км<sup>2</sup>) (табл.1).

Таблица 1

## Морфометрические показатели озера Джылтырбас

Table 1

## Morphometric parameters of Dzhylytyrbas Lake

| Год  | Длина, км | Протяженность береговой линии, км | Максимальная ширина, км | Средняя ширина, км | Площадь зеркала, км <sup>2</sup> |
|------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 2006 | 30,17     | 104,00                            | 19,40                   | 12,4               | 374,7                            |
| 2010 | 31,70     | 109,62                            | 20,0                    | 13,4               | 422,6                            |
| 2014 | 27,50     | 97,46                             | 18,7                    | 12,1               | 333,1                            |
| 2018 | 31,30     | 105,63                            | 19,8                    | 12,7               | 398,2                            |

Максимальную и среднюю глубину озера невозможно определить, используя Google карты или приведенные выше программы. Эти характеристики определяются измерениями, расчетами и по топографическими картами крупного масштаба. По данным дельтового управления Приаралья за 2019 год в озере Джылтырбас объем воды составлял 447,1 млн м<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 297 млн м<sup>3</sup>, средняя глубина – 1,5 м.

**Мониторинг современного состояния озера.** В течение 2010-2018 годов проводился мониторинг водной поверхности и площади поверхности водно-болотных угодий (ветландов) озера Джылтырбас. За исследуемый период максимальное значение площади открытой водной поверхности озера наблюдалось в 2010 г. (422 км<sup>2</sup>), а минимальное – в 2011 г. (50,6 км<sup>2</sup> га), то есть за год рассматриваемая площадь уменьшилась в 8 раз (рис. 5).

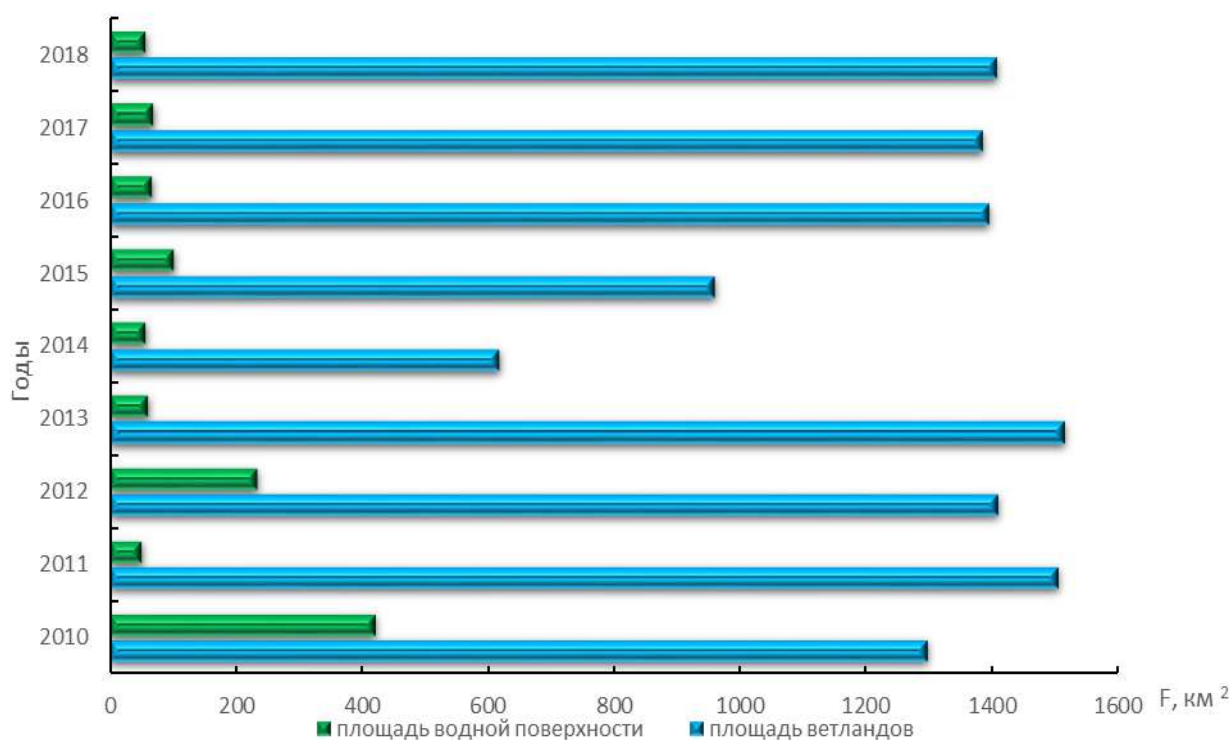


Рис. 5. Динамика площади водной поверхности и площади ветландов

Fig. 5. Dynamics of the water surface and area of wetlands

В 2010-2018 годах площадь открытой водной поверхности озера демонстрировала переменную и неустойчивую динамику. Кроме того, водная поверхность озера сильно изменчива и неустойчива в течение нескольких месяцев. При изучении значений площади ветландов было замечено, что наибольшая площадь была в 2013 г. (1516 км<sup>2</sup>), а минимальная – в 2014 г. (618 км<sup>2</sup>), то есть наблюдается уменьшение почти в 2,5 раза. В последний год периода наблюдений (2018 г.) водная поверхность озера равнялась 57 км<sup>2</sup>, а площадь водно-болотных угодий (ветландов) – 1400 км<sup>2</sup>.

По данным мониторинга состояния озера, наибольшая приходная часть водного баланса в 2010 году составила 1601 млн м<sup>3</sup>, а расходная часть – 1084 млн м<sup>3</sup>. В ходе исследования выяснилось, что большое испарение (900-1000 мм), мелководье ( $h=1,2-1,7$  м) и изменения количества воды, поступающей в озеро, резко меняют экосистему и гидрологический режим озера. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что на озере нет достаточных естественных условий для устойчивого развития экологического состояния озера.

**Выводы.** Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы.

Джылтырбас – одно из крупнейших озер (после озера Судочье) в районе Южного Приаралья. По данным спутникового информационного портала Геологической службы США (USGS) за 1972-2018 годы выявлено, что в 1980 году связь залива с морем ослабла, а в 1989 году связь оборвалась и он начал формироваться как отдельный водоем. Однако, в отдельные многоводные годы озеро сбрасывало свои воды в Аральское море.

Минерализация воды в озере достигает 3,4-3,5 г/л, в составе воды преобладали сульфат- и хлорид-ионы, среди катионов – ионы натрия.

За исследуемый период уровень воды изменился с 50,6 м до 52,3 м, а амплитуда уровня воды равнялась 1,67 м. При изучении сезонных колебаний уровня воды озера наименьшее значение среднего месячного уровня воды соответствовало осеннему сезону (октябрь-ноябрь) и колебалось в пределах 50,6-50,9 м, наибольшее значение уровня воды соответствовало летнему сезону. Уровень воды в озере низкий в зимние и осенние месяцы. В связи с высокой испаряемостью, в летние месяцы амплитуда сезонных колебаний уровня воды составляет 1-1,5 м.

При изучении морфометрических характеристик озера выяснилось, что максимальные значения наблюдались в 2010 году: длина озера составляла 31,7 км, длина береговой линии – 110 км, максимальная ширина – 20,0 км, площадь водной поверхности – 422 км<sup>2</sup>. По состоянию 2019 года объем воды в озере составлял 447,1 млн. м<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 297 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 1,5 м.

За исследуемый период (2006-2018 гг.) максимальное и минимальное значения площади открытой водной поверхности озера различались в 8 раз. Площадь открытой водной поверхности озера в рассматриваемый период демонстрировала изменяющуюся и неустойчивую динамику. Наибольшая площадь заболоченного участка озера отличалась от минимального значения в 2,5 раза. В 2018 г. водная поверхность озера равнялась 57 км<sup>2</sup>, а площадь водно-болотных угодий – 1400 км<sup>2</sup>.

Как уже упоминалось выше, основным источником питания озер, расположенных в районе Южного Приаралья, являются речные и коллекторно-дренажные воды. В связи с этим, гидрологический режим и морфометрические характеристики озера Джылтырбас зависят от объема речных и коллекторно-дренажных вод. Проведение мониторинга гидрологического режима показывает, что ежегодное уменьшение стока реки Амударья ставит под вопрос будущее состояние экосистемы озера. Если в течение года в озеро не будет поступать вода из реки и коллекторов, то оно практически высохнет.

**Вклад авторов.** **Б.Е. Аденбаев:** научное руководство, постановка задачи, анализ результатов, написание текста. **С.Б. Калабаев:** сбор и обработка материалов, табличное и

графическое представление результатов, оформление. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

- Атлас беспозвоночных Аральского моря. – М.: Пищ. пром-сть, 1974. – 272 с.
- Догановский А.М. Уровенный режим озер – интегральный показатель климатических и экологических изменений // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – С. 103-110.
- Калабаев С.Б., Йўлдошбаева М.Р. Қуйи Амударё сув объектларининг гидрографик тавсифи / Ўзбекистон География жамияти, 56-том. 2019. – Б. 235-239.
- Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря» / Под ред. проф. В.А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. – 190 с.
- Константинова Л.Г. Функционирование бактериальных сообществ водоемов и водотоков Южного Приаралья в условиях антропогенного воздействия: Дисс. докт. биол. наук / Институт микробиологии. – Ташкент, 1993. – 328 с.
- Курбанбаев Е., Артыков О., Курбанбаев С. Интегрированное управление водными ресурсами в дельте реки Амударьи. – Ташкент: 2010. – 145 с.
- Мониторинг биоразнообразия ветландов Южного Приаралья. Под ред. Соколова В.И. – Ташкент: «Агентство МФСА», 2019 - 61 с.
- Рогов М.М., Ходкин С.С., Ревина С.К. Гидрология устьевой области Амударьи. – М.: Гидрометеиздат, 1968. – 268 с.
- Тургунов Д.М., Султашова О.Г., Калабаев С.Б., Йўлдошбаева М.Р. Давутқўл кўлининг сув сатҳи режими / Гидрометеорология, иқлим ўзгариши ва атроф-муҳит мониторинги: долзарб муаммолар ва уларни ҳал қилиш йўллари. Халқаро илмий-амалий конференция. – Тошкент, 2021. – Б. 232-235.
- Южное Приаралье – новые перспективы. Под ред. проф. В.А. Духовного и Ю. Де Шуттера. – Ташкент: «Нори», 2003. – 154 с.
- Karimov B., Kamilov B., Upare M., Van Anrooy R., Bueno P., Shokhimardanov D. Inlandcapture fisheries and aquaculture in the Republic of Uzbekistan: current status and planning // FAO Fisheries and Aquaculture circular. Rome, FAO. 2009. № 1030/1. 124 p.

## ЖИЛТИРБАС КЎЛИНИНГ ГИДРОГРАФИЯСИ, МОРФОМЕТРИЯСИ ВА ҲОЗИРГИ ҲОЛАТИ МОНИТОРИНГИ

Б.Е. АДЕНБАЕВ<sup>1</sup>, С.Б. КАЛАБАЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети,  
bahtiyor.adenbayev@mail.ru, salauat.kalabayev@mail.ru

**Аннотация.** Мақола Жилтирбас кўлининг гидрографияси, морфометрияси ва ҳозирги ҳолатининг мониторингини ўрганиш масалаларига бағишланган. Иини бажариши жараёнида Ўрта Осиё ирригация илмий тадқиқот институти Қорақалпоғистон филиали, Орол бўйи дельта бошқармаси ҳамда Америка геология хизматининг (USGS) ахборот портали маълумотларидан, шунингдек, Google Earth платформаси ва SAS Planet дастурларидан фойдаланилди. Ўрганилаётган давр оралгида кўлга умумий ҳажмда 7598,86 млн. м<sup>3</sup> сув тушган бўлса, чиқим қисми эса 4266,38 млн. м<sup>3</sup> ни ташкил этган. Қирим ва чиқим қисмларининг максимал қийматлари 2010 йилда кузатилиб, мос равишда ( $W_1$ ) 1601 млн. м<sup>3</sup>, ( $W_2$ ) 1084,1 млн. м<sup>3</sup> га тенг бўлган. Мазкур йилда кўлга катта ҳажмдаги сув тушганлиги натижасида сув сатҳининг ўртача йиллик қиймати 52,17 м ни ташкил этган.

**Калит сўзлари:** Жилтирбас кўли, сув сатҳи, сув юзаси майдони, кўл узунлиги, қирғоқ чизигининг узунлиги, ўртача ва максимал чуқурлик, сув сатҳининг тебраниши, сув баланси.

**HYDROGRAPHY, MORPHOMETRY AND MONITORING OF THE  
PRESENT STATE OF DZHILTIRBAS LAKE****B.E. ADENBAYEV<sup>1</sup>, S.B. KALABAEV<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
bahtiyor.adenbayev@mail.ru, salauat.kalabayev@mail.ru

**Abstract.** *The article is devoted to the study of hydrography, morphometry and monitoring of the current state of the Dzhylytyrbas Lake. At the same time, standard Google Earth platforms and SAS Planet programs were used, as well as stock materials of the Karakalpak branch of the Central Asian Research Institute of Irrigation, the information portal of the American Geological Survey (USGS). The amplitudes of fluctuations in the water level and the surface area of the lake are revealed. During the study period, the total inflow into the lake was 7598.86 million m<sup>3</sup>, and the outflow was 4266.38 million m<sup>3</sup>. The maximum values of the incoming and outgoing parts were observed in 2010, while the incoming part (Wp) was equal to 1601 million m<sup>3</sup>, and the outgoing part (Wr) was equal to 1084.1 million m<sup>3</sup>. In 2010, the maximum value of the average annual water level of 52.17 m was also observed.*

**Keywords:** *Dzhylytyrbas Lake, water level, water surface areas, lake length, indentation of the coastline, average and maximum depth, fluctuations in water levels, water balance.*

**REFERENCES**

Atlas bespozvonochnykh Aralskogo morya [Atlas of invertebrates of the Aral Sea]. – M.: Pishch. prom-st, 1974. – 272 s. (in Russian)

*Doganovsky A.M.* Urovennyj rejim ozer – integralnyj pokazatel klimaticheskix i ekologicheskix izmeniy [The level regime of lakes is an integral indicator of climatic and environmental changes] // Trudi Vsesoyuznogo gidrologicheskogo syezda. – L.: Gidrometizdat, 1967. – S. 103-110. (in Russian)

*Kalabaev S.B., Yoldoshaeva M.R.* Quyil Amudaryo suv ob'ektlarining gidrografik tavsifi [Hydrographic description of the lower Amudarya water bodies] / O'zbekiston Geografiya jamiyati, 56-tom. 2019. – B. 235-239. (in Uzbek)

Kompleksnyye distantsionnyye i nazemnyye issledovaniya osushennogo dna Aralskogo morya [Comprehensive remote and ground studies of the dried bottom of the Aral Sea] / Pod red. prof. V.A.Duxovnogo. – Tashkent: NITS MKVK, 2008. – 190 s. (in Russian)

*Konstantinova L.G.* Funktsionirovanie bakterialnykh soobshchestv vodoemov va vodotokov Yujnogo Priaralya v usloviyax antropogennogo vozdeystviya: Diss. dokt. biol. nauk [Functioning of bacterial communities reservoirs and streams of the South Aral Sea region in the conditions of anthropogenic impact: Diss. Doc. Biol. Sciences] / Institut Mikrobiologii. – Tashkent, 1993. – 328 s. (in Russian)

*Kurbanbaev E., Artykov O., Kurbanbaev S.* Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v delte reki Amudari [Integrated water resources management in the Amudarya river delta]. – Tashkent: 2010. – 145 s. (in Russian)

Monitoring bioraznoobraziya vetlandov Yujnogo Priaralya. [Biodiversity Monitoring of Wetlands in the Southern Aral Sea]. Pod red. Sokolova V.I. – Tashkent: "Agentstvo MFSA", 2019. – 61 s. (in Russian)

*Rogov M.M., Khodkin S.S., Revina S.K.* Gidrologiya ustevoy oblasti Amudari [Hydrology of the mouth area of the Amu Darya]. – M.: Gidrometeoizdat, 1968. – 268 s. (in Russian)

*Turgunov D.M., Sultashova O.G., Kalabaev S.B., Yuldoshaeva M.R.* Davutkul kulining suv sati regimi [Water level regime of Lake Davutkol] / Gidrometeorologiya, iqlim o'zgarishlari va atrof-muxit monitoringi: dolzarb muammolar va ularni bartaraf etish yo'llari. Xalqaro ilmiy-amaliy konferentsiya. – Tashkent, 2021. – B. 232-235. (in Uzbek)

Yujnoe Priarale – novye perspektivy [South Prearalie - new perspectives]. Pod red. prof. V.A.Duxovnogo, Yu. De Shuttera. – Tashkent: "Nori", 2003. – 154 s. (in Russian)

УДК: 556.06.394.2

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

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

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

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

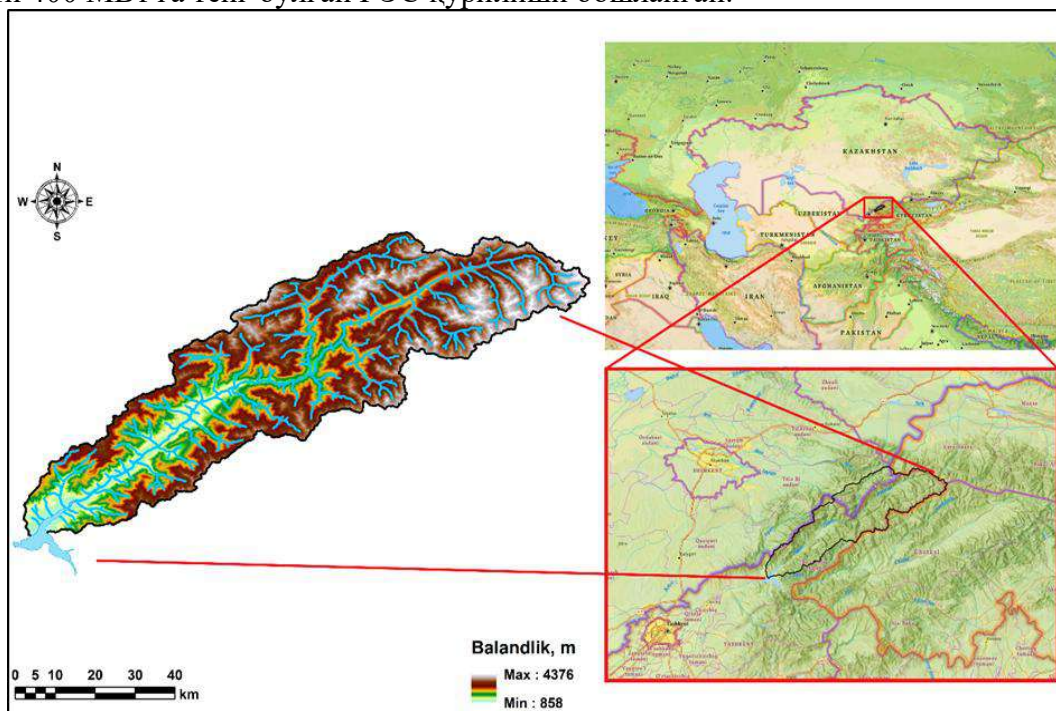
Тоғ ҳавзаларида қор захираси маълумотларини аниқлаш ёғингарчилик кўрсаткичлари ҳамда қор қопламини ўрганиш маълумотларига мувофиқ амалга оширилади. Тоғларда қор қопламининг нотекис шаклланиши, баландлик ва ёнбағирлар бўйлаб қор захираларининг катта ўзгарувчанлиги туфайли баландлик зоналари учун шаклланган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

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

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

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

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



1-расм. Писком дарёси ҳавзасининг географик жойлашиши

Рис. 1. Географическое положение бассейна реки Пскем

Fig. 1. Geographical location of Pskem River basin

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

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

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

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

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

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

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

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

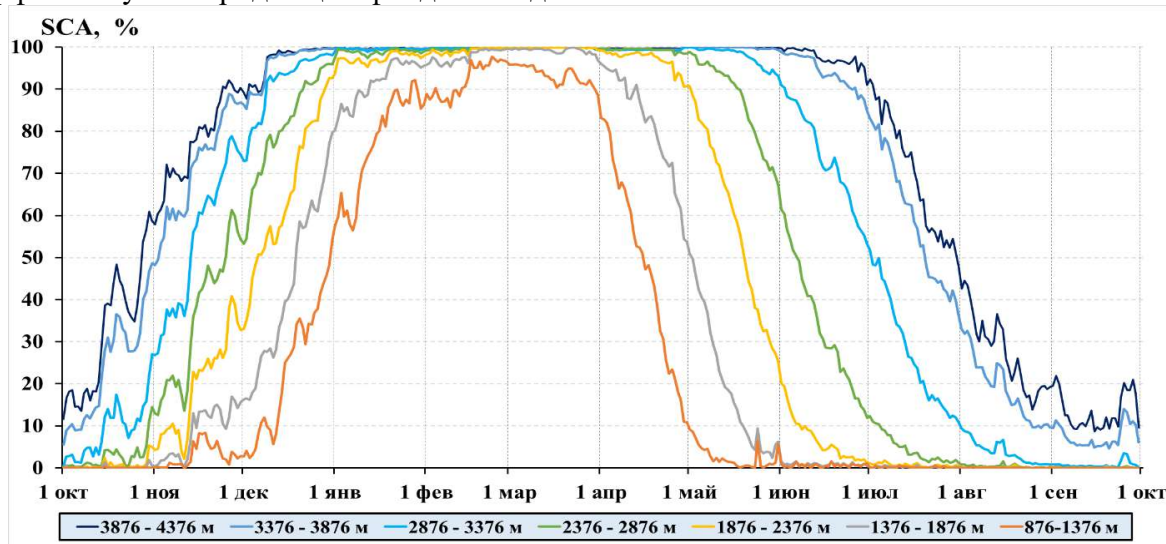
бу ерда: SCI – қор қоплами индекси (Snow Cover Index), прогноз тузиладиган муддатгача бўлган давр давомийлиги; SCA – қор қоплами майдони (Snow Cover Area), ҳавзанинг ҳар кунлик фоиз миқдорида қор билан қопланган қисми; n – кунлар сони [Калашникова, Гафуров, 2017].

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

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

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

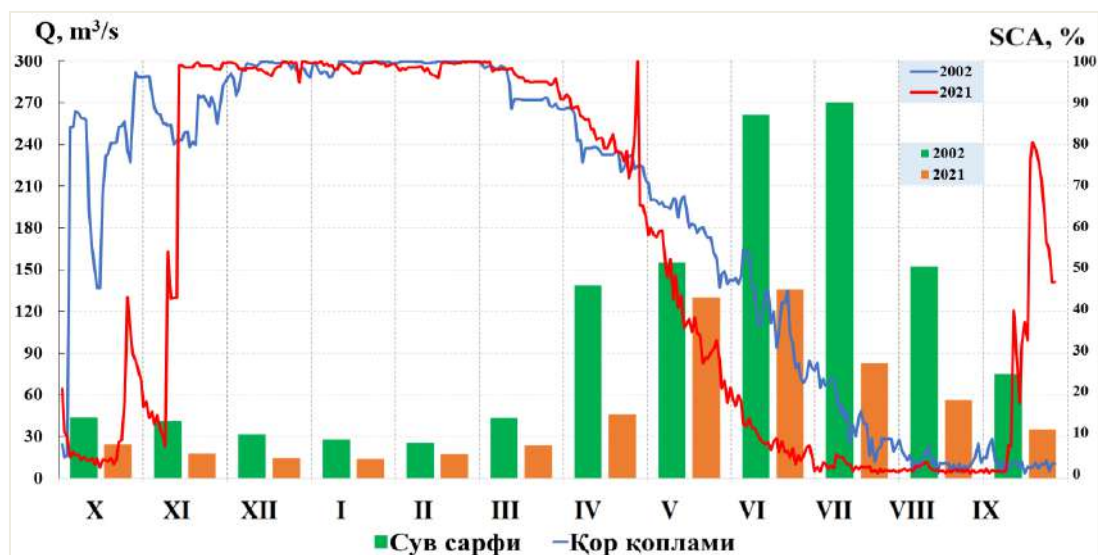
фойдаланилади [Георгиевский, Шаночкин, 1987]. Мазкур прогнозлаш тенгламаларини тузиш учун вегетация давридаги ўртача ойлик сув сарфлари ва SCI, SCA ўртасидаги жуфт корреляция коэффициентлари эмпирик ифодалар ёрдамида аниқланган [Ниязов и др., 2020]. Прогнозлаш тенгласини тузиш ва самарадорлигини баҳолашда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



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

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

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



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

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

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

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

1-жадвал

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

Таблица 1

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

Table 1

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

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

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

2-жадвал

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

Таблица 2

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

Table 2

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

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

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

3-жадвал

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

Таблица 3

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

Table 3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4-жадвал

**Жуфт корреляция коэффиценти баҳолаш мезонлари**

Таблица 4

**Показатели критерия эффективности**

Table 4

**Criteria of pairwise correlation coefficients**

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

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

Гидрологик прогнозлар абсолют хатоликларининг ўртача квадратли фарқи

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

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

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

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

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

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

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

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

5-жадвал

Самаралилик мезони кўрсаткичлари

Таблица 5

Показатели критерия эффективности

Table 5

Indicators of efficiency criteria

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

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

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

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

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

6-жадвал

## Неш-Сатклифф мезони бўйича баҳолаш кўрсаткичлари

Таблица 6

## Параметры оценки по критерию Неша-Сатклиффа

Table 6

## Evaluation parameters according to the Nash-Sutcliffe criterion

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

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

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

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

7-жадвал

## Прогнозларнинг ўзини оқлаш даражасига кўра баҳолаш кўрсаткичлари

Таблица 7

## Параметры оценки прогнозов по оправдываемости

Table 7

## Evaluation parameters according to forecast success rate

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

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

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

**Хулоса.**

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

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

8-жадвал

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

Таблица 8

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

Table 8

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

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

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

9-жадвал

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

Таблица 9

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

Table 9

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

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

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

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

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

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

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

## АДАБИЁТЛАР

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Gafurov A., Bardossy A.* Snow cover data derived from MODIS for water balance applications // Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2009(6). – PP. 791–841.

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

*Gafurov A., Ludtke S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Schone T., Schmidt S., Kalashnikova O., Merz B.* MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data // Environmental Earth Science 2016 (75):1078 doi 10.1007/s12665-016-5869-x

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## REFERENCES

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

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

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

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

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

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

**УДК: 551.578**

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

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

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

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

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

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

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

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

Оҳангарон дарёси Тошкент вилоятининг Оҳангарон, Пискент, Бўка, Қуйи Чирчиқ, Оққўрғон туманларининг саноат корхоналари, қишлоқ хўжалиги ерлари ҳамда аҳолини сув таъминотида муҳим ҳисобланади [Ҳасанов, Ғуломов, 2007]. Қор қопламининг эриган сувлари Ўрта Осиёнинг қурғоқчил ҳудудларида дарё оқимининг шаклланишининг муҳим таркибий қисми бўлиб, Тяньшан тоғ тизмаларида шаклланган қор жами дарёлар оқимининг 60% ини таъминлайди [Айзен и др., 1995]. Қор қоплами баҳорги тошқинларга, дарёлар гидрологик режимига, тупроқ қопламининг термал хусусиятларига ва намлигига бевосита таъсир кўрсатади [Singh et al., 1997]. Қор қоплами динамикасини ўрганиш сув ресурсларини прогнозлаш, бошқариш ва фойдаланишда муҳим аҳамиятга эга. Дарё ҳавзаларидаги қор захиралари қор қопламининг майдони ва қор баландлигининг турличалиги билан тавсифланади. Ҳароратнинг кўтарилиши тоғли зонадаги қор захираларининг шаклланиши учун шароитларни ёмонлаштиради ва уларнинг камайишига олиб келади. Сўнгги йилларда тоғларда қор қоплами, мавсумий қор чизиқлари юқори баландликларга силжимокда, қор қопламли кунлар сони камаймокда. Юқоридагиларни эътиборга олган ҳолда, иқлим ўзгаришининг қор қоплами динамикасига таъсирини баҳолаш **долзарб** ҳисобланади.

Тадқиқотнинг **мақсади** Ўзбекистонда қор қопламининг динамикасига глобал иқлим ўзгаришининг таъсирини баҳолашдан иборат. Тадқиқот **объекти** сифатида Оҳангарон дарёси ҳавзаси танлаб олинди.

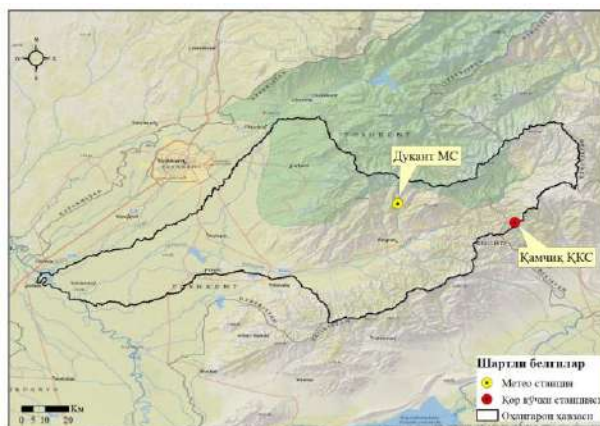
Тадқиқот ишида қуйидаги вазифалар амалга оширилди: 1) рақамли баландлик модели (DEM) маълумотлари асосида ГАТ дастури ёрдамида ўрганилаётган ҳудуднинг чегарасини аниқлаш; 2) Дукант метеостанцияси ва Қамчиқ қор кўчки станциялари маълумотлари асосида ҳавзада сўнгги ўттиз йиллик иқлим маълумотларини таҳлил қилиш; 3) ушбу маълумотлар асосида ҳавзада иқлим (метеорологик) факторларининг қор қоплами динамикасига таъсирини аниқлаш.

Тадқиқот ишида Оҳангарон ҳавзасида жойлашган метеостанциялар маълумотлари бўйича ўртача ойлик ҳаво ҳарорати, ёғинлар миқдори, қор қоплами давомийлиги каби кўрсаткичларнинг ўзгаришлари таҳлил қилинди. Ҳавзанинг қор қоплами майдонининг динамик ўзгариши масофадан зондлаш (MODIS) маълумотлари асосида ўрганилди. MODIS маълумотларига MODSNOW дастурида ёрдамида қайта ишлов берилиб, ГАТ дастури қўлланилган ҳолда ҳавзанинг кунлик қор қоплами ҳолати бўйича хариталар тайёрланди. Шунингдек, метеостанцияларда ҳаво ҳароратлари ва ёғин миқдорлари орасидаги боғланишлар Пирсон корреляция коэффициенти бўйича ҳисобланди:

$$r_p = \frac{cov}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^2}}$$

бу ерда  $x$ ,  $y$  – ўзгарувчилар,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – ўзгарувчиларнинг ўртача арифметик қийматлари,  $cov$  – ковариация коэффициенти,  $\sigma_x$  ва  $\sigma_y$  –  $x$  ва  $y$  ўзгарувчиларининг ўртача квадрат четланишлари.

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Оҳангарон дарёси ҳавзаси географик жойлашувига кўра республикамизнинг шимолий-шарқида, ғарбий Тяньшан тоғ тизмаларининг давоми ҳисобланган Чотқол ва Қурама тоғ тизмаларида жойлашган (1-расм). Ҳавзанинг тоғли қисмида метеорологик кузатишлар олиб бориладиган иккита метеостанция – Дукант метеостанцияси ва Қамчиқ қор кўчки станцияси мавжуд. Ушбу станциялар маълумотлари асосида ҳавзанинг тоғли қисмидаги метеорологик кўрсаткичларнинг ўзгаришларини кўпйиллик маълумотлар асосида таҳлил қилиш мумкин.



1-расм. Оҳангарон дарёси ҳавзаси ва метеостанциялар жойлашуви

Рис. 1. Бассейн реки Ахангаран и местоположение метеостанций

Fig. 1. Akhangaran River basin and location of meteostations

Иқлим ўзгариши тоғли ҳудудларда мавсумий қор қопламнинг давомийлиги ва қор миқдорига сезиларли таъсир кўрсатади. Тадқиқ этилаётган ҳудудда кўпйиллик маълумотлар асосида барқарор қор қоплами давомийлиги, ҳаво ҳарорати ва ёғингарчилик миқдорининг ўзгаришларини таҳлил қилиш иқлим ўзгаришининг қор қоплами динамикасига таъсирини баҳолашга имкон беради.

Тоғларда ер юзасига яқин бўлган атмосфера босими текисликларга караганда паст, ҳаво зичлиги эса камроқ, мутлақ баландлик ортиши билан ер юзасига яқин ҳаво ҳарорати пасаяди, ёғингарчилик миқдори ортиб эса боради. Таҳлилларга кўра, сўнгги 30 йилда (1991-2020 йй.) ўртача йиллик ҳаво ҳарорати Қамчиқ довоида  $6,2^{\circ}\text{C}$ , Дукантда  $8,4^{\circ}\text{C}$  ни ташкил этган. Мазкур даврда энг юқори ўртача йиллик ҳаво ҳарорати 2016 йилда Қамчиқда  $7,2^{\circ}\text{C}$ , Дукантда  $9,6^{\circ}\text{C}$  бўлган. Энг паст ўртача йиллик ҳаво ҳарорати 1993 йилда Қамчиқда  $4,7^{\circ}\text{C}$ , Дукантда  $6,9^{\circ}\text{C}$  кузатилган. Қор қоплами кузатиладиган мавсум (октябрь-март) учун ҳавзадаги сўнгги 30 йил учун кўпйиллик ойлик ўртача, максимал ва минимал ҳаво ҳароратлари 1-жадвалда келтирилган.

*1-жадвал*

Қамчиқ ҚКС ва Дукант МСда октябрь-март (X-III) ойларида кузатилган ўртача ойлик ҳаво ҳароратлари,  $^{\circ}\text{C}$  (1991-2020 йй.)

*Таблица 1*

Среднемесячная температура на СЛС Камчиқ и МС Дукант, наблюденная в октябре-марте (X-III) (1991-2020 гг.)

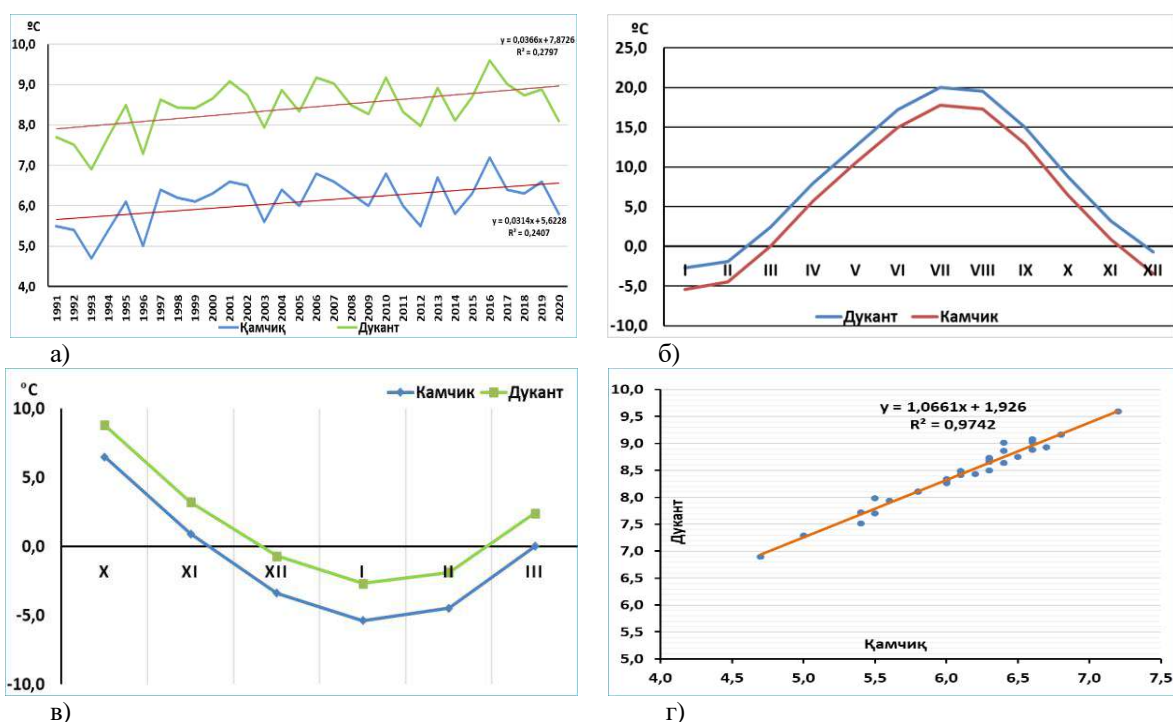
*Table 1*

Average monthly temperature at Kamchik AS and Dukant MS observed in October-March (X-III),  $^{\circ}\text{C}$  (1991-2020)

| Станция | X    | XI   | XII  | I    | II   | III | Мин. | Макс. | Ўртача |
|---------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|--------|
| Қамчиқ  | +6,5 | +0,9 | -3,4 | -5,4 | -4,5 | 0,0 | -5,4 | +6,5  | -1,0   |
| Дукант  | +8,8 | +3,2 | -0,7 | -2,7 | -1,9 | 2,4 | -2,7 | +8,8  | +1,5   |

Метеорологик ва иқлимий хусусиятларига кўра тоғлар кўп жиҳатдан текисликлардан фарқ қилади. Тадқиқ этилаётган Оҳангарон дарё ҳавзасининг тоғли қисмида сўнгги ўттиз йилликда (1991-2020 йй.) ўртача йиллик ҳаво ҳарорати кўтарилаётганлиги кузатилмоқда (2-расм).

Тадқиқот ишида ҳавзага ёққан ёгинлар миқдорларининг сўнги ўттиз йилликда ўзгаришлари ўнйилликлар бўйича таҳлил қилинди. Биринчи ўнйилликда (1991-2000 йй.) турли йилларда йиллик ёгинлар миқдорини кескин ортиши ва камайиши кузатилган; иккинчи ўнйилликда (2001-2010 йй.) ёгинлар миқдорини кескин ўзгаришларсиз камайиши кузатилган; учинчи ўнйилликда (2011-2020 йй.) ёгинлар миқдорининг камайиши давом этган (За-расм). Таҳлил этилаётган йилларда Қамчиқ қор кўчки станциясида энг кўп йиллик ёгинлар миқдори 1110 мм (1993 йй.), энг кам йиллик ёгинлар 374,5 мм (1995 йй.) қайд этилган. Дуқант метеостанциясида энг кўп йиллик ёгинлар 1482,1 мм (1998 йй.), энг кам йиллик ёгинлар 509,7 мм (1995 йй.) миқдорда кузатилган. Умуман олганда, иқлим ўзгариши шароитида тадқиқ этилаётган ҳудудда йиллик ёгинлар миқдорининг камайиб бораётганлиги аниқланди.



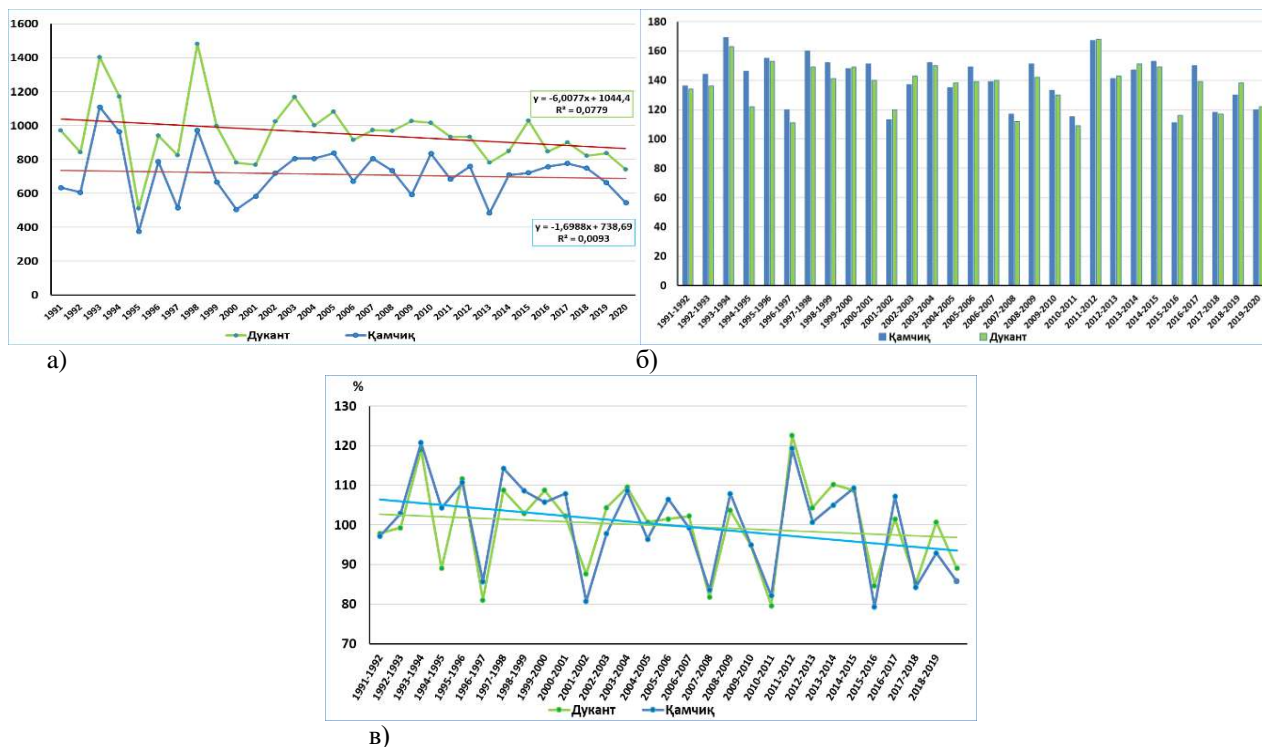
2-расм. Қамчиқ ҚКС ва Дуқант МСда: а) ўртача йиллик ҳаво ҳарорати, б) ўртача ойлик ҳаво ҳарорати, в) қиш мавсуми учун ўртача ойлик ҳаво ҳарорати, г) кўп йиллик ўртача ҳаво ҳароратлари орасидаги боғлиқлик (1991-2020 йй.)

Рис. 2. На Камчик СЛС и Дуқант МС: а) среднегодовые температуры воздуха, б) среднемесячные температуры воздуха, в) среднемесячные температуры воздуха за зимний период, г) взаимосвязь среднегодовых температур воздуха (1991-2020 гг.)

Fig. 2. At Kamchik AS and Dukant MS: a) average annual air temperatures, b) average monthly air temperatures, v) average monthly air temperatures for the winter season, g) correlation of average annual air temperatures (1991-2020)

Ўзгарувчан иқлим шароитида дарёлар оқимини шаклланиш зонасида қор қопламнинг давомийлигини таҳлил қилиш ҳавзада сув ресурсларини ўзгаришлари тенденцияларини аниқлашга имкон беради. Қор қопламнинг давомийлиги тоғ ёнбағирларининг экспозицияси ва денгиз сатҳидан баландлигига муайян даражада боғлиқ. Қор қопламнинг максимал давомийлиги Қамчиқ ҚКСда 169 кунни (1993-1994 йй. мавсумида), Дуқант МСда 168 кунни (2011-2012 йй. мавсумида) ташкил этган.

Энг минимал давомийлик Қамчиқ ҚКСда 111 кун (2015-2016 йй.), Дукант МСда 109 кун (2010-2011 йй.) бўлган (3б-расм).



3-расм. Оҳангарон ҳавзасида 1991-2020 гидрологик йиллар давомида

а) йиллик ёғин миқдори, б) барқарор қор қоплами кунларининг давомийлиги, ва в) унинг фоизларда ўзгариши

Рис. 3. В бассейне реки Ахангаран за 1991-2020 гидрологические годы

а) годовое количество осадков, б) продолжительность дней с устойчивым снежным покровом, и в) его изменение в процентах

Fig. 3. In Akhangaran River basin during 1991-2020 hydrological years

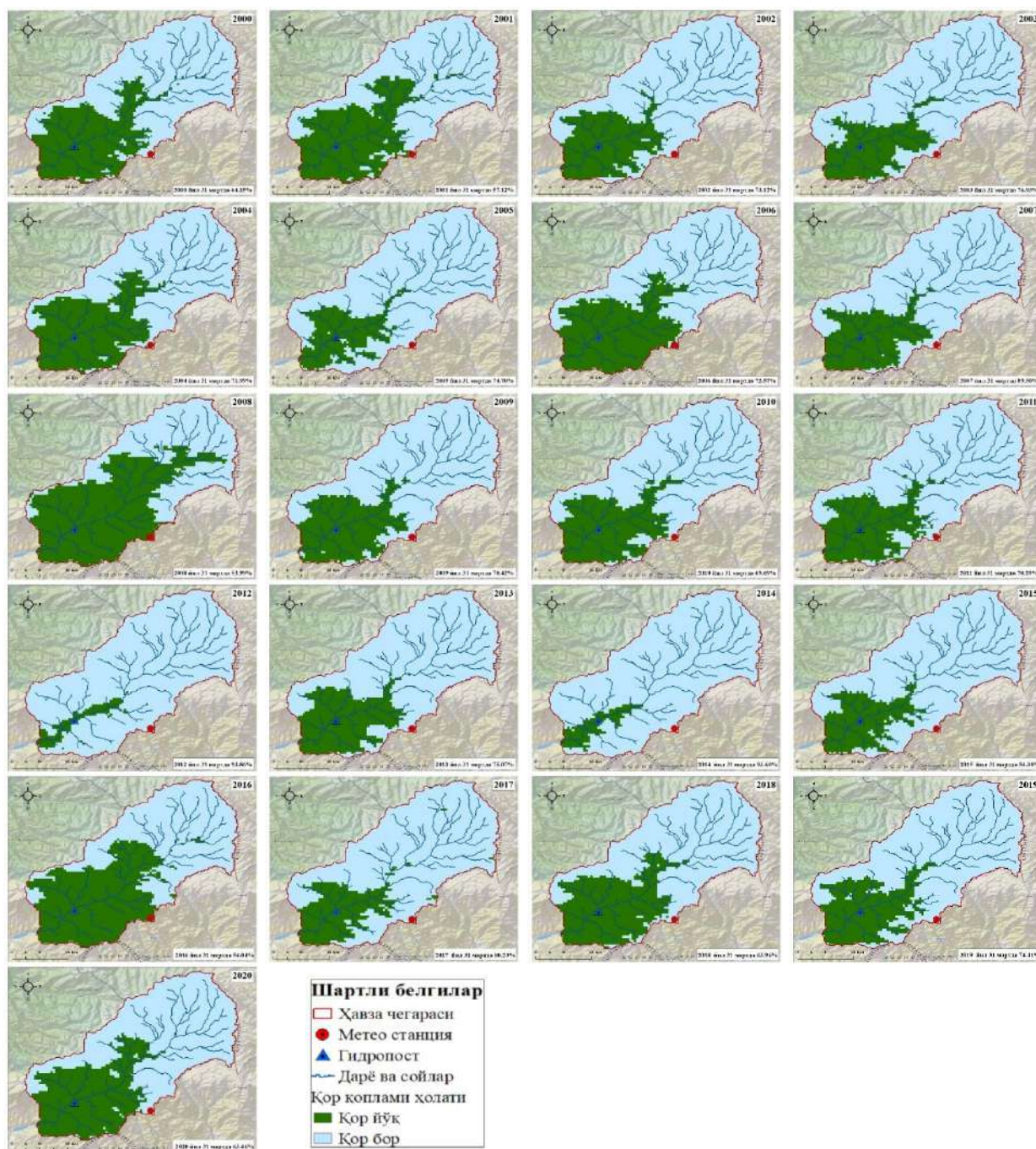
а) annual precipitation amount, б) duration of days with stable snow cover, and в) its change in percentage

Бугунги кунда дунё амалиётида қўлланилаётган сунъий йўлдош маълумотлари орқали қор қоплами майдони ҳақидаги маълумотларни олиш мумкин. MODIS сунъий йўлдоши кунлик қор маълумотларини тақдим этади. Қор қопламининг майдонини ҳисоблаш учун MODSNOW-Tool дастурида қайта ишланган MODIS тасвирларидан фойдаланиш мумкин, бу дастур сунъий йўлдош тасвирларидаги булут қопламини олиб ташлаш имконини беради [Gafurov, Bárdossy, 2009].

MODSNOW-Tool дастурида булутни олиб ташлашнинг аниқлиги 94% ни ташкил қилади [Gafurov et al., 2016]. MODIS сунъий йўлдоши суратларидан олинган қор қоплами ҳақидаги маълумотларнинг ердаги кузатишлар маълумотларга нисбатан аниқлиги Марказий Осиё учун 93% ни ташкил қилади [Gafurov et al., 2013]. Қор қоплами мониторингини олиб боришда кунлик қор маълумотларининг мавжудлиги муҳим аҳамиятга эга. Тадқиқот ишида масофадан зондлаш маълумотларига MODSNOW дастури ёрдамида қайта ишлов берилиб, Оҳангарон дарёси ҳавзасининг юқори – оқим шаклланиш зонасида 31 март ҳолатига кўп йиллик (2000-2020 йй.) қор қоплами хариталари яратилди (4-расм).

Ушбу хариталар асосида ҳавза майдонининг қор билан қопланганлиги таҳлил

килинди. Бунда, кўк ранг қор билан қопланган майдон ва яшил ранг қорсиз ҳудудларни билдиради. Тасвирлар таҳлили 2012 ва 2014 йилларда ҳавзада қор қоплами майдони энг катта, 2008 ва 2016 йилларда эса энг кичик бўлганлигини кўрсатди, бунда 2012 йил 31 март ҳолатига қор қоплами майдони ўрганилаётган ҳудуднинг 93,8 % ини, 2008 йилда эса 53,9 % ини ташкил этган (4-расм).



4-расм. Охангарон дарё ҳавзасида 31 март ҳолатига қор қопламининг ўзгариши (2000-2020 йй.)

Рис. 4. Изменение снежного покрова в бассейне реки Ахангаран по состоянию на 31 марта (2000-2020 гг.)

Fig. 4. Changes in snow cover in the Akhangaran River basin as of March 31 (2000-2020)

**Хулоса.** Тадқиқот ишида метеорологик кўрсаткичлар ва қор қопламини таҳлили асосида қуйидагилар аниқланди.

1. Оҳангарон дарё ҳавзаси тоғли қисмидаги метеостанциялар маълумотларига кўра ўртача йиллик ҳароратлар кўтарилиб бормоқда.

2. Тадқиқ этилаётган ҳудудда ўртача йиллик ҳароратлар кўтарилиб бориш шароитида йиллик ёғинлар миқдори камаймоқда.

3. Оҳангарон дарёси ҳавзасининг юқори – оқим шаклланиш зонасида барқарор қор қопламини кунларининг давомийлиги сўнги 30 йил давомида асосий камайиб бориш тенденцияси охириги ўн йилликда жадаллашган.

4. MODIS сунъий йўлдоши маълумотларини MODSNOW-Tool дастурида қайта ишлаш натижаларига кўра ҳавзада 31 март ҳолатига қор қопламини майдонининг 70% дан кам ҳолатлари 2010 (69,69%), 2016 (54,94%), 2018 (63,96%) ва 2020 (63,46%) йилларда кузатишган. Ушбу натижалар асосида охириги ўн йилликда ҳавзада қор қопламини майдонининг кўпроқ қисқарганлигини кўриш мумкин. Бу ўз навбатида дарёнинг вегетация давридаги оқимига таъсир кўрсатган.

Қор қопламини масофадан зондлаш ёрдамида ўрганиш асосида Оҳангарон дарёси оқимини прогнозлаш кейинги тадқиқотларда кўриб чиқилади.

**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» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

**Муаллифлар ҳиссаси.** **Б.Э. Нишонов:** мақола ғояси, методология, матнни таҳрир қилиш, раҳбарлик. **Ж.К. Махмудов:** объектни танлаш, маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш. **А.Ж. Мамараимов:** маълумотларни қайта ишлаш, хариталарни яратиш. Барча муаллифлар кўлёманинг нашрга тайёрланган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Айзен В.Б., Айзен Е.М., Мелак Ж.А.* Климат, снежный покров, ледники и сток в Тянь-Шане // Бюл. водных ресурсов. 1995. № 31 (6). – С. 1113–1129.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Г.В. Алексеев, М.Д. Ананичева, О.А. Анисимов и др. – М.: Росгидромет, 2014. – 93 с.

*Ҳасанов И.А., Фуломов П.Н.* Ўзбекистон табиий географияси. – Тошкент: Ўқитувчи, 2007. – 162 б.

*Gafurov A., Bárdossy A.* Cloud removal methodology from MODIS snow cover products // Hydrology and Earth System Sciences. 2009. P. 1361–1373. Doi: 10.5194/hess-13-1361-2009.

*Gafurov A., Kriegel D., Vorogushyn S., Merz B.* Evaluation of remotely sensed snow cover product in Central Asia // Hydrology Research. 2013, 44: 506–522. Doi: 10.2166/nh.2012.094.

*Gafurov A., Lüdtke S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Schöne T., Schmidt S., Kalashnikova O., Merz B.* MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data // Environmental Earth Science. 2016. № 75. - P. 1078. Doi: 10.1007/s12665-016-5869-x.

*Mamaraïmov A.J., Nishonov B.E., Gafurov A.A., Gafurov A.A., Adkhamov U.B.* Using remote sensing data to study the seasonal dynamics of snowline in the Pskem River basin // Hydrometeorology and Environmental Monitoring. 2021, No. 3. – PP. 45-56.

*Singh P., Spitzbart G., Hübl H., Weinmeister H.W.* Hydrological response of snowpack under rain-on-snow events: a field study // Journ. Of Hydrology. 1997. V.202.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ДИНАМИКУ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ АХАНГАРАН****Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>, Ж.К. МАХМУДОВ<sup>1</sup>, А.Ж. МАМАРАИМОВ<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, jahongirmahmud@mail.ru

**Аннотация:** В статье анализируется динамика изменения метеорологических показателей и снежного покрова на горной части бассейна реки Ахангаран. В результате анализа данных метеорологической станции Дукант и снежолавинной станции Камчик, расположенных в бассейне за 1991-2020 гг. выявлено повышение среднегодовых температур и уменьшение количества осадков. Наблюдается уменьшение дней со снежным покровом на горной части бассейна. На основе обработки спутниковых снимков MODIS программой MODSNOW-Tool определены изменения площади снежного покрова по состоянию на 31 марта за 2000-2020 годы.

**Ключевые слова:** снежный покров, температура воздуха, количества осадков, изменение климата, MODIS, MODSNOW, река Ахангаран, бассейн реки.

**IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SNOW COVER DYNAMICS IN THE AKHANGARAN RIVER BASIN****B.E. NISHONOV<sup>1</sup>, J.K. MAKHMUDOV<sup>1</sup>, A.J. MAMARAIMOV<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, jahongirmahmud@mail.ru

**Abstract:** The article analyzed the dynamics of changes in meteorological parameters and snow cover on the mountainous part of the Ahangaran river basin. The analysis of data from the Dukant meteorological station and the Kamchik avalanche station located in the basin for 1991-2020 revealed an increase of average annual temperatures and a decrease of precipitation. A decrease in days with snow cover on the mountainous part of the basin is observed. Based on the processing of MODIS satellite images by the MODSNOW-Tool program, changes in the snow cover area as of March 31 for 2000-2020 are determined.

**Keywords:** snow cover, air temperature, rainfall, climate change, MODIS, MODSNOW, Ahangaran river, river basin.

**REFERENCES**

Ayzen V.B., Ayzen E.M., Mekak Dj.A. Klimat, snejniy pokrov, ledniki i stok v Tyanshane [Climate, snow cover, glaciers and runoff in Tien Shan] // Byulliten Water resources. 1995. No. 31 (6). – S. 1113–1129. (in Russian)

Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossiyskoy Federatsii [Roshydromet's Second Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation] / G.V.Alekseev, M.D.Ananicheva, O.A.Anisimov i dr. – M.: Rosgidromet, 2014. – 93 s. (in Russian)

Khasanov I.A., Gulamov P.N. Ozbekiston tabiiy geografiyasi [Physical geography of Uzbekistan]. – Toshkent: O'qituvchi, 2007. – 162 b. (in Uzbek)

---

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

---

УДК 551.509

**ДИАГНОСТИКА ПЫЛЬНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ AVHRR NOAA****М.Л. АРУШАНОВ<sup>1\*</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, mikl-arushanov@rambler.ru

**Аннотация.** В статье показано, что для адекватного применения индекса запылённости с использованием радиометрических данных, доставляемых с борта искусственного спутника Земли, необходимо предварительно исследовать спектральные характеристики объектов изображения с целью получения оптимальных диапазонов длин волн (каналов) данного спутника в задаче машинной диагностики пыльных бурь. Предложен алгоритм машинной диагностики пыльных бурь на спутниковом изображении.

**Ключевые слова:** пыльная буря, радиометрические данные, спектральные характеристики, пылевой индекс, AVHRR NOAA.

**Введение.** Под явлением «пыльная буря» в метеорологии понимаются атмосферные условия, когда при скорости ветра выше определенного предела переносится большое количество пыли или песка. Как правило, пыльные бури типичны для географических районов с пустынными и степными ландшафтами, крайней засушливостью и континентальным климатом. Пустынный иссушенный ландшафт, свободный от растительного покрова, является наиболее сильным источником загрязнения атмосферы. В распаханных степях пыльные бури являются причиной неурожая, выдувая верхние слои почвы вместе с семенами и молодыми растениями. Поэтому пылевая или пыльная буря классифицируется как метеорологическое явление, приводящее к стихийным бедствиям [Смирнов, 1998]. В связи с этим, соответствующие статистические организации и страховые компании на территории СНГ, отвечающие за хронологию пыльных бурь и их последствий, опираются на достаточно жесткий нижний предел регламента, принятый в документе [Наставление..., 1989]: пыльная буря – явление при скорости ветра  $\geq 15$  м/с и наличием в приземном воздухе пылевой фракции. В силу жесткости этого документа реальная ситуация идеализируется, а вместе с тем, искажается полная картина следствия этого явления. Ставя материальный ущерб на второй план, первостепенным следствием пыльных бурь является здоровье человека.

Ярким примером наиболее благоприятных условий возникновения и распространения пыльных бурь является территория Республики Каракалпакстан – географическая область Аральской катастрофы. Песчано-солевые бури сделали в этом регионе почти невозможным земледелие на открытом грунте. За год с высохшего дна Арала ветер поднимает около 100 млн. тонн пыли и соли и разносит ее в радиусе более 500 км. Помимо загрязнения полей, песок и соль приводят к огромной минерализации осадков, достигающей после пылевых бурь от 300 до 500 мг/л, что не идет ни в какое сравнение даже с морской водой и, как следствие, – полное вымирание растительности. Высохшее дно Аральского моря, превратившееся в пустыню Аралкум, с поверхности

---

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

которого ветром переносятся большие массы засоленной пыли, является вместе с пустынями Каракумы и Кызылкум природным мощным источником загрязнения атмосферы на территории Узбекистана. На рис. 1 приведены спутниковые снимки (NOAA и MODIS) пыльных бурь 3 мая 2009 года и 4-5 ноября 2021 года. Во втором случае (4-5 ноября 2021 года) уровень загрязнения атмосферного воздуха твёрдыми частицами (PM10) составил  $18000 \text{ мкг/м}^3$ , т.е. концентрация пыли более 30 раз превышала допустимую норму. За 150 лет наблюдений это экстремальные запылённые условия. Например, 24-часовой средний предел запылённости атмосферы по данным Агентства по охране окружающей среды США составляет  $150 \text{ мкг/м}^3$  для PM10 [<https://www.epa.gov/>]. Самые высокие почасовые концентрации были зарегистрированы в Эль-Пасо (штат Техас), которые составили  $5000 \text{ мкг/м}^3$ , т.е. почти в четыре раза ниже, наблюдаемых в Узбекистане 4-5 ноября 2021 года.

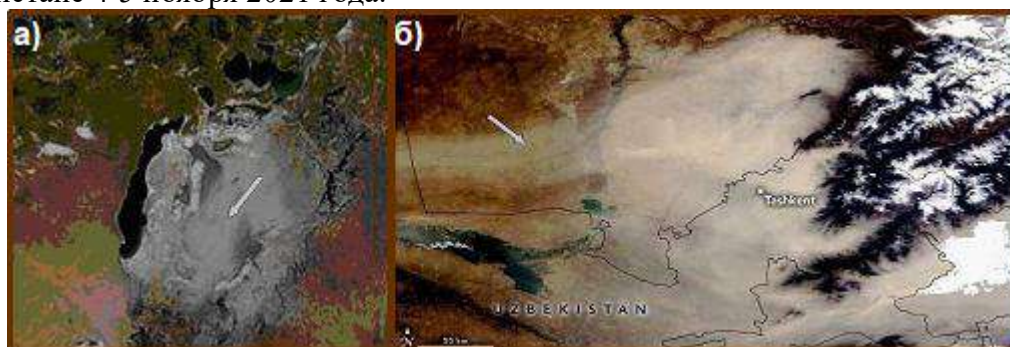


Рис. 1. Спутниковые снимки (синтезированные) пустыни Аралкум 3 мая 2009 года с пыльной бурей (а) и пыльная буря 4-5 ноября 2021 года (показаны стрелками) в восточной части Узбекистана (б)

Fig. 1. Satellite images (synthesized) of the Aralkum Desert May 3, 2009 with dust storm (a) and dust storm on November 4-5, 2021 (shown by arrows) in eastern Uzbekistan (b)

**Цель работы:** разработать алгоритм автоматизированного (машинного) диагноза пыльных бурь по данным радиометрических изображений AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer* – усовершенствованный радиометр очень высокого разрешения), передаваемых с ИСЗ серии NOAA (разрешение 1 км/пиксель) в 5 диапазонах длин волн (каналов). Определить наиболее информативные каналы с позиций диагностики пыльной бури для расчёта пылевого индекса *NDDI*.

**Используемые данные.** В работе использовалась информация, доставляемая с борта ИСЗ серии NOAA спектральным радиометром в 5 диапазонах длин волн. Обработки подвергались изображения, представленные в соответствующих каналах (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны длин волн радиометра AVHRR NOAA

Table 1

Radiometer wavelength ranges AVHRR NOAA

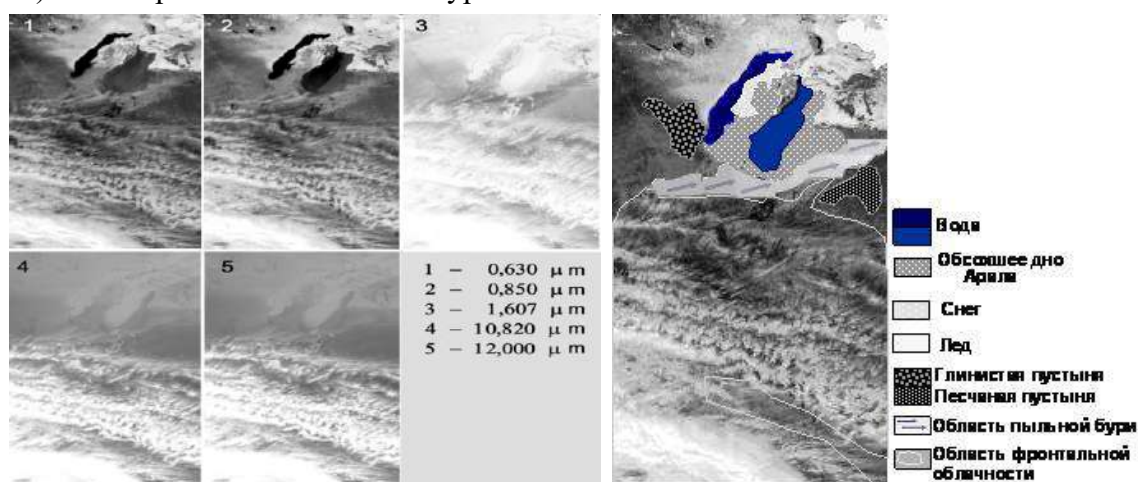
| № канала | Полоса захвата, км | Угол обзора, град | Длина волны, нм |
|----------|--------------------|-------------------|-----------------|
| 1        | 3000               | $\pm 55,4^\circ$  | 620-670         |
| 2        | 3000               | $\pm 55,4^\circ$  | 725-1100        |
| 3        | 3000               | $\pm 55,4^\circ$  | 1580-1640       |
| 4        | 3000               | $\pm 55,4^\circ$  | 10300-11300     |
| 5        | 3000               | $\pm 55,4^\circ$  | 11500-12500     |

**Алгоритм диагностики пыльных бурь по данным космической съёмки.** Распознавание (дешифрирование) пыльных бурь на спутниковых снимках представляет определенные трудности, связанные с возможностью ошибочной диагностики из-за геометрически похожих на пылевой шлейф изображений облаков, особенно, перистого типа. Хотя и имеются в научной литературе определенные рекомендации по выбору признаков наличия на снимке пыльной бури [Минина, 1974], тем не менее, следуя этим признакам, сам процесс дешифрирования остается субъективным, а результат зависит от опыта дешифровщика. Кроме того, субъективное дешифрирование космических снимков не может должным образом быть привязанным к автоматизированной системе диагноза и прогноза пыльных бурь. В связи с этим, для диагностики пыльных бурь на спутниковом снимке рассчитываются полевые индексы, предложенные в работе [John et al., 2006]. Нормализованный дифференциальный пылевой индекс *NDDI* (*normalized difference dust index*) определяется выражением

$$NDDI = \frac{OD_{k_1} - OD_{k_2}}{OD_{k_1} + OD_{k_2}},$$

где, *OD* – оптическая плотность (отражательная способность), *k*<sub>1</sub>, *k*<sub>2</sub> – каналы спектральных измерений на соответствующих длинах волн. Например, для ИСЗ *MODIS* в работе [John et al., 2006] были получены наиболее оптимальные каналы с длинами волн *k*<sub>1</sub> = 2,13 μm, *k*<sub>2</sub> = 0,469 μm.

Поскольку в Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан (Узгидромет) широко используются в оперативной работе данные, доставляемые с борта ИСЗ NOAA, то в целях их использования в задаче диагностики пыльной бури на основе *NDDI*, необходимо получить оптимальные каналы в рамках информативности последнего. Для этого был выполнен анализ спектральных характеристик различных типов объектов (рис. 2) на изображении с пыльной бурей:



**Рис. 2. Изображение пыльной бури по данным ИСЗ NOAA-18 07.03.2007г. в пяти диапазонах длин волн (левый рисунок 1-5)**

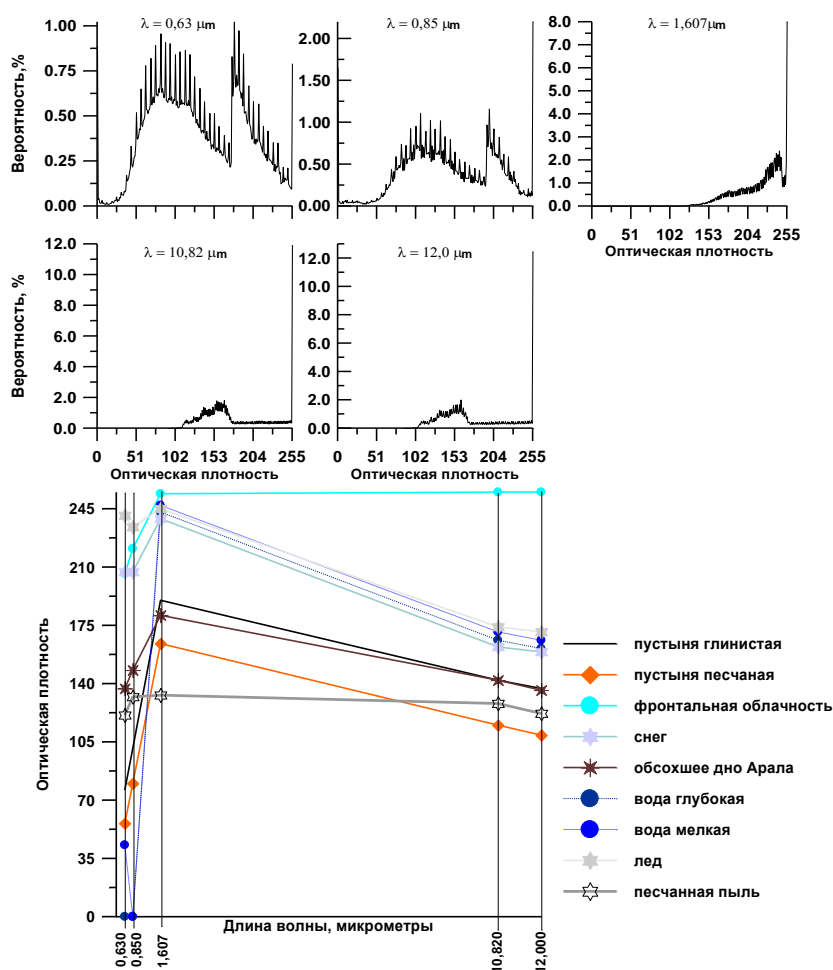
**Примечание:** по данным наземных наблюдений пыльная буря была зарегистрирована на метеостанции Муйнак, выделенные на изображении объекты показаны схематически на правом рисунке.

**Fig. 2. Image of a dust storm according to NOAA-18 satellite data on 07.03.2007 in five ranges of wavelengths (left figure 1-5)**

**Note:** according to ground-based observations, a dust storm was registered at the Muynak meteorological station, the objects selected in the image are shown schematically in the right figure.

1. Пустыня глинистая.
2. Пустыня песчаная.
3. Облака (фронтальная облачность).
4. Снег.
5. Обсохшее дно Аральского моря.
6. Вода глубокая.
7. Вода мелкая.
8. Лед.
9. Пыльная солепесчаная буря.

На рис. 3 представлены гистограммы изображений в соответствующих диапазонах длин волн и спектральные характеристики выделенных объектов. Как видно из распределений спектральных характеристик, как функций длины волны, рассматриваемые объекты достаточно хорошо отличаются друг от друга своими отражательными свойствами.



**Рис. 3. Спектральные характеристики выделенных на изображении с пыльной бурей объектов (NOAA AVHRR 07.03.2007 г.)**

*Примечание:* распределения оптической плотности, как функции длины волны (верхний рисунок), оптическая плотность типов объектов на снимки ИСЗ NOAA (нижний рисунок).

**Fig. 3. Spectral characteristics of objects identified in the dust storm image (NOAA AVHRR 03.07.2007)**

*Note:* optical density distributions as a function of wavelength (upper figure): optical density of object types on NOAA satellite images (lower figure).

Данное свойство, как следствие, находит свое отражение в пылевом индексе *NDDI*, рассчитанным для различных сочетаний спектральных каналов AVHRR (рис. 4). Анализ рисунков 3 и 4 позволяет выбрать наиболее оптимальное сочетание каналов в задаче распознавания пыльной бури на изображении по индексу *NDDI*: 1-й канал AVHRR – 0,63 мкм и 4-й канал AVHRR – 10,82 мкм.

Алгоритм распознавания пыльной солепесчаной бури на спутниковом изображении по спутниковым данным в указанных диапазонах длин волн строится по схеме, предложенной в работе [Архипкин, Сагатдинова, 2008].



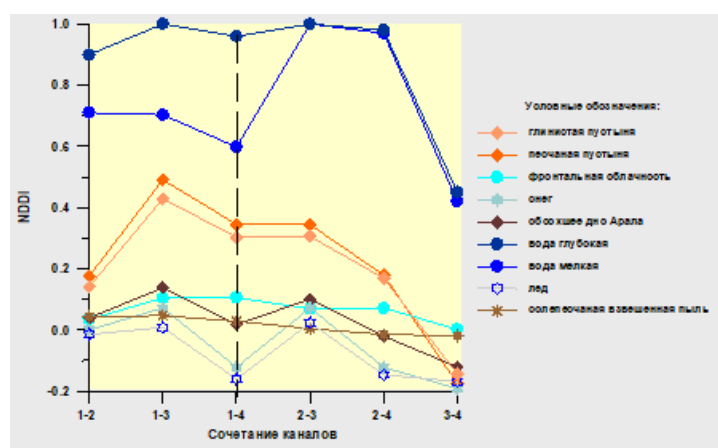
**Рис. 4. Значения индекса NDDI, рассчитанного для выделенных объектов (рис. 2) по различным сочетаниям каналов NOAA AVHRR**

*Примечание: пятый канал из-за близости его с четвертым каналом был исключен.*

**Fig. 4. Values of the NDDI index calculated for selected objects (Fig. 2) for various combinations of NOAA AVHRR channels.**

*Note: the fifth channel was excluded due to its proximity to the fourth channel.*

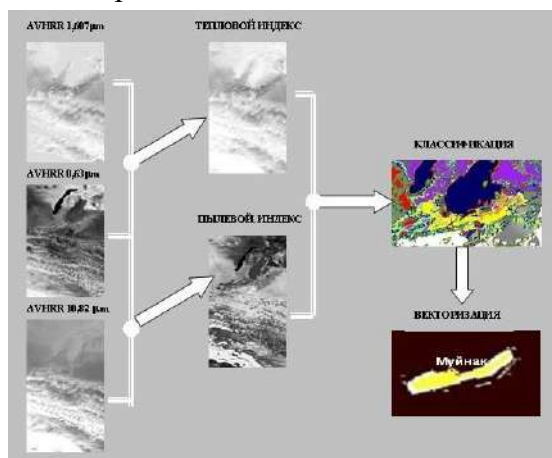
Как видно из схемы, представленной на рис. 5, распознавание пыльной бури на снимке NOAA по данным AVHRR выполняется в два этапа: на первом этапе по индексу *NDDI* выделяются песчаные объекты на фоне всех остальных, на втором этапе выделяется взвешенная в воздухе песчаная пыль на фоне песчаной пыли подстилающей поверхности. Данная процедура физически корректна из-за разницы температур взвешенной в воздухе и лежащей на земле песчаной пыли: выделенные на первом этапе объекты с песчаной бурей подвергаются классификации по критерию теплового индекса.



**Рис. 5. Схема алгоритма машинного диагноза пыльной бури на изображении ИСЗ NOAA**

**Fig. 5. Scheme of the algorithm for machine diagnosis of a dust storm on the image of the NOAA satellite**

Полученная на снимке область с выделенной пыльной бурей подвергается векторизации и визуализации векторного изображения. Последовательность реализации процедур в соответствии с приведенной выше схемой, промежуточными и конечными результатами, приведена на рис. 6.



**Рис. 6. Последовательность реализации алгоритма машинного диагноза солепесчаной бури по данным AVHRR NOAA 07.03.2007 г.**

**Fig. 6. Sequence of implementation of the algorithm of machine diagnosis of salt sand storms on the basis of 07.03.2007 AVHRR NOAA data**

**Заключение.** Для адекватной диагностики пыльной бури на спутниковом изображении с использованием пылевого индекса *NDDI* необходимо получить спектральные характеристики объектов изображения в различных диапазонах длин волн по данным приборов, установленных на том или ином спутнике. В частности, например, для MODIS были получены наиболее оптимальные каналы [John et al., 1998] с длинами волн  $k_1 = 2,13 \mu\text{m}$ ,  $k_2 = 0,469 \mu\text{m}$ . В данной работе для аппаратуры AVHRR NOAA они соответственно равны: 1-й канал AVHRR –  $k_1 = 0,63 \mu\text{m}$  и 4-й канал AVHRR –  $k_2 = 10,82 \mu\text{m}$ .

**Благодарности.** Настоящее исследование выполнено в рамках совместного Узбекско-Японского прикладного проекта Научно-исследовательского гидрометеорологического института АЛ-5721122055 “Разработка технологии системы мониторинга пыльных бурь с использованием наземных и спутниковых данных”, финансируемого Министерством инновационного развития Республики Узбекистан.

**Вклад авторов.** **М.Л. Арушанов:** постановка задачи, разработка алгоритма. **Б.Э. Нишонов:** анализ возникновения и распространения пыльных бурь на территории Узбекистана. **Л.Ю. Шардакова:** реализация алгоритма машинного распознавания пыльных бурь. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н. Космический мониторинг пыльных бурь Приаралья с помощью пылевого индекса *NDDI* / Шестая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2008. – С. 12-19.

Минина Л.С. Практика нефанализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 220 с.

Наставление метеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеиздат, вып. 3, часть 1, 1989. – 164 с.

Смирнов В.В. Генезис и геофизические последствия пылевых бурь // В кн. «Вопросы физики атмосферы». – СПб.: Гидрометеиздат, 1998. – С. 171-206.

Qu J., Hao X., Kafatos M., Wang L. Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurement // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 3, no. 4, October 2006. – PP. 284-486.

Электронный ресурс:

<https://www.epa.gov/>

## AVHRR NOAA MAЪЛУМОТЛАРИ АСОСИДА ЧАНГ БЎРОНЛАРИ ДИАГНОСТИКАСИ

М.Л. АРУШАНОВ<sup>1</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Мақолада ер сунғий йўлдошидан олинган радиометрик маълумотлардан фойдаланиб чанг индексидан тўғри фойдаланиш учун чанг бўронларини компьютер ёрдамида аниқлашда ушбу сунғий йўлдошининг оптимал тўлқин узунлиги диапазонларини (каналларини) олиш мақсадида дастлаб тасвир объектларини спектрал хусусиятларини ўрганиш зарур. Сунғий йўлдош тасвиридаги чанг бўронини компьютер ёрдамида аниқлаш алгоритми таклиф этилган.

**Калит сўзлар:** чанг бўрони, радиометрик маълумотлар, спектрал хусусиятлар, чанг индекси, AVHRR NOAA.

## DIAGNOSTICIS OF DUST STORMS ON THE BASIS OF AVHRR NOAA DATA

M.L. ARUSHANOV<sup>1</sup>, B.E. NISHONOV<sup>1</sup>, L.Yu. SHARDAKOVA<sup>1</sup>

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

**Abstract.** The article shows that in order to adequately apply the dust index using radiometric data delivered from an artificial Earth satellite, it is necessary to first study the spectral characteristics of image objects in order to obtain the optimal wavelength ranges (channels) of this satellite in the problem of machine diagnostics of dust storms. An algorithm for machine diagnostics of dust storms on a satellite image is proposed.

**Keywords:** dust storm, radiometric data, spectral characteristics, dust index, AVHRR NOAA.

## REFERENCES

Arhipkin O.P., Sagatdinov G.N. Kosmishtskiy monitoring pilnih bur Priaralya s pomoshuy pilevogo indeksa NDDI. [Space monitoring of dust storms in the Aral Sea region using the NDDI dust index] / Shestaya vsrossiyskaya otkritiya yejegodnaya konferenciya «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa». – Moskva: IKI RAN, 2008. – S. 12-19. (in Russian)

Minina L.S. Praktika nefanaliza. [Non-Phanalization Practice] – L.: Gidrometeoizdat, 1974. – 220 s. (in Russian)

Nastavlenie meteorologicheskim stanciyam i postam. [Instructions for meteorological stations and posts] – L.: Gidrometeoizdat, vip. 3, chast 1, 1989. – 164 s. (in Russian)

Smirnov V. V. Genезis i geofizicheskie posledstviya pilevih bury. [Genesis and geophysical consequences of dust storms] // V kn. «Voprosi fiziki atmosfery. – S.-P.: Gidrometeoizdat. – 1998. – S. 171-206. (in Russian)

Electronic resours:

<https://www.epa.gov/>

УДК 504.4.054:504.453

## НОРИН ДАРЁСИ СУВИ СИФАТИНИНГ ЗАМОНАВИЙ ҲОЛАТИ

Б.Э. НИШОНОВ<sup>1\*</sup>, И.Р. РАЗИКОВА<sup>1</sup>, М.Б. НАЗИРҚУЛОВА<sup>2</sup><sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bnishonov@mail.ru<sup>2</sup> Наманган давлат университети

**Аннотация:** Мақолада Норин дарёси суви сифатининг замонавий ҳолати кўпийлик (1990-2019йй.) маълумотлар асосида минерализация, органик ифлосланишлар, биоген моддалар, фторидлар, оғир металллар бўйича ўрганилган. Ушбу ифлослантирувчи моддаларнинг дарё сувидаги ойлари бўйича, йил ичидаги ва кўпийлик ўзгаришлари аниқланган. Норин дарёсининг Сирдарёга қуйилиш қисмида минерализация 345-611 мг/дм<sup>3</sup> орасида ўзгарган, ифлослантирувчи моддалардан нитритлар баъзи йилларда рухсат этилган меъёрдан юқори қийматларда бўлган.

**Калит сўзлар:** сув сифати, минерализация, органик ифлосланиш, БКИ, ККИ, биоген моддалар, фторидлар, оғир металллар, Норин дарёси.

**Кириш.** Норин дарёси трансчегаравий дарё бўлиб, Қирғизистон ва Ўзбекистондан оқиб ўтади. Дарё Норин шаҳридан 44 км шарқда Катта Норин ва Кичик Норин дарёларининг қўшилишидан ҳосил бўлади. Норин дарёси ҳавзасининг майдони 59110 км<sup>2</sup>, шундан 98% ҳавзанинг тоғли қисмини ёки сув йиғиш майдонини ташкил қилади. Норин дарёси Ўзбекистон ҳудудига Учкўрғон шаҳри яқинида кириб келади ва Балиқчи шаҳри ёнида Қорадарё дарёси билан қўшилиб, Сирдарё дарёсини ҳосил қилади [Шульц, Машрапов, 1969]. Норин дарёси музлик-қордан тўйинувчи дарёларга киради, шу сабабли дарёнинг юқори қисмида максимал сув сарфи июль ойида, минимал сув сарфи февраль-март ойларида кузатилади. Қуйи томон, сув йиғиш ҳавзаси баландлигининг пасайиши ва тўйиниш шароитларининг ўзгариши сабабли, сув оқимининг йил ичидаги тақсимланиши ўзгаради ва максимал сув сарфи эртароқ кузатилади [Шульц, 1965]. Дарёда Тўқтағул, Учкўрғон, Курпсой, Тошкўмир ГЭСлари қурилган. Ўтган асрнинг 90-йилларида дарё оқимидан фойдаланишни ирригация мақсадларидан энергетика мақсадларига ўзгариши натижасида Норин дарёсининг қуйи қисмида оқимнинг юқори ҳажмлари куз-қиш ойларида тўғри келмоқда. Фарғона водийсида қишлоқ хўжалик ерларини суғориш учун муҳим бўлган Катта Фарғона, Марказий Фарғона, Шимолий Фарғона, Катта Наманган каналлари Норин дарёсидан сув олади [Шульц, Машрапов, 1969]. Норин дарёси сувининг гидрокимёвий таркиби ҳақида илмий адабиётларда маълумотлар жуда кам.

Дарё сув ресурсларининг Наманган вилояти иқтисодиёти ва қишлоқ хўжалиги тармоқлари учун муҳим аҳамиятини ҳисобга олган ҳолда дарё сув сифатининг замонавий ўзгаришларини баҳолаш долзарб вазифа ҳисобланади. Ушбу тадқиқотнинг мақсади Норин дарёси сув сифатининг замонавий ҳолатини ўрганиш бўлса, тадқиқотнинг объекти Норин дарёси, тадқиқотнинг предмети эса дарёнинг сув сифатидир.

**Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари.** Тадқиқот ишида Норин дарёси сув сифати мониторингининг сўнгги 25 йиллик (1996-2021 йй.) маълумотлари кўриб чиқилди [Ежегодники, 1996-2021]. Норин дарёсида сув сифати мониторинги 1984 йилда 4 та кузатув пунктида бошланган. Булар – Тошкўмир (Тошкўмир шаҳридан 7 км юқорида) Учкўрғон (юқори - Учкўрғон шаҳридан 3 км юқорида ва қуйи – Учкўрғон шаҳридан 1 км қуйида) ва дарё қуйилиш қисмидаги (дарё қуйилишидан 0,2 км юқорида) пунктлар эди. Техник сабабларга қўра 1990 йилда 3 та кузатув пункти ёпилган ва фақатгина дарёнинг қуйилиш қисмидаги пункт фаолият кўрсатган. 1992-1995 йилларда ушбу ягона пункт ҳам

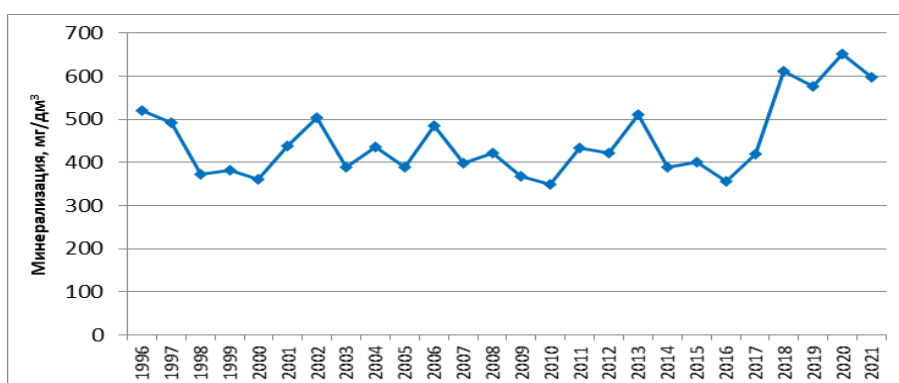
\* Масъул муаллиф: bnishonov@mail.ru, тел.: +998 97 197-03-95

ёпилган ва 1996 йилда қайта очилган. Ҳозирги вақтда дарёнинг сув сифати мониторинги шу битта кузатув пунктида - Норин дарёсининг қуйилиш қисмидан 0,2 км юқорида, Шамсиқўл қишлоғидан 0,5 км пастда олиб борилмоқда. Юқоридагиларни инобатга олган ҳолда, Норин дарёси сув сифатини ўзгаришлари 1996-2021 йиллар маълумотлари асосида минерализация, сувда эриган кислород миқдори, органик ифлосланиш (кислороднинг кимёвий истеъмоли – ККИ ва кислороднинг биокимёвий истеъмоли – КБИ<sub>5</sub>), биоген моддалар, фторидлар, феноллар, нефт маҳсулотлари, оғир металллар бўйича ўрганилди. Мониторинг маълумотларини ўрганиш дарё сувидан намуналар йилига 6-8 марта олинганлигини ва гидрокимёвий таҳлиллар ўтказилганлигини кўрсатди.

Ишда замонавий гидрокимёвий ҳисоблашлар, статистик ва умумлаштириш усулларидан фойдаланилди. Дарё сув сифатини ўзгаришларини аниқлаш учун кўрсаткичларнинг кўпйиллик ўртача миқдорларини ҳисоблаш, ушбу кўрсаткичларнинг йил ичида ўзгаришларини таҳлили ўтказилди. Сув сифатини комплекс баҳолаш учун Сувни ифлосланиш индекси (СИИ) кўрсаткичидан фойдаланилди [Методические..., 1988].

**Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси.** Тадқиқот давомида Норин дарёсининг қуйи қисмидаги битта кузатиш пунктидаги сув сифатининг кўп йиллик (1996-2021 йй.) маълумотлари асосида дарё сув сифатининг замонавий ўзгаришлари таҳлил қилинди. Ушбу кузатув пункти Норин дарёсининг қуйи қисмидаги сувнинг сифати тўғрисида маълумот олишга имкон беради.

Таҳлил натижаларига кўра Норин дарёсида 1996-2021 йиллар давомида минерализациянинг ўртача йиллик миқдори 345,4-610,7 мг/дм<sup>3</sup> оралиқда кузатилган ва рухсат этилган меъёрдан (РЭК-1000 мг/дм<sup>3</sup>) ошмаган. Алёкин таснифига кўра дарё суви ўртача минераллашган сувлар синфига киради [Алекин, 1970].



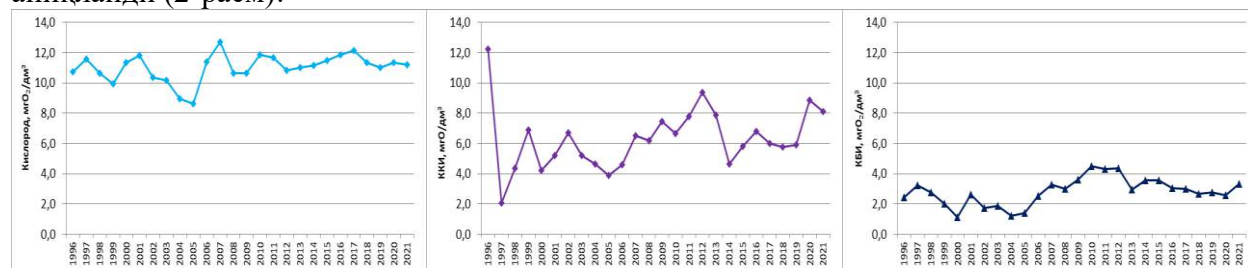
**1-расм. Норин дарёси суви минерализациясининг ўртача йиллик миқдорининг ўзгаришлари (1996-2021 йй.)**

**Рис.1. Изменения среднегодовых величин минерализации воды реки Нарын (1996-2021 гг.)**

**Fig.1. Average yearly water mineralization of the Narin River (1996-2021)**

Дарёлар сув сифатининг асосий кўрсаткичларидан бири – сувда эриган кислород ҳисобланади, унинг ер усти сувларидаги миқдори 6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>дан кам бўлмаслиги керак. Кузатилган йилларда Норин дарёсининг қуйи қисмида сувда эриган кислороднинг ўртача йиллик миқдори 7,2-12,7 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> оралиқда бўлган, яъни ушбу кўрсаткич бўйича дарё суви сифати яхши ҳисобланади (2-расм).

Норин дарёсининг умумий органик ифлосланганлигини тавсифлаш учун кислороднинг кимёвий истеъмоли (ККИ) ва кислороднинг биокимёвий истеъмоли (КБИ<sub>5</sub>) кўрсаткичлари кўриб чиқилди (2-расм). Норин дарёсининг қуйи қисмида ККИ ва КБИ<sub>5</sub> ўртача йиллик миқдори 3,9-15,1 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> ва 1,02-4,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> оралиқда бўлганлиги аниқланди (2-расм).



**2-расм. Норин дарёси сувида эриган кислород миқдори ва ККИ ва КБИ<sub>5</sub> кўрсаткичлари (1996-2021 йй.)**

**Рис. 2. Концентрация растворенного кислорода и показатели ХПК и БПК<sub>5</sub> в воде реки Нарын (1996-2021 гг.)**

**Fig. 2. Concentration of dissolved oxygen and COD and BOD in the water of the Narin River (1996-2021)**

Норин дарёси сувини биоген моддалардан азот бирикмалари - аммоний (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), нитритлар (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ва нитратлар (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ионлари билан ифлосланиши таҳлиliga кўра, дарё сувини нитритлар билан ифлосланиши 1991, 2001, 2002, 2007, 2010, 2012 йилларда рухсат этилган концентрация (РЭК-0,02 мг/дм<sup>3</sup>) дан юқори бўлганлиги, аммоний ва нитратлар бўйича ифлосланиш даражаси юқори эмаслиги аниқланди (3-расм).

Норин дарёсида аммоний ўртача йиллик миқдори 0,02-0,14 мг/дм<sup>3</sup>, нитритлар – 0,002-0,031 мг/дм<sup>3</sup>, нитратлар – 0,82-4,80 мг/дм<sup>3</sup> оралиқда кузатилган (3-расм).

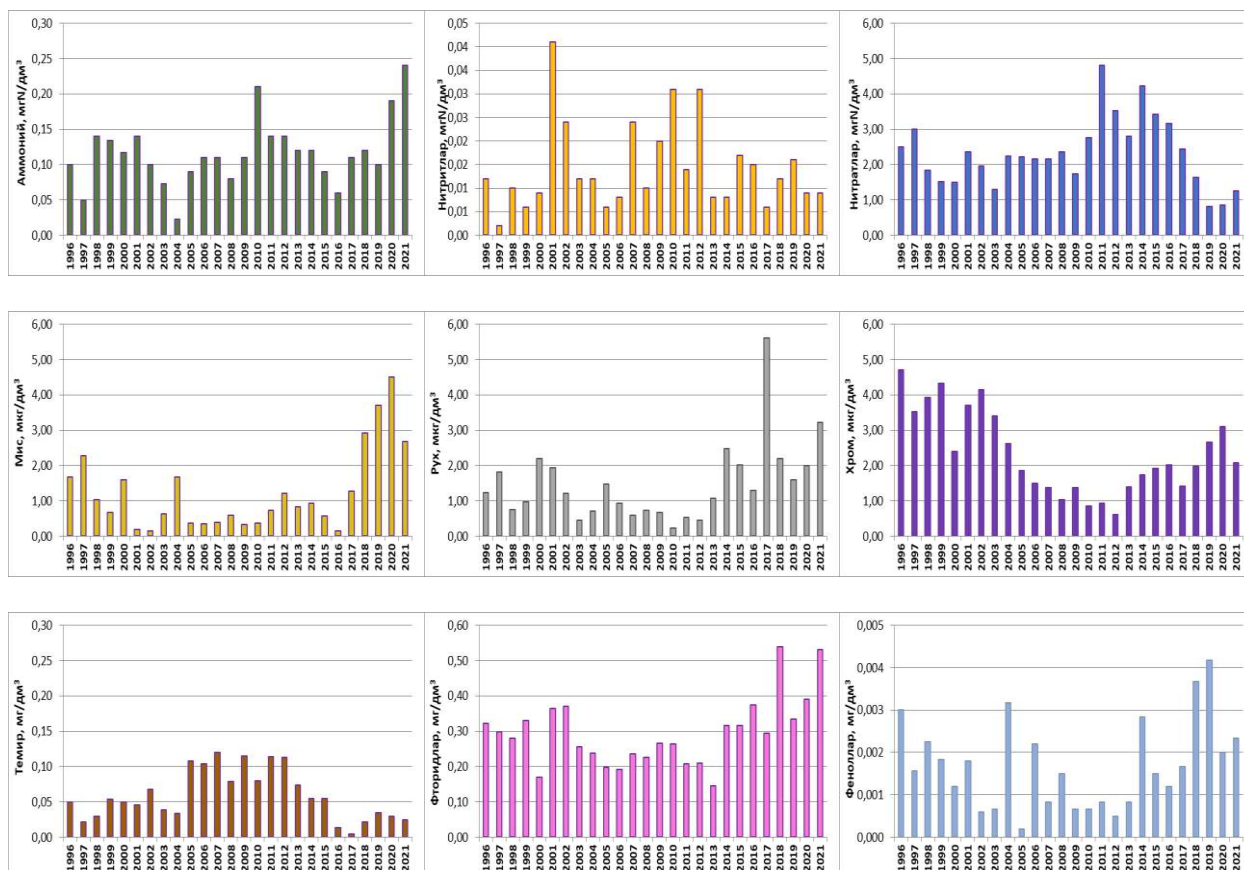
Сўнгги йилларда Норин дарёси сувида оғир металллардан мис ва хром миқдори РЭК (1 мкг/дм<sup>3</sup> ва 1 мкг/дм<sup>3</sup>) га яқин ва ундан юқори миқдорларда, рух миқдори эса РЭК (10 мкг/дм<sup>3</sup>) дан паст кузатилган. Дарё сувида миснинг ўртача йиллик миқдори 0,2-3,7 мкг/дм<sup>3</sup>, рух – 0,2-2,5 мкг/дм<sup>3</sup>, хром – 0,1-3,9 мкг/дм<sup>3</sup> оралиқда бўлган (3-расм). Сўнгги йилларда Норин дарёси сувида оғир металллар (мис, рух, хром) миқдорини ортиши кузатилмоқда.

Норин дарёси сувида темир миқдори РЭК (0,5 мкг/дм<sup>3</sup>)дан ортмаган ва унинг ўртача йиллик миқдори 0,01-0,12 мкг/дм<sup>3</sup> оралиқда бўлган (3-расм).

Норин дарёси сувидаги фторидларнинг ўртача йиллик миқдорлари РЭК (0,75 мг/дм<sup>3</sup>) дан паст миқдорда бўлиб, сўнгги йилларда фторидлар миқдорининг ортиши кузатилган.

Норин дарёсида феноллар миқдори РЭК (0,001 мг/дм<sup>3</sup>) дан юқори миқдорларда кузатилади. Бунинг сабаби, дарё оқими шаклланадиган зонада тоғ жинсларидаги феноллар миқдорининг юқорилиги ҳисобланади. Норин дарёсида феноллар ўртача йиллик миқдори 0-0,004 мг/дм<sup>3</sup> оралиқда аниқланган (3-расм).

Норин дарёси сувида нефт маҳсулотларининг миқдори 1996, 1997 ва 1998 йилларда РЭК (0,05 мкг/дм<sup>3</sup>) дан ортган. Нефт маҳсулотлари билан ифлосланганлик манбалари асосан иссиқлик-энергия мажмуаларидан чиқадиган оқова сувлар ҳисобланади. Сўнгги йилларда оқова сувларни қайта ишлаш жараёнлари амалга оширилаётганлиги сабабли, дарё сувида нефт маҳсулотларининг миқдори сезиларли камайганлиги кузатилади. Норин дарёсида нефт маҳсулотларининг ўртача йиллик миқдори 0-0,08 мг/дм<sup>3</sup> оралиқда бўлган.



**3-расм. Норин дарёси сувида азот бирикмалари, оғир металллар, темир, фторидлар ва фенолларнинг ўртача йиллик миқдорлари (1996-2021 йй.)**

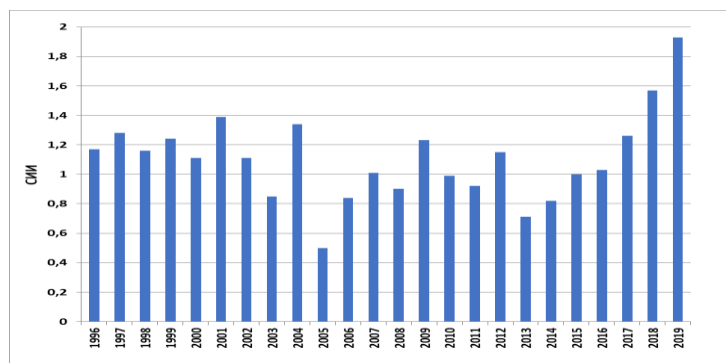
**Рис. 3. Среднегодовая концентрация азотных соединений, тяжелых металлов, железа, фторидов и фенолов в воде реки Нарын (1996-2021 гг.)**

**Fig. 3. Average yearly concentration of nitrogen components, heavy metals, iron, fluorides and phenols in the water of the Narin River (1996-2021)**

XX асрнинг иккинчи ярмида қишлоқ хўжалигида хлорорганик пестицидлар кўп миқдорда қўлланилганлиги сабабли Ўзбекистон дарёларида ўтган асрнинг 90-йилларигача уларнинг миқдори РЭҚдан ошганлиги кузатилган [Нишонов, 2008]. Норин дарёсида ҳам турғун хлорорганик пестицидлар 1990 ва 1991 йилларда аниқланган. 1992 йилдан турғун хлорорганик пестицидларнинг қўлланилиши таъқиқланганлиги сабабли, Норин дарёси сувида 1996 йилдан бошлаб ушбу пестицидлар учрамаяпти.

Юқорида келтирилганидек, республикада сув сифатини комплекс баҳолаш учун сувнинг ифлосланиш индекси (СИИ) фойдаланилади. Норин дарёсининг куйи қисмидаги кузатув пунктида сув сифати СИИ бўйича II (кучсиз ифлосланган) синфдан III (қисман ифлосланган) синф оралиғида ўзгарган. Сўнгги йилларда СИИ бўйича дарё сувининг ифлосланганлиги ортган (4-расм).

**Хулоса.** Норин дарёсида битта кузатув пунктида сув сифати мониторинги олиб борилаётганлиги сабабли, сўнгги йилларда дарё сув сифатининг оқим бўйлаб ўзгаришларини тўлиқ ўрганишнинг имкони бўлмади. Дарёдаги сув сифатини тўлиқ баҳолаш учун Ўзбекистон ҳудудида Норин дарёси суви сифатининг ҳолатини баҳолашда катта аҳамиятга эга “Учқўрғон” кузатув пунктида сув сифати мониторингини тиклаш зарур.



4-расм. Норин дарёси сувининг ифлосланиш даражаси, СИИ

Рис. 4. Степень загрязнения воды реки Нарын, ИЗВ

Fig. 4. Water contamination degree of the Narin River, WPI

Норин дарёсининг куйи қисмида СИИ бўйича дарёнинг сув сифати кучсиз ифлосланган ва қисман ифлосланган сувлар синфига киради. Дарё сувида феноллар, оғир металллардан мис ва хром, азот бирикмаларидан – нитритлар ўртача йиллик миқдори РЭК дан ошганлиги кузатилган.

**Муаллифлар ҳиссаси. Б.Э. Нишонов:** мақола ғояси, методология, таҳлил, матнни ёзиш, раҳбарлик. **И.Р. Разикова:** маълумотларни тўплаш, таҳлил қилиш, графикларни тузиш, матнни ёзиш. **М.Б. Назирқулова:** маълумотларни тўплаш, графикларни тузиш. Барча муаллифлар қўлёзмининг нашрга тайёрланган шакли билан танишдилар ва ўз розилиklarини бердилар.

## АДАБИЁТЛАР

*Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.

Ежегодники качества поверхностных вод на территории деятельности Узгидромета за 1996-2021 гг. – Ташкент: Узгидромет.

Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М.: Госкомгидромет, 1988. – 12 с.

*Шульц В.Л.* Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 692 с.

*Шульц В.Л., Маиранов Р.* Ўрта Осиё гидрографияси. – Тошкент: Ўқитувчи, 1969. – 328 б.

*B.E.Nishonov.* Surface water contamination by organochlorine pesticides residues in Uzbekistan / Proceedings of 9th International HCN and Pesticides Forum for CEECCA countries. Chisinau, USM, 2008. - PP.248-250.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ НАРЫН

**Б.Э. НИШОНОВ<sup>1</sup>, И.Р. РАЗИКОВА<sup>1</sup>, М.Б. НАЗИРКУЛОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru

<sup>2</sup> Наманганский государственный университет

**Аннотация.** В статье исследовано современное состояние качества воды реки Нарын по многолетним (1996-2021 гг.) данным по минерализации, органическому загрязнению, биогенным веществам, фторидам, тяжелым металлам. Определены среднемесячные, внутригодовые и многолетние изменения этих загрязняющих веществ в воде реки. В месте впадения реки Нарын в

реку Сырдарья минерализация воды изменяется в пределах 345-611 мг/дм<sup>3</sup>, в некоторых годах содержание нитритов было выше предельно-допустимых концентраций.

**Ключевые слова:** качество воды, минерализация, органическое загрязнение, БПК, ХПК, биогенные вещества, фториды, тяжелые металлы, река Нарын.

## CURRENT STATE OF NARYN RIVER WATER QUALITY

B.E. NISHONOV<sup>1</sup>, R.I. RAZIKOVA<sup>1</sup>, M.B. NAZURKULOVA<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Namangan State University

**Abstract.** *The article investigated the current state of water quality of the Naryn River according to long-term (1996-2021) data on mineralization, organic pollution, biogenic substances, fluorides, heavy metals. The average monthly, annual and long-term changes of these pollutants in the river water have been determined. At the confluence of the Naryn River with the Syrdarya River, the water mineralization varies within 345-611 mg/dm<sup>3</sup>, in some years the nitrite content was higher than the maximum admissible concentrations.*

**Keywords:** *water quality, mineralization, organic pollution, BOD, COD, biogenic substances, fluorides, heavy metals, Naryn River.*

## REFERENCES

Alekin O.A. Osnovi gidroximii. [Basics of hydrochemistry]. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 444 s. (in Russian)

Yejegodniki kachestva poverxnostnix vod na territorii deyatelnosti Uzgidrometa za 1996-2021 gg. [Yearbooks of surface water quality in the territory of Uzgidromet activity for 1996-2021]. – Tashkent: Uzgidromet. (in Russian)

Metodicheskiyi rekomendatsii po formalizovannoy kompleksnoy osenke kachestva poverxnostnix i morskix vod po gidroximicheskim pokazatelyam [Methodological recommendations on formalized integrated assessment of surface and sea water quality according to hydrochemical characteristics]. – M.: Goskomgidromet, 1988. – 12 s. (in Russian)

Shults V.L. Reki Sredney Azii [Rivers of Middle Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1965. – 692 s. (in Russian)

Shults V.L., Mashrapov R. Orta Osiyo gidrografiyesi [Hydrography of Middle Asia]. – Tashkent: Oqituvchi, 1969. – 328 b. (in Uzbek)

**ШАРҲЛАР / ОБЗОРЫ / REVIEWS****ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УЗБЕКИСТАНЕ  
В 2021 ГОДУ****И.А. КАРИМОВ<sup>1</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>2\*</sup>, М.А. ПЛОЦЕН<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан<sup>2</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрено загрязнение атмосферного воздуха в городах Республики Узбекистан в 2021 году по данным наблюдательной сети Узгидромета по основным загрязняющим веществам (взвешенные частицы (пыль), диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, озон). Показано, что средние за год концентрации основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе большинства городов Узбекистана были ниже нормативов качества, только в атмосферном воздухе некоторых городов отмечено превышение среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК). Индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в городах был в пределах 1,38-4,85.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, загрязнение, пыль, диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, озон, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, ИЗА, Узбекистан.

**Введение.** Загрязнение атмосферного воздуха представляет собой глобальную проблему в области экологии и здравоохранения. Здоровье человека чутко реагирует на воздух, которым он дышит. Загрязнение воздуха приводит к обострению респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, снижает продолжительность жизни. К наиболее распространенным химическим компонентам, находящимся в атмосферном воздухе городов, относятся взвешенные частицы (пыль), оксид углерода, оксид и диоксид азота, диоксид серы, аммиак.

Качество воздуха в городе формируется в результате сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов. Естественная топография местности и климатические параметры (температура воздуха, скорость ветра, солнечная радиация, осадки, приземные и приподнятые инверсии, застойные ситуации в атмосфере) являются важными условиями, создающими «климат» качества воздуха.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) загрязнение атмосферного воздуха ежегодно вызывает более 3 миллионов преждевременных смертей в мире. Поэтому необходим контроль загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для принятия неотлагательных мер для снижения уровня загрязнения и создания благоприятной среды для здоровья населения.

Узбекистан расположен в засушливой зоне Центральной Азии с аридным климатом, продолжительным сухим и жарким летом, влажной весной и неустойчивой зимой. На территории республики характерны неблагоприятные климатические условия для рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

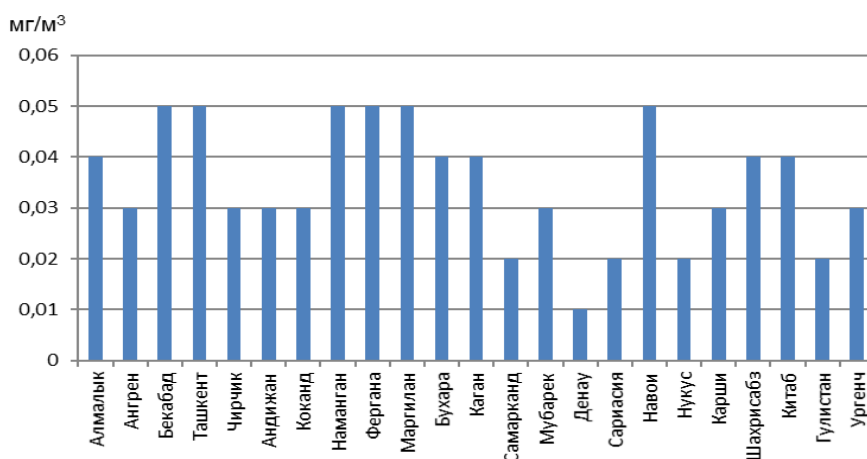
Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в городах являются промышленные предприятия и автотранспорт. В крупных городах выбросы автотранспорта превалируют над выбросами от промышленных предприятий.

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха является необходимым условием для эффективного управления качеством воздуха. Сеть мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан (Узгидромет) охватывает 25 городов, в которых имеются 67 стационарных постов наблюдения. Для получения достоверной информации о загрязнении воздуха посты

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

наблюдений расположены в разных функциональных зонах – жилых кварталах, промышленной зоне, около автомобильных дорог [ГОСТ, 1986]. В городах расположено от 1 до 3 постов наблюдения. В г. Ташкент имеются 13 постов наблюдения загрязнения атмосферного воздуха и 2 автоматические станции мониторинга качества атмосферного воздуха с непрерывным циклом измерения. В воздухе городов измеряются концентрации основных и специфических загрязняющих веществ. Сбор и анализ данных наблюдений и оценка состояния загрязнения воздуха в городах Узбекистана осуществляется ежегодно. Оценка качества атмосферного воздуха проводится сравнением концентрации загрязняющих веществ в воздухе с их предельно допустимой концентрацией (ПДК), а также расчетом индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

**Загрязнение атмосферного воздуха оксидами азота.** К наиболее важным загрязнителям атмосферного воздуха относятся оксиды азота, которые поступают в атмосферу с антропогенными выбросами от промышленности, электростанций и транспорта. Они образуются в процессе сгорания органического топлива при высоких температурах в виде оксида азота (NO) и диоксида азота (NO<sub>2</sub>). В воздухе оксид азота (NO) трансформируются в диоксид азота (NO<sub>2</sub>). Средняя концентрация оксидов азота в атмосферном воздухе в городах республики изменялась от 0,01 до 0,05 мг/м<sup>3</sup> [Обзор ..., 2022]. В 6-и городах – Бекабад, Ташкент, Наманган, Фергана, Маргилан и Навои содержание диоксида азота в атмосферном воздухе превысило ПДК в 1,3 раза (рис. 1).



**Рис. 1. Среднегодовое содержание диоксида азота в атмосферном воздухе в городах республики в 2021 г.**

**Fig. 1. Average annual nitrogen dioxide content in atmospheric air in the cities of the republic in 2021**

**Загрязнение атмосферного воздуха диоксидом серы.** Основным источником диоксида серы в воздухе городов являются электростанции, котельные и предприятия металлургии. Диоксид серы поступает в атмосферу при сгорании топлива, содержащего серу, а также при переработке сульфидных руд.

Средняя концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе городов в 2021 году была в пределах от 0,001 до 0,057 мг/м<sup>3</sup>. Во всех городах отсутствуют случаи, когда концентрация превышала значения ПДК, кроме г.Алмалык, где ПДК<sub>сс</sub> составило 1,1 ПДК (рис. 2).

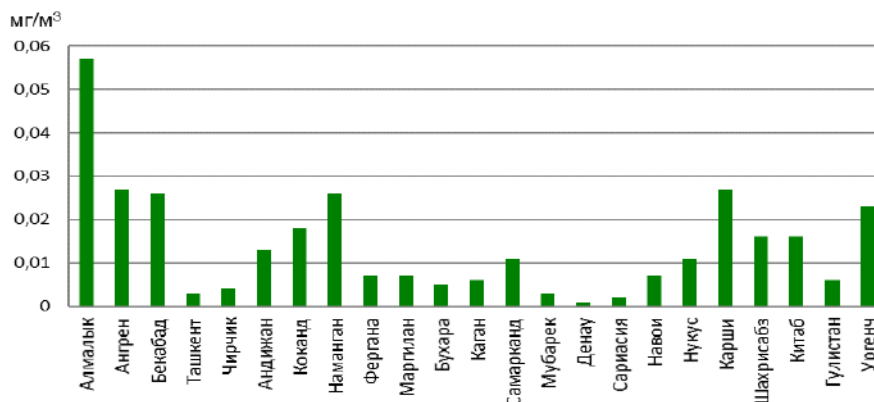


Рис. 2. Среднегодовое содержание диоксида серы в атмосферном воздухе в городах республики в 2021 г.

Fig. 2. Average annual sulfur dioxide content in atmospheric air in the cities of the republic in 2021

**Загрязнение атмосферного воздуха оксидом углерода (CO).** Оксид углерода поступает в атмосферу от промышленных предприятий в результате неполного сгорания топлива. Оксид углерода в больших количествах содержится в выбросах предприятий металлургии и нефтехимии, но главным источником оксида углерода является автомобильный транспорт.

Средняя концентрация оксида углерода в атмосферном воздухе городов в 2021 году наблюдалась в пределах от 1 до 4 мг/м<sup>3</sup>. В городах Ангрен и Наманган концентрация оксида углерода превысил ПДК в 1,3 раза (рис. 3).

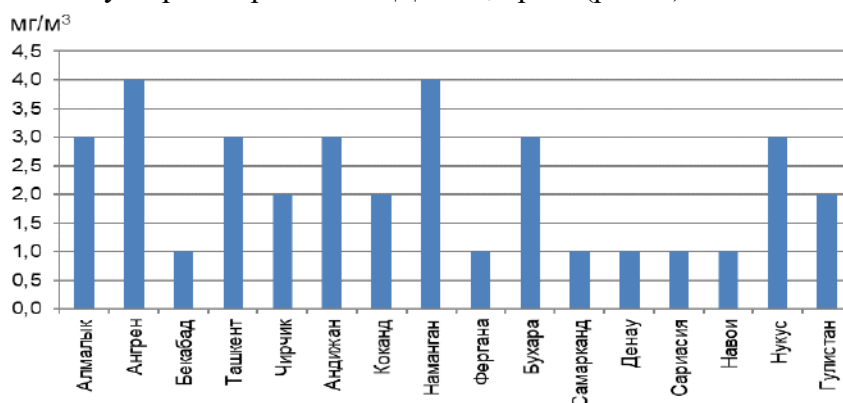


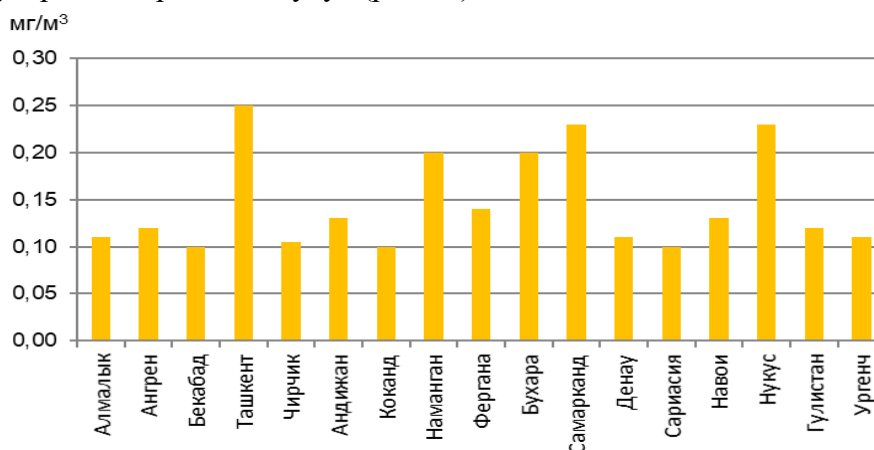
Рис.3. Среднегодовое содержание оксида углерода в атмосферном воздухе в городах республики в 2021 г.

Fig. 3. Average annual carbon monoxide content in atmospheric air in the cities of the republic in 2021

**Загрязнение атмосферного воздуха твердыми взвешенными веществами (пылью).** Твердые взвешенные вещества включают пыль, золу, сажу, цемент, сульфаты, нитраты и другие взвешенные вещества, которые образуются в результате сгорания всех видов топлива и при производственных процессах. Твердые взвешенные вещества в атмосферу поступают от антропогенных и природных источников. Антропогенные взвешенные вещества – производственная пыль и твердые частицы от различных предприятий, твердые частицы в выбросах автотранспорта и др. Природные взвешенные вещества образуются в результате поднятии ветром частиц почвы в воздух. В настоящее время огромные стройки жилых домов охватили все крупные города. От деятельности

строителей атмосфера получает загрязненный воздух в виде множества мелких и крупных потоков взвешенных веществ, которые возникают при земляных работах. В атмосферу поступает цементная пыль, выбросы от сжигаемого строительного мусора и многие газовые примеси, выделяемые различными строительными агрегатами. В результате этого в крупных городах средние концентрации взвешенных веществ в атмосферном воздухе выше предельно допустимых концентраций.

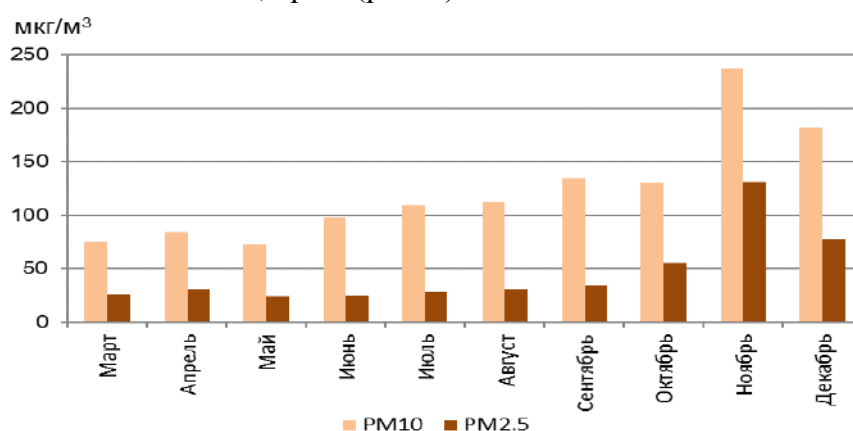
Содержание пыли в атмосферном воздухе городов наблюдалось в пределах от 0,10 до 0,25 мг/м<sup>3</sup>. Превышение ПДК в 1,3 раза зафиксировано в городах Ташкент, Наманган, Бухара, Самарканд и Нукус (рис. 4).



**Рис. 4. Среднегодовое содержание пыли в атмосферном воздухе в городах республики в 2021 г.**

**Fig. 4. The average annual dust content in the atmospheric air in the cities of the republic in 2021**

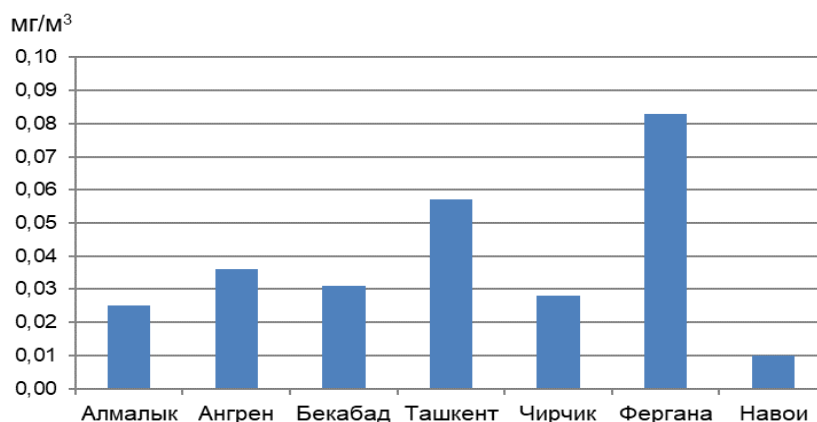
С марта 2021 г. начаты непрерывные наблюдения за мелкодисперсными частицами PM10 и PM2,5 в г.Ташкент автоматическими станциями мониторинга атмосферного воздуха. Эти частицы составляют обычно 40–70% от общего числа взвешенных частиц. В Узбекистане в настоящее время действуют СанПиН 0293-11, в котором приняты нормативы только для взвешенных частиц PM10, нормативы на содержание мелкодисперсных частиц PM2,5 в атмосферном воздухе ещё не разработаны. За счет пыльной бури в ноябре 2021 г. наблюдалось превышение среднемесячной ПДК по взвешенным частицам PM 10 в 2,3 раза (рис. 5).



**Рис. 5. Содержание мелкодисперсных взвешенных частиц PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе г.Ташкент в 2021 г.**

**Fig. 5. Content of PM10 and PM2.5 in the atmospheric air of Tashkent in 2021**

**Загрязнение атмосферного воздуха озоном.** Озон образуется в загрязненной атмосфере в результате фотохимических реакций, происходящих в атмосфере под воздействием интенсивной солнечной радиации. Содержание озона в городах республики наблюдалось в пределах от 0,010 до 0,083 мг/м<sup>3</sup>. Превышения ПДК отмечены в городах Ангрен (1,2 ПДК), Ташкент (1,9 ПДК), Фергана (2,8 ПДК) (рис. 6).



**Рис. 6. Среднегодовое содержание озона в атмосферном воздухе в городах республики в 2021 г.**

**Fig. 6. The average annual ozone content in the atmospheric air in the cities of the republic in 2021**

В 2021 году экстремально высокое и высокое загрязнения атмосферного воздуха наблюдались в городах Алмалык в январе и марте по диоксиду серы – от 8,9 до 13,7 ПДК<sub>сс</sub>, Ташкент в июле и октябре по пыли – 9,3 и 6,0 ПДК<sub>сс</sub> соответственно, Чирчик в августе и ноябре по аммиаку – 7,0 и 6,0 ПДК<sub>сс</sub>, соответственно.

**Индекс загрязнения атмосферного воздуха.** В Узбекистане для комплексной оценки состояния атмосферного воздуха применяется Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), который рассчитывают по 5 веществам, имеющим наиболее высокие концентрации. Уровень загрязнения воздуха считается низким – при ИЗА менее 5, повышенным при ИЗА от 5 до 7, высоким при ИЗА от 7 до 14, очень высоким при ИЗА от 14 и выше.

По данным мониторинга Узгидромета в 2021 году на территории Узбекистана сохранялась стабильная ситуация по загрязнению атмосферного воздуха (табл. 1).

*Таблица 1*

**Значение ИЗА в крупных городах Республики за 2021 г.**

*Table 1*

**The value of API in large cities of the republic for 2021**

| Город     | ИЗА  | Город    | ИЗА  |
|-----------|------|----------|------|
| Андижан   | 3,52 | Сариасия | 1,38 |
| Алмалык   | 4,85 | Ташкент  | 4,67 |
| Ангрен    | 4,41 | Навои    | 4,03 |
| Бухара    | 4,34 | Нукус    | 3,37 |
| Коканд    | 2,83 | Ургенч   | 1,95 |
| Маргилан  | 1,51 | Чирчик   | 3,56 |
| Самарканд | 3,13 |          |      |

В целом по республике в 2021 году уровень загрязнения атмосферного воздуха был в пределах нормы. Анализ данных, полученных на сети мониторинга атмосферного

воздуха в 2021 гг., показал, что средние за год концентрации основных и специфических загрязняющих веществ в большинстве контролируемых городов Узбекистана были ниже нормативов качества.

## ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ 17.2.3.01-86. Правила контроля качества воздуха в населенных пунктах.

Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах Республики Узбекистан на территории деятельности Узгидромета за 2021 г. Ташкент, 2022. – 155 с.

## ЎЗБЕКИСТОНДА 2021 ЙИЛДА АТМОСФЕРА ҲАВОСИНИ ИФЛОСЛАНИШИ

И.А. КАРИМОВ<sup>1</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>2</sup>, М.А. ПЛОЦЕН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази

<sup>2</sup>Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bnishonov@mail.ru

**Аннотация.** Мақолада Ўзбекистон Республикаси шаҳарларида 2021 йилда атмосфера ҳавосини асосий ифлослантирувчи моддалар (муаллақ моддалар (чанг), азот диоксиди, олтингугурт диоксиди, углерод оксиди, озон) билан ифлосланиши Ўзгидромет кузатув тармогининг маълумотлари асосида кўриб чиқилган. Ўзбекистоннинг кўпгина шаҳарлари атмосфера ҳавосидаги асосий ифлослантирувчи моддаларнинг йиллик ўртача миқдорлари меъёрлардан паст бўлган, фақат баъзи шаҳарлар атмосфера ҳавосида суткалик ўртача рухсат этилган концентрациялардан юқорилиги қайд этилган. Шаҳарларда атмосфера ҳавосини ифлосланиш индекси (АИИ) 1,38-4,85 оралигида бўлган.

**Ключевые слова:** атмосфера ҳавоси, ифлосланиши, чанг, азот диоксиди, олтингугурт диоксиди, углерод оксиди, озон, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, АИИ, Ўзбекистон.

## AIR POLLUTION IN UZBEKISTAN IN 2021

I.A. KARIMOV<sup>1</sup>, B.E. NISHONOV<sup>2</sup>, M.A. PLOTSEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan

<sup>2</sup>Hydrometeorological Research Institute, bnishonov@mail.ru

**Abstract.** The article considers air pollution in the cities of the Republic of Uzbekistan by the main pollutants (suspended particles (dust), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, ozone) in 2021 according to data of the Uzhydromet observation network. It was shown that the annual mean concentrations of the main pollutants in the atmospheric air of most cities of Uzbekistan were lower than quality standards, only in the atmospheric air of some cities pollution exceeded the average daily maximum permissible concentrations (MPC). The air pollution index (API) in cities was in the range of 1.38-4.85.

**Keywords:** atmospheric air, pollution, dust, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, ozone, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, API, Uzbekistan.

## REFERENCES

ГОСТ 17.2.3.01-86. Pravila kontrolya kechestva vozduxa v naseleennykh punktakh [Rules for air quality control in settlements]. (in Russian)

Obzor sostoyaniya atmosfernogo vozduxa v gorodax Respubliki Uzbekistan na territorii deyatelnosti Uzgidrometa za 2021 g. [Overview of the state of air pollution in the cities of the Republic of Uzbekistan in the territory of the Uzhydromet's activities for 2021]. Tashkent, 2022. – 155 s. (in Russian)

**ЮБИЛЕЙЛАР/ ЮБИЛЕИ / ANNIVERSARIES****ФАЗЛИДДИН ҲИКМАТОВ – 70 ЁШДА!**

Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази, Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ҳамда Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Гидрометеорология факультети жамоалари Сизни муборак 70 ёшингиз билан самимий қутлайди! Сизга илмий, илмий-педагогик ва маънавий-маърифий ишларингизда янгидан-янги ижодий ютуқлар, мустақкам соғлиқ, куч ғайрат ва оилавий хотиржамлик тилайди!

Ҳикматов Фазлиддин Ҳикматович 1969 йилда Номданак қишлоғидаги Ҳамза номли 47-сонли ўрта мактабни “Олтин медаль” билан тамомлаган. Шу йили Тошкент давлат университети – ТошДУ (ҳозирги Ўзбекистон миллий университети – ЎЗМУ) География факультети талабаси бўлди. Ушбу мўътабар илм даргоҳида тиришқоқ талаба Н.Долимов, В.Л.Шульц, О.П.Шеглова, Ҳ.Ҳ.Ҳасанов, Л.И.Шалатова, Л.Н.Бабушкин, Р.Машрапов, И.Р.Алимухамедов, А.Р.Расулов каби таниқли олимлардан сабоқ олиб, 1974 йилда “Имтиёзли” диплом билан тугаллади.

Шу йилдан бошлаб Ф.Ҳикматов ўзи таҳсил олган Куруқлик гидрологияси кафедраси лаборанти, техниги, муҳандиси, кичик илмий ходими, ўқитувчиси (1978-1985 йй.), доценти (1985-1999 йй.) ва 1999-2020 йилларда кафедра мудири лавозимларида фаолият кўрсатди, 2020 йил сентябрь ойидан бошлаб эса шу кафедра профессори лавозимида ишлаб келмоқда. У, юқорида қайд этилган лавозимлардаги педагогик фаолияти билан бир вақтда, 1985-1992 йилларда ТошДУ География факультетининг ўқув ишлари бўйича декан муовини, 1993-1996 йилларда шу факультет Ўқув Методик Кенгаши раиси, 1997-1999 йилларда эса илмий ишлар бўйича декан муовини вазифаларида, жамоатчилик асосида самарали фаолият кўрсатди.

Фазлиддин Ҳикматов таниқли гидролог олимлар профессор О.П.Шеглова ҳамда доцент А.Р.Расуловларнинг илмий раҳбарлигида «Генетический анализ и вопросы прогноза стока взвешенных наносов рек Средней Азии» мавзусидаги номзодлик диссертация ишини 1984 йилда химоя қилиб, география фанлари номзоди илмий даражасини олган. Шундан сўнг, у 15 йилдан ортиқроқ вақт давомида амалга оширган илмий-тадқиқот ишларини якунлаб, улар асосида тайёрланган «Водная эрозия и сток взвешенных наносов рек Средней Азии, усовершенствование методики их расчета прогноза» мавзусидаги докторлик диссертация ишини 2002 йилда химоя қилган ва география фанлари доктори илмий даражасига тасдиқланган.

Кўп йиллик заҳматли меҳнатлари натижасида Фазлиддин Ҳикматов 1990 йилда доцент ва 2009 йилда эса профессор илмий унвонларини олган.

Профессор Фазлиддин Ҳикматов ўзининг илмий-педагогик фаолияти давомида 250 дан ортиқ илмий ишлар, жумладан, 16 та монография, 6 та дарслик, 20 дан ортиқ ўқув қўлланмалар, 8 та атласлар муаллифидир. Унинг 100 дан ортиқ илмий мақолалари Ўзбекистон, шулардан 10 дан ортиғи МДҲ мамлакатлари ва узоқ чет эллардаги нуфузли даврий илмий журналларда чоп этилган. Устознинг Ўзбекистон Миллий Энциклопедияси ва даврий матбуотда фан ва таълим масалаларига бағишланган 200 дан ортиқ мақолалари чоп этилган.

Фазлиддин Ҳикматовнинг шогирдлари билан яратган дарсликлари ва ўқув қўлланмаларидан мамлакатимиз ва қўшни давлатлар олий таълим муассасаларида ўқув

жараёнида кенг фойдаланилмоқда. Улар тайёрлаган дарсликлар ва ўқув қўлланмалар Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги, Халқ таълими вазирлиги ва “Истеъдод” жамғармасининг “Йилнинг энг яхши дарслиги ва ўқув адабиёти муаллифи” Республика танловида 2005 йилда 2-ўринни, 2015 йилда 1-ўринни эгаллаган, 2008 йилда эса “Gidrologiya va gidrometriya” ўқув қўлланмаси учун муаллифлар рағбатлантирувчи мукофот ҳамда “Фахрий ёрлик” билан тақдирланган.

Устоз Ф.Ҳикматов сув ресурсларини баҳолаш, уларни муҳофаза қилиш ва прогнозлаш ҳамда иқлим ўзгариши масалаларига бағишланган қатор халқаро илмий анжуманлар, жумладан, конференциялар, съездлар, симпозиумларнинг фаол иштирокчисидир. Айни вақтда, республика ва халқаро илмий анжуманларнинг асосий ташкилотчиларидан ҳисобланади.

Таникли гидролог олим, география фанлари доктори, профессор Фазлиддин Ҳикматовнинг илмий раҳбарлигида бугунги кунга қадар 40 дан ортиқ магистрлар, 3 та фан номзоди, 9 та фалсафа доктори (PhD) ва 7 та фан доктори (DSc) тайёрланган. Ҳозирги кунда унинг раҳбарлигида 2 та мустақил тадқиқотчи-изланувчилар докторлик (DSc), 2 та таянч докторант ва 3 та мустақил тадқиқотчи-изланувчилар (PhD) диссертациялари устида илмий тадқиқот ишларини олиб бормоқда. Устознинг шогирдлари нафақат республикамизда, балки МДХ ва чет мамлакатларда ҳам фаолият кўрсатмоқда.

Таникли гидролог олим Ф.Ҳикматов ўз вақтида устозлари – В.Л.Щульц, О.П.Шеглова, А.Р.Расуловлар асос солган ва жаҳон миқёсида тан олинган «Тоғли худудлар гидрологияси» илмий мактабининг энг фаол давомчиларидан бири ҳисобланади.

Ф.Ҳикматов томонидан амалга оширилган тадқиқотлар халқаро миқёсда ҳам эътироф этилган. У 2001 йилда Халқаро Биосфера Фанлар Академияси (МАБИН)нинг мухбир аъзоси этиб сайланган, 2001 йилдан М.В.Ломоносов номидаги Москва давлат университети қошида ташкил этилган «Эрозия, дарёлар дельтаси ва ўзан жараёнлари муаммолари»ни ўрганувчи олий ўқув юртлараро Халқаро Мувофиқлаштирувчи Кенгаш Президиуми аъзоси. Ушбу Халқаро Кенгашдаги фаол иштироки учун Ф.Ҳикматов Москва давлат университетининг “Фахрий ёрлиғи” билан тақдирланган.

Ўзбекистон мустақиллиги йилларида мамлакатимиз университет таълим тизимида янги “Гидрометеорология” ва “Гидрология” таълим йўналишлари, “Қуруқлик гидрологияси, сув ресурслари”, “Кўллар ва сув омборлари гидрологияси”, “Гидрохимё”, “Гляциология ва қор қоплами мониторинги”, “Сел тошқинлари гидрологияси”, “Гидрометеорология (фаолият тури бўйича)”, “Гидрология (ўрганиш объектлари бўйича)” каби магистратура мутахассисликлари очилди. Шунингдек, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 17 июндаги ПҚ-4358-сон Қарори асосида, Қуруқлик гидрологияси кафедрасида «5A140703 – Иқлим ўзгариши ва иқлимий хатарларни баҳолаш» магистратура мутахассислиги фаолияти йўлга қўйилди. Ушбу мутахассисликларнинг Давлат таълим стандартлари, малака талаблари, ўқув режалари, фан дастурлари Ўзбекистон миллий университетида Ф.Ҳикматов раҳбарлигида ишлаб чиқилди.

Ф.Ҳикматов хориж олий ўқув юртлари билан ЎзМУ алоқаларини янада кенгайтиришга муносиб ҳисса қўшмоқда. Натижада ЎзМУ талабалари Германиянинг Потсдам Иқлим Институти, Швейцариянинг Фрибург университети, Россия давлат гидрометеорология университети (Санкт-Петербург, Россия), Москва давлат университетида стажировкаларда бўлдилар, ўқув ҳамда ўқув-дала амалиётларини ўтиб келмоқдалар.

Тажрибали олим ЎзМУнинг Гидрометеорология илмий-назарий семинари раиси, Ўзбекистон Республикаси География Жамияти раиси (2021 йил апрелдан ҳамраиси), “Ўзбекистон География Жамияти Ахбороти” журналининг бош муҳаррири, “Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги” журнали бош муҳаррири ўринбосари, “ЎзМУ хабарлари” ҳамда “European Journal of Technical and Natural Sciences” илмий

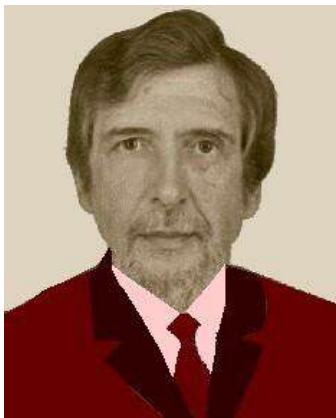
журналларининг таҳрир ҳайъати аъзоси ҳисобланади. Бундан ташқари, Фан ва технологиялар маркази экспертлар кенгаши, Ўзбекистон Республикаси Сув ҳўжалиги вазирлигининг Ирригация ва Дренаж Миллий кўмитаси, Москва давлат университети қошидаги «Эрозия, дарёлар дельталари ва ўзан жараёнлари муаммолари бўйича Халқаро Мувофиқлаштирувчи Кенгаш» Президиуми аъзоси сифатида жамоатчилик ишларини сидқидилдан бажариб келмоқда.

Фазлиддин Ҳикматов 2008 йилда республикамызда таълим-тарбия тизимини такомиллаштириш, соҳага илғор педагогик технологияларни жорий этиш, талаба ёшларга замонавий билим асосларини ўргатиш, уларни Ватанга муҳаббат ва садоқат руҳида тарбиялаш борасидаги кўп йиллик фидокорона хизматлари учун “Меҳнат шуҳрати” ордени билан мукофотланган. Шунингдек, 2021 йилда эса Муҳтарам Президентимиз Шавкат Мирзиёевнинг Фармони билан Устозга “Ўзбекистон Республикасида хизмат кўрсатган ёшлар мураббийси” фахрий унвони берилган.

Устоз, география фанлари доктори, профессор Фазлиддин Ҳикматов, юқорида баён этилганидек, меҳнаткашлиги, намунавий ахлоқий маданияти ва ҳаётнинг барча жабҳаларида камтаринлиги, айна пайтда фидойи, жонкуяр олим ва илмий-ижодкорлик қобилияти билан республикамыз зиёлилари орасида хурмат қозонган. У Ватанимиз тараккиёти йўлида бор имкон ва куч-ғайратини сафарбар эта оладиган фидойи инсондир.

Ҳурматли Устоз, Сизнинг садоқатли оила бошлиғи, меҳрибон ота, азиз ва суюкли набираларининг эл таниган олим бобоси, Сизнинг таъбирингиз билан айтганда, фарзандларингиз қаторидаги ўнлаб шогирлардингизнинг қадри устози эканлигингиз ва бошқа қирраларингиз ҳақида ҳам кўп ва хўп ёзиш мумкин.

Мухтасар қилиб айтганда, бугунги кунга келиб, Устоз – Фазлиддин Ҳикматович гидрология ҳамда гидрометеорология илми ва таълими соҳасида ўрнатилган мактаб яратдилар. Гидрометеорология фани фидойиси хурматли Фазлиддин Ҳикматович Ҳикматовни қутлуғ ёшлари билан табриклаймиз! Энг аввало соғлиқ-омонлик, оилавий хотиржамликни тилаймиз, қолаверса, доимо фарзандлари-ю шогирдлари ардоғида бўлиб, уларнинг камолини яна узоқ йиллар кўриб юриш насиб этишини яратгандан сўраб қоламиз. Яратганнинг ўзи Сизни ва Сиз қаторингизда барчамизни шу кунларга етиб, эзгу тилакларимиз ва орзу-ниятларимизнинг тўла-тўқис ижобат бўлишини насиб айласин!

**МИХАИЛУ ЛЬВОВИЧУ АРУШАНОВУ – 75 ЛЕТ!**

Михаил Львович Арушанов родился в г. Ташкенте в 1947 году. Начиная со студенческой скамьи Физического факультета Ташкентского государственного университета (кафедра «Физика атмосферы») до настоящих дней занимается вопросами физики атмосферы, метеорологии, солнечно-атмосферных связей, разработкой динамико-стохастических и численных моделей прогноза погоды, применению спутниковой информации в методах анализа и прогноза погоды и агрометеорологической тематике.

М.Л.Арушанов на протяжении всего времени до настоящих дней совмещал науку со спортом, имеет звание «Кандидата в мастера спорта», но главное занятие – наука, не позволила добиться ещё больших результатов. В юношеские годы защищал честь Узбекистана на спартакиадах школьников, являясь членом сборной Узбекистана, играл в командах «СКА» и «Университет» с такими выдающимися баскетболистами, как Алжан Жармухамедов (олимпийский чемпион, 1972 г.), Евгений Коваленко (бронзовый призёр чемпионата Европы, 1983). При участии М.Л.Арушанова Узгидромет в 1973 году занял первое место по баскетболу на спартакиаде Профсоюзов Авиарботников Узбекистана. В настоящее время является действующим членом сборной ветеранов Узбекистана по баскетболу.

В 1968 году, будучи студентом 3-го курса, совмещал учёбу на очном факультете с работой в Численном отделе прогноза погоды Метеорологической службы Узбекистана, где впервые была установлена электронная вычислительная машина «Минск-2». С этого момента до настоящих дней Михаил Львович Арушанов остаётся приверженцем выбранной профессии, прошедший путь от оператора-программиста до доктора наук, профессора, проработав в Узгидромете более 55 лет.

Первый научный шаг был сделан в дипломной работе (научный руководитель к.ф.-м.н. В.И.Мартемьянов) «Использование разложений по ЕОФ в целях объективного анализа метеорологических полей», оппонентом которой был доктор физико-математических наук, профессор Г.В.Груза – известнейший в мире метеоролог и климатолог.

После окончания университета в 1970 г. был принят на постоянную работу по заявке Узгидромета (в 1970 г. Метеорологическая служба была преобразована в Управление) в отдел Численных прогнозов, в котором проработал уже 3 года, совмещая учёбу в университете.

Второй, более серьёзный шаг в науке, был сделан после окончания аспирантуры в Гидрометцентре СССР (научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор Ш.А.Мусаелян) – кандидатская диссертация «Статистическая структура полей облачности по данным МСЗ и их использования для восстановления барических полей над южной частью среднеазиатского региона». Во время учёбы в аспирантуре М.Л.Арушанову выпала большая удача некоторое время работать под руководством академика Гурия Ивановича Марчука – президента АН СССР (1986-1991 гг.).

Полностью сформировавшимся учёным М.Л.Арушанов стал после защиты докторской диссертации (2000 г.) «Исследование гелиогеофизических процессов на базе аппарата причинного анализа», написанной под влиянием работ величайшего астрофизика, профессора Н. А. Козырева, выдвинувшего теорию субстанциональности времени, выраженную в «Причинной или несимметричной механике в линейном приближении». Одним из рецензентов его докторской диссертации был академик М.М.Лаврентьев, высоко оценивший работу М.Л.Арушанова. Первым оппонентом

докторской диссертации М.Л.Арушанова был академик АН РУз Фарадей Басырович Абуталиев, с которым он долгое время плодотворно сотрудничал.

Являясь последовательным продолжателем идей Н.А.Козырева, совместно с доктором физико-математических наук, профессором С.М.Коротаевым, М.Л.Арушановым был разработан аппарат причинного анализа, который стал общепризнанным в научном мире и приобрёл значимость в научных исследованиях наравне с корреляционным и спектральным анализами. В монографии М.Л.Арушанова «Эффекты причинной механики в метеорологии», выдержавшей два издания (одно в Гамбурге), впервые было показано, что учёт дополнительной силы, выявленной Н.А.Козыревым в гироскопической системе (каковой является планета Земля), в численной модели прогноза погоды значимо повышает ее оправдываемость. Это положение отражено в Википедии (страница интернета – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Козырев, Николай\\_Александрович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Козырев,_Николай_Александрович)).

М.Л.Арушановым впервые на основе производства энтропии открытой термодинамической системы формализовано понятие «климат», придав ему строгое количественное определение (в отличие от существующего статистического).

Возглавляя отдел Информационных технологий (1987-2005 гг.) Метеоинфосистем Узгидромета под руководством М.Л.Арушанова разработаны Автоматические рабочие места (АРМ) «Синоптик», «Агрометеоролог», «Спутник», которые до настоящего времени используются в оперативной работе Узгидромета. После посещения Узгидромета Чарльзом – принцем Уэльским в 1996 году М. Л. Арушанов был приглашен в Институт Природных ресурсов (Великобритания, Рединг), где была продемонстрирована технология оценки растительной массы по данным ИСЗ, разработанная под его руководством в отделе Информационных технологий Метеоинфосистем.

М.Л.Арушановым написано более 170 научных трудов, из них 7 монографий. Начиная с 2007 г. по настоящее время М.Л.Арушанов возглавляет Лабораторию экологического мониторинга Научно-исследовательского гидрометеорологического института (НИГМИ) и является ведущим направления «Нелокальные корреляции крупномасштабных процессов» Российского международного междисциплинарного семинара по темпорологии имени А.П.Левича Института исследований природы времени при Московском государственном университете. Им подготовлено 2 доктора наук (DSc) и 5 кандидатов наук (PhD).

Коллектив Научно-исследовательского гидрометеорологического института искренне поздравляет Арушанова Михаила Львовича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья, успехов в научной деятельности, мира и счастья в семейной жизни!