

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ХИЗМАТИ АГЕНТЛИГИ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
ВА АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ
ИЛМИЙ ЖУРНАЛ

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING**
SCIENTIFIC JOURNAL

№1
2025
ISSN 2181-1261

Ўзбекистон Республикаси
Гидрометеорология хизмати агентлиги
(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

**№ 1
2025**

Тошкент

ТАХРИР КЕНГАШИ

Тахрир кенгаси раиси:

Ҳабибуллаев Шерзод
Ҳабибуллахўжаевич

Масъул котиб:

Рўзиева Малоҳат Бахтиёровна

Тахрир кенгаси аъзолари:

Тажиев Баходир Саъдуллаевич
Алихонов Борий Ботирович
Абдурахманов Иброҳим Юлчиевич
Хамраев Шавкат Рахимович
Нишонов Баҳридин Эркинович

ТАХРИР ҲАЙЪАТИ

Бош муҳаррир:

Холматжанов Бахтияр Махаматжанович,
г.ф.д., проф.

Бош муҳаррир ўринбосари:

Ҳикматов Фазлиддин,
г.ф.д., проф.

Тахрир ҳайъати аъзолари:

Абдулахатов Эркин Икромович, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Абдураҳимов Баҳтиёр Файзиевич, ф.-м.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Аденбаев Баҳтиёр Ембергенович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Агзамов Файзулла Саидакбаровиҷ, и.ф.н. (Ўзбекистон); Азизова Раъно Гаффаровна, к.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Арушанов Михаил Лъювович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Ахмедова Тамара Абдураҳимовна, тех.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Бабушкин Олег Леонидович, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Верещагина Наталья Григорьевна, к.ф.н. (Ўзбекистон); Гафуров Акмал Акрамович, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Гуния Гарри Сергеевич, г.ф.д., проф. (Грузия); Гущина Дарья Юрьевна, г.ф.д. (Россия); Дергачёва Ирина Викторовна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Камалов Баҳодир Асамович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Карандаева Лидия Михайловна, тех.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Кадиров Баҳтиёр Шарафиддинович, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Мамаджанова Гавхар Ахматхоновна, ф.-м.ф.д. (Буюк Британия); Мурадов Шуҳрат Одилович, тех.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Мягков Сергей Владимирович, тех.ф.д., к.и.х. (Ўзбекистон); Нишонов Мухтор Мадаминович, ф.-м.ф.н., доц. (Ўзбекистон); Раҳмонов Комилжон Раджабович, г.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Рағиков Вахоб Асомович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Тилляходжаева Зуҳрахон Джакангировна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Тлеумуратова Бибигуль Сарибаевна, ф.-м.ф.д. (Ўзбекистон); Тургунов Данияр Маннапжанович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Умирзаков Ғуломжон Ўнгарбоевич, қ.х.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Хайдаров Сафарбой Абдирашитович, г.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Холбаев Гулман Холбаевич, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Холмирзаев Мальмуржон Жанузаковиҷ, г.-м.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Хужаназаров Темур Мухиддинович, и.ф.ф.д. (Япония); Фазилов Али Раҳматджанович, тех.ф.д., доц. (Тоҷикистон); Фролова Наталья Леонидовна, г.ф.д., проф. (Россия); Чембарисов Эльмир Исмаилович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Чередниченко Александр Владимирович, г.ф.д., проф. (Қозогистон); Эгамбердиев Ҳамракул Турсункулович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Юнусов Голиб Ҳоджаевич, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Якубов Мурод Адилович, 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. Тахририят тақриздан ўтмаган мақолаларни қайтариш мажбуриятини олмаган.

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

“Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги” илмий журнали Ўзбекистон Республикаси Президенти Администрацияси хузуридаги 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 кирилтилган.

Таъсисчи: Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель редакционного совета:

Хабибуллаев Шерзод
Хабибуллахужаевич

Члены редакционного совета:

Тажиев Баходир Саъдуллаевич
Алихонов Борий Ботирович
Абдурахманов Иброхим Юлчирович
Хамраев Шавкат Рахимович
Нишонов Баҳриддин Эркинович

Ответственный секретарь:

Рузиева Малоҳат Бахтиёровна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Холматжанов Бахтияр Махаматжанович,
д.г.н., проф.

Заместитель главного редактора:

Хикматов Фазлиддин,
д.г.н., проф.

Члены редакционной коллегии:

Абдулахатов Эркин Икромович, д.ф.н. (Узбекистан); Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич, д.ф.-м.н., проф. (Узбекистан); Аденбаев Бахтиёр Ембергенович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Агзамов Файзулла Сайдакбарович, к.э.н. (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); Гафуров Акмал Акрамович, д.ф.г.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 Баҳодир Асамович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Карандаева Лидия Михайловна, к.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Кадиров Бахтиёр Шарафиддинович, к.г.н., с.н.с. (Узбекистан); Мамаджанова Гавхар Ахматхоновна, д.ф.-м.н. (Великобритания); Мурадов Шуҳрат Одилович, д.т.н., проф. (Узбекистан); Мягков Сергей Владимирович, д.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Нишонов Мухтор Мадаминович, к.ф.-м.н., доц. (Узбекистан); Рахмонов Комилjon Раджабович, д.ф.г.н., доц. (Узбекистан); Рафиков Вахоб Асомович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Тилляходжаева Зуҳрахон Джонгировна, д.ф.г.н. (Узбекистан); Тлеумуратова Бибигуль Сарибаевна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Тургунов Данияр Маннапжанович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Умирзаков Гуломжон Үнгарбаевич, д.ф.с.-х.н., доц. (Узбекистан); Хайдаров Сафарбой Абдирашитович, д.ф.г.н., доц. (Узбекистан); Холбаев Гулман Холбаевич, к.г.н., с.н.с. (Узбекистан); Холмирзаев Маъмуржон Жанузакович, д.ф.г.-м.н., доц. (Узбекистан); Хужаназаров Темур Мухиддинович, д.ф.и.н. (Япония); Фазылов Али Рахматжанович, д.т.н., доц. (Таджикистан); Фролова Наталья Леонидовна, д.г.н., проф. (Россия); Чембарисов Эльмир Исаевич, д.г.н., проф. (Узбекистан); Чередниченко Александр Владимирович, д.г.н., проф. (Казахстан); Эгамбердиев Ҳамракул Турсункулович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Юнусов Голиб Ҳоджаевич, д.г.н., доц. (Узбекистан); Якубов Мурод Адилович, 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: Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан.

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

EDITORIAL COUNCIL

Chairman of the Editorial Council:

Sherzod Khabibullakhujayevich
Khabibullaev

Assistant Editor:

Ruzieva Malokhat Bakhtiyorovna

Members of the Editorial Council:

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

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Bakhtiyor Makhamatjanovich Kholmatjanov,
D.Sc. in Geog., Prof.

Deputy Editor-in-Chief:

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

Members of the Editorial Board:

Erkin Ikromovich Abdulakhatov, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan); D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Bakhtiyor Fayzievich Abdurakhimov**, *Ph.D. in Geog. (Uzbekistan); D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Bakhtiyor Embergerovich Adenbaev**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Fayzulla Saydakbarovich Agzamov**, *Ph.D. in Econ. 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)*; **Gafurov Akmal Akramovich**, *Ph.D. in Geog. 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)*; **Bakhtiyor Sharafiddinovich Kadirov**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Gavkhar Akhmatkhonovna Mamatjanova**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Great Britain)*; **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)*; **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**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Gulomjon Ungarbaevich Umirzakov**, *Ph.D. in Agri. Sci. (Uzbekistan)*; **Safarboy Abdirashitovich Khaydarov**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Gulman Kholbaevich Kholbaev**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Mamurjon Zhanuzakovich Kholmirzaev**, *Ph.D. in Geol. & Miner. Sci. (Uzbekistan)*; **Temur Mukhiddinovich Khujanazarov**, *Ph.D. in Eng. Sci. (Japan)*; **Ali Rakhmatjanovich Fazylov**, *D.Sc. in Tech. (Tajikistan)*; **Natalya Leonidovna Frolova**, *D.Sc. in Geog. (Russia)*; **Elmir Ismailovich Chembarisov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Alexandr Vladimirovich Cherednichenko**, *D.Sc. in Geog. (Kazakhstan)*; **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: Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan.

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

МУНДАРИЖА

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ВА АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

МЕТЕОРОЛОГИЯ	
М.Л. Арушанов, М. Алаутдинов	
Тошкент шаҳрида углерод оксиди концентрациясининг метеорологик катталиклар ва куёш фаоллиги ўзгаришларига боғлиқлиги	8
Л.Ю. Шардакова, Б.Э. Нишонов, Н.И. Рахматова, А.Р. Ахмедова	
Тошкент шаҳрида чанг ғубори ҳодисасининг таҳлили	19
Б.Э. Нишонов, М.М. Абдурахманов	
ERA5 реанализ маълумотларини Оҳангарон дарё ҳавзасида кузатилган метеорологик маълумотлар билан қиёсий таҳлили	28
ГИДРОЛОГИЯ	
С.С. Сувонқулов, А.А. Ни, Л.М. Карандаева, Т.И. Хисматуллин, Г.Б. Зулпихаров	
Оҳангарон дарё ҳавзаси музликлари	39
Н.Х. Олимжонова, Д.М. Турғунов, Р.Ю. Махамадалиев	
Иқлим ўзгариши шароитида Фарғона водийси дарёлари оқимининг шаклланиш хусусиятлари	51
И.Р. Солиев	
Иқлим ўзгаришининг Сўх ёйилмаси ер ости сувлари сатҳига таъсири	59
Н.А. Тошбеков	
Коллектор-зовур сувларидан қишлоқ хўжалик экинларини суғориш ва шўр ювишда фойдаланиш (Бухоро вилояти мисолида)	70
АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ	
И.В. Дергачева, С.С. Мягков, С.В. Мягков	
“Ўзбекистон баланд тоғ кўллари” электрон каталоги ва маълумотлар базаси ..	77

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТЕОРОЛОГИЯ

М.Л. Арушанов, М. Алаутдинов

Зависимость концентрации оксида углерода от метеорологических величин и вариаций солнечной активности в г. Ташкенте 8

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

Анализ явления пыльной мглы в г. Ташкенте 19

Б.Э. Нишонов, М.М. Абдурахманов

Сравнительный анализ данных реанализа ERA5 с наблюденными метеорологическими данными в бассейне реки Ахангаран 28

ГИДРОЛОГИЯ

С.С. Суванкулов, А.А. Ни, Л.М. Карандаева, Т.И. Хисматуллин,

Г.Б. Зулпихаров

Ледники бассейна реки Ахангаран 39

Н.Х. Олимжонова, Д.М. Турғунов, Р.Ю. Махамадалиев

Особенности формирования стока рек Ферганской долины в условиях изменения климата 51

И.Р. Солиев

Влияние изменения климата на уровень подземных вод в речной равнине Соха 59

Н.А. Тошбеков

Использование коллекторно-дренажных вод при орошении сельскохозяйственных культур и промывке соли (на примере Бухарской области) 70

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

И.В. Дергачева, С.С. Мягков, С.В. Мягков

Электронный каталог и база данных «Высокогорные озера Узбекистана» 77

CONTENTS

METEOROLOGY

M.L. Arushanov, M. Alautdinov

- Dependence of carbon monoxide concentration on meteorological values and variations of solar activity in Tashkent 8

L.Yu. Shardakova, B.E. Nishonov, N.I. Rakhmatova, A.R. Akhmedova

- Analysis of the dust haze phenomenon in Tashkent 19

B.E. Nishonov, M.M. Abdurakhmanov

- Comparative analysis of ERA5 reanalysis data with meteorological data observed in the Akhangaran river basin 28

HYDROLOGY

S.S. Suvankulov, A.A. Ni, L.M. Karandaeva, T.I. Xismatullin,**G.B. Zulpixarov**

- Glaciers of the Akhangaran river basin 39

N.Kh. Olimjonova, D.M. Turgunov, R.Yu. Makhamadaliev

- Features of the formation of the flow of rivers in the Fergana valley in the context of climate change 51

I.R. Soliyev

- Impact of climate change on the groundwater levels in the Sox river plain 59

N.A. Toshbekov

- Use of collector water for irrigation of agricultural crops and washing of salt (on the example of Bukhara region) 70

ENVIRONMENTAL MONITORING

I.V. Dergacheva, S.S. Myagkov, S.V. Myagkov

- Electronic catalogue and database «High-mountain lakes of Uzbekistan» 77

МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY

УДК: 504.3.054

ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В Г. ТАШКЕНТЕ

М.Л. АРУШАНОВ^{1*}, М. АЛАУТДИНОВ²

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, miklarushanov@rambler.ru

² Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Аннотация. В статье рассмотрена статистическая структура временной изменчивости оксида углерода (СО). Исследована зависимость влияния метеорологических величин (температура, относительная влажность, давление, скорость ветра) и вариаций солнечной активности (числа Вольфа) на изменчивость его концентрации в г. Ташкенте, как функции месяца года. Выявлены месяцы года с значимой корреляцией между СО и метеорологическими величинами.

Рассчитан спектр колебаний концентраций оксида углерода по 30-летней выборке (1991-2020 гг.). Получены главные составляющие спектра с периодом колебаний 0,5, 1, 2,8, 4, 8 и 30 лет. Исследована причинная связь между концентрацией СО и рассматриваемыми метеорологическими величинами и числами Вольфа. Получена причинная обусловленность вариаций концентрации СО в г. Ташкенте от метеорологических факторов и отсутствие таковой от вариаций солнечной активности.

Ключевые слова: оксид углерода, метеорологические величины, кросскорреляция, спектр колебаний, функция причинности, вейвлет функция.

Введение. Проблема загрязнения воздуха в городах планеты в связи с наблюдаемым глобальным положительным трендом температуры в XXI веке приобрела особую значимость. Пространственно-временная изменчивость примесей в атмосфере, помимо интенсивного антропогенного воздействия на качество воздуха в городах, в сильной степени зависит от метеорологических условий того или иного региона со своими географическими особенностями. По данным [Боков и др., 2006] изменчивость примесей в атмосфере под воздействием метеорологических факторов составляет 70%. В частности, в Ташкенте на фоне глобального потепления, тенденции усиления темпов опустынивания и, как следствие, повышения концентрации естественных пылевых выносов, антропогенного фактора (увеличения промышленных предприятий, автомобилей) значительно возросло количество выбросов примесей в атмосферу города. Согласно оценкам ВОЗ [Загрязнение ...] в 2019 г. загрязнение атмосферного воздуха в городах планеты стало причиной преждевременной смерти 4,2 млн человек во всём мире.

Особое место из загрязняющих атмосферу примесей занимает оксид углерода (СО, угарный газ,monoоксид углерода и т.п.). При ограниченной в городах достаточной естественной вентиляции, являясь токсичной примесью, СО может достигать высоких концентраций в атмосфере города, оказывая пагубное влияние на здоровье человека. Играя важную роль в фотохимических процессах, оксид углерода во многом определяет

^{1*} Ответственный автор: mikl-arushanov@rambler.ru, тел. +998 90 9976146

концентрации других важных примесей, имеющих отношение к глобальным изменениям атмосферы, и является индикатором глобальных изменений.

В городах важную роль в образовании СО играют процессы неполного сгорания топлива в автомобильных двигателях. Вклад автотранспорта в загрязнение атмосферы городов СО составляет 45-75% от его общего бюджета антропогенного происхождения [Созонова, Пепина, 2017].

В работе [Алаутдинов, 2024] на основе анализа распределения концентрации оксида углерода по 12 опорным постам наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в г. Ташкенте построена карта-схема распределения оксида углерода и выявлены локации с относительно повышенным содержанием загрязняющего вещества. В данной статье с использованием базы данных СО для Ташкента, описанной в указанной работе, исследуется временная статистическая структура СО, изменчивость его концентрации под воздействием метеорологических величин.

Цель работы. Исследовать временную статистическую структуру оксида углерода по данным 12 постов в г. Ташкенте, получить спектр колебаний СО в диапазоне 30-летней выборки, определить особенности влияния метеорологических факторов и вариаций солнечной активности на концентрацию СО и выявить наличие (отсутствие) причинной обусловленности концентрации оксида углерода вариациями солнечной активности.

Постановка задачи. Одной из информативных характеристик динамики исследуемой переменной X является её среднее $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$ на заданном интервале времени. Другой важной характеристикой изменчивости исследуемой переменной служит дисперсия $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$, рассчитанная по заданной выборке. И в том и другом случае выборочные значения отличаются от значений в генеральной совокупности. Величина такого различия определяется длиной исследуемого ряда. В метеорологии за базовый период принят 30-ти летний ряд, среднее которого принимается за норму.

Статистическая связь между двумя переменными X и Y определяется кросскорреляцией, показывающей тесноту связи между переменными:

$$R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}}. \quad (1)$$

Индивидуальный спектр колебаний (спектральная плотность) исследуемого временного ряда рассчитывается как преобразование Фурье автокорреляционной функции времени [Дженкинс, Ваттс, 1972]:

$$S(f) = 2 \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{T-1} r(k) w(k) \cos(2\pi f k) \right], \quad 0 \leq f \leq \frac{1}{2}, \quad (2)$$

где $R(k) \equiv R_{xx}(k)$ – автокорреляционная функция времени; $w(k)$ – корреляционное окно (сглаживающие веса), определённое в дискретные моменты времени $u=k\Delta$, $k=1,2,\dots,T,\Delta$ – шаг дискретности, f – частота.

В отличие от преобразования Фурье, вейвлет анализ позволяет проследить степень устойчивости колебаний во времени на фиксированной частоте.

Амплитудная вейвлет-функция $W(a,b)$ (в случае дискретного преобразования) рассчитывается по формуле [Арушанов, 2015]:

$$W(a,b) = \frac{1}{n(a,b)} \sum_{k=0}^{N-1} f_k(t) G^* \left(\frac{t_k - b}{a} \right), \quad (3)$$

где $f(t)$ – исследуемая функция, $G^*(t)$ – «материнская» вейвлет-функция («звёздочка» означает комплексное сопряжение), a, b коэффициенты масштаба и сдвига, соответственно,

$$t \text{ – время, } n(a,b) = \sum_{k=0}^{N-1} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t_k - b}{a} \right)^2}.$$

Решение одной из поставленных задач, а именно, наличие (отсутствие) причинной обусловленности концентрации оксида углерода вариациями солнечной активности выполняется на основе теории причинного анализа [Арушанов, Коротаев, 1994]. Согласно теории причинного анализа, вычисляется функция причинности

$$\Upsilon = \frac{i_{Y|X}}{i_{X|Y}}, \quad 0 \leq \Upsilon \leq \infty, \quad (4)$$

где $i_{Y|X} = \frac{H(Y|X)}{H(Y)}$, $i_{X|Y} = \frac{H(X|Y)}{H(X)}$, $0 \leq i \leq 1$ – независимости процесса Y от X и процесса X

от Y , $H(X)$, $H(Y)$ – безусловные и $H(Y|X)$, $H(X|Y)$ условные энтропии соответствующих процессов.

Если $\Upsilon < 1$, то функция находится в области нормальной причинности (процесс X является причиной, а процесс Y – следствием); если $\Upsilon > 1$ – функция находится в области обращённой причинности (процесс Y – причина, процесс X – следствие); при $\Upsilon = 1$ – процессы причинной зависимостью не связаны.

Материалы и методы исследования. Использованы данные о содержании среднемесячных значений оксида углерода ($\text{мг}/\text{м}^3$), осреднённые по 12 постам г. Ташкента за 30-ти летний период времени (1991-2020 гг.), среднемесячные значения температуры, давления, относительной влажности, скорости ветра, индекса солнечной активности – числа Вольфа, за тот же период. Данные СО по 12 постам г. Ташкента взяты из архива Узгидромета, а числа Вольфа с сайта Астронет: <https://www.astronet.ru/db/msg/1163053>.

Анализ результатов. На рис. 1 приведен годовой ход среднемесячных значений и дисперсии концентрации оксида углерода. На рис. 1 видно, что концентрация $\overline{\text{СО}}$ максимальна в летние месяцы – июнь, июль, что является очевидным результатом, ибо в это время наиболее характерными из синоптических процессов Средней Азии являются малоградиентное поле пониженного и повышенного давления, иногда переходящие в термическую депрессию, продолжающуюся, как правило, 2-3 суток [Иногамова, Мухтаров, 2002]. Этим процессам характерна сухая, жаркая погода без осадков.

Минимальное значение среднемесячной концентрации $\overline{\text{СО}}$ приходится на февраль, т.е. зимний месяц с частыми, как правило, осадками и неустойчивой погодой, когда преобладают северо-западные, западные вторжения и выходы южных циклонов (южно-каспийский, мургабский, верхнеамударынский), а также волновая деятельность [Иногамова, Мухтаров, 2002], благоприятствующие удалению примесей из атмосферы.

Минимальные и максимальные значения дисперсии среднемесячной концентрации $\overline{\text{СО}}$ приходятся на апрель и ноябрь месяцы, соответственно.

В целом концентрации оксида углерода увеличиваются от зимы к лету и уменьшаются от лета к осени. Противоположный годовой ход имеет его дисперсия – уменьшение к лету и увеличение к зиме. Интересно отметить, что прямо противоположный

результат, касаюmo годового хода оксида углерода, получен в работе [Людчик и др., 2022]. Эти два результата прямо указывают на очевидную зависимость, помимо метеорологических факторов, годового хода концентрации CO от физико-географических условий.

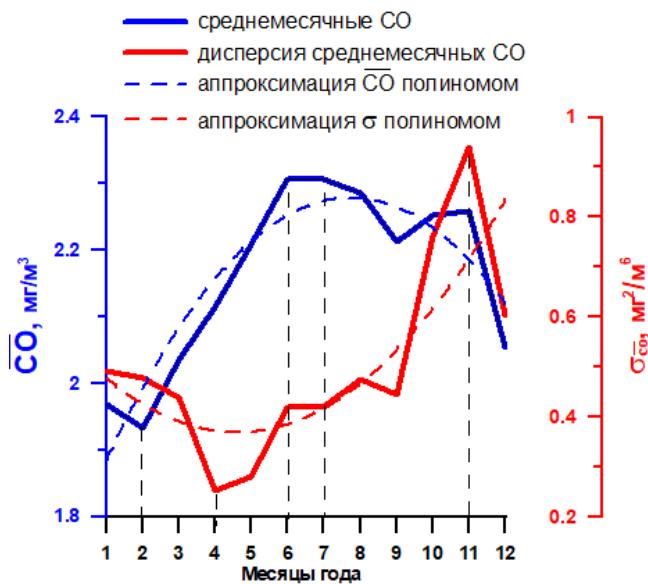


Рис. 1. Годовой ход средней за тридцатилетия (1991-2020 гг.) среднемесячной концентрации CO и её дисперсии в г. Ташкенте

Fig. 1. Annual variation of the thirty-year (1991-2020) average monthly CO concentration and its variance in Tashkent

Для выявления связи метеорологических факторов на концентрацию оксида углерода в атмосфере города Ташкента были рассчитаны кросскорреляционные матрицы оксида углерода и указанных выше метеорологических величин и чисел Вольфа. Сразу отметим, что в отличие от диоксида углерода, который имеет значимую корреляцию с вариациями солнечной активности (числа Вольфа) [Arushanov, Alautdinov, 2024], оксид углерода такой зависимости не имеет. Это объясняется малым периодом естественной «жизни» углерода в атмосфере – около 35 суток [Зобнина, 2011]. Что касается метеорологических величин, то из рассмотренных в данной работе, значимая корреляция проявляется с относительной влажностью, температурой и скоростью ветра (табл. 1-3), а корреляция с приземным давлением отсутствует.

Исходя из значимых коэффициентов кросскорреляционных матриц (затемнённые ячейки) вырисовывается картина с наличием периодической составляющей (составляющих) в спектре колебаний оксида углерода. Для выяснения этого вопроса был рассчитан его спектр колебаний (2), приведённый на рис. 2. Для этого, сначала была построена автокорреляционная функция (рис. 2а), как функция временного сдвига, затем спектральная плотность (рис. 2б), как преобразование Фурье автокорреляционной функции.

Как и следовало ожидать, в спектре CO проявляются три максимума спектральной плотности с периодами 6, 12 и 30 месяцев, т.е. полугодичный, годичный и 2,8 лет. Если первые два периода вполне объяснимы, то период 2,8 лет, по-видимому, связан с

квазидвухлетней цикличностью общей циркуляции атмосферы [Хайруллина, Астафьев, 2011].

Таблица 1
Кросскорреляционная матрица относительной влажности и оксида углерода
Table 1

Cross-correlation matrix of relative humidity and carbon monoxide

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	<u>0,15</u> 0,19	<u>0,24</u> 0,18	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,16</u> -0,19	<u>0,23</u> 0,18	<u>0,19</u> 0,19
II	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,17</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>-0,11</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19	<u>-0,12</u> 0,19	<u>-0,12</u> 0,19	<u>0,01</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19	<u>0,10</u> 0,19
III	<u>0,34</u> 0,17	<u>0,29</u> 0,18	<u>0,35</u> 0,17	<u>0,29</u> 0,18	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,38</u> 0,17	<u>0,39</u> 0,16
IV	<u>0,18</u> 0,19	<u>0,23</u> 0,18	<u>0,33</u> 0,17	<u>0,30</u> 0,17	<u>0,30</u> 0,18	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,46</u> 0,15	<u>0,46</u> 0,15	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,25</u> 0,18	<u>0,19</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19
V	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,29</u> 0,18	<u>0,38</u> 0,16	<u>0,37</u> 0,16	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,47</u> 0,15	<u>0,43</u> 0,16	<u>0,44</u> 0,15	<u>0,25</u> 0,18
VI	<u>0,30</u> 0,18	<u>0,30</u> 0,17	<u>0,33</u> 0,17	<u>0,25</u> 0,18	<u>0,26</u> 0,18	<u>0,39</u> 0,16	<u>0,36</u> 0,16	<u>0,36</u> 0,17	<u>0,48</u> 0,15	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,46</u> 0,15	<u>0,35</u> 0,17
VII	<u>0,54</u> 0,14	<u>0,51</u> 0,14	<u>0,38</u> 0,17	<u>0,30</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,38</u> 0,16	<u>0,21</u> 0,18	<u>0,21</u> 0,18	<u>0,35</u> 0,17	<u>0,42</u> 0,16	<u>0,46</u> 0,15	<u>0,33</u> 0,17
VIII	<u>0,47</u> 0,15	<u>0,44</u> 0,16	<u>0,39</u> 0,16	<u>0,36</u> 0,17	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,48</u> 0,15	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,45</u> 0,15	<u>0,38</u> 0,16	<u>0,42</u> 0,16	<u>0,29</u> 0,17
IX	<u>0,48</u> 0,15	<u>0,41</u> 0,16	<u>0,31</u> 0,17	<u>0,15</u> 0,19	<u>0,28</u> 0,18	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,37</u> 0,18	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,51</u> 0,14	<u>0,39</u> 0,16	<u>0,40</u> 0,16	<u>0,29</u> 0,17
X	<u>-0,01</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>-0,08</u> 0,19	<u>0,20</u> 0,18	<u>-0,08</u> 0,19	<u>0,09</u> 0,19	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,09</u> 0,19	<u>-0,04</u> 0,19	<u>-0,17</u> 0,19
XI	<u>0,00</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>0,14</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>0,08</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>0,23</u> 0,18
XII	<u>0,02</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,04</u> 0,19	<u>-0,05</u> 0,19	<u>0,04</u> 0,19	<u>0,04</u> 0,19	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,12</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>-0,04</u> 0,19

Примечание: В табл. 1-3: числитель – коэффициент корреляции, знаменатель – стандартная ошибка; ячейки главной диагонали (одноимённые месяца года) с значимыми коэффициентами корреляции выделены светлым тоном; тёмный тон – значимые коэффициенты корреляции сочетаний месяцев года.

Note: In table 1-3, the numerator is the correlation coefficient, the denominator is the standard error; the cells of the main diagonal (months of the year with the same name) with significant correlation coefficients are highlighted in light tones; dark tones are significant correlation coefficients of month-of-the-year combinations.

В целях проследить степень устойчивости колебаний среднемесячных значений оксида углерода во времени на фиксированной частоте был выполнен вейвлет анализ. На рис. 3 приведены амплитудная вейвлет функция и интегральный вейвлет спектр CO . Как следует из рис. 2, в спектре колебаний CO прослеживаются четыре устойчивых максимума на частотах, соответствующих периодам 2,8, 4, 8 и 30 лет, два из которых дает и спектр Фурье. Полученные выше кросскорреляционные матрицы метеорологических величин и оксида водорода характеризуют статистическую связь оксида углерода с метеорологическими величинами. Для выявления их причинной обусловленности был выполнен причинный анализ [Арушанов, Коротаев, 1994].

Таблица 2
Кросскорреляционная матрица температуры и оксида углерода

Table 2**Cross-correlation matrix of relative humidity and carbon monoxide**

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	<u>-0,02</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>0,01</u> 0,19	<u>0,09</u> 0,19	<u>0,11</u> 0,19	<u>0,02</u> 0,19	<u>0,11</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>0,11</u> 0,19	<u>-0,09</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19
II	<u>-0,05</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>-0,15</u> 0,19	<u>-0,19</u> 0,19	<u>-0,27</u> 0,18	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>0,01</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,11</u> 0,19
III	<u>-0,35</u> 0,18	<u>-0,24</u> 0,18	<u>-0,27</u> 0,18	<u>-0,32</u> 0,17	<u>-0,29</u> 0,18	<u>-0,27</u> 0,18	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,12</u> 0,19	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,32</u> 0,17	<u>-0,38</u> 0,16	<u>-0,26</u> 0,18
IV	<u>-0,36</u> 0,17	<u>-0,25</u> 0,18	<u>-0,37</u> 0,17	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,39</u> 0,16	<u>-0,37</u> 0,37	<u>-0,43</u> 0,16	<u>-0,45</u> 0,15	<u>-0,49</u> 0,15	<u>-0,25</u> 0,18	<u>-0,17</u> 0,19	<u>-0,27</u> 0,18
V	<u>-0,23</u> 0,18	<u>-0,36</u> 0,17	<u>-0,49</u> 0,15	<u>-0,44</u> 0,15	<u>-0,34</u> 0,17	<u>-0,43</u> 0,16	<u>-0,47</u> 0,15	<u>-0,42</u> 0,16	<u>-0,53</u> 0,14	<u>-0,48</u> 0,15	<u>-0,46</u> 0,15	<u>-0,33</u> 0,17
VI	<u>0,23</u> 0,18	<u>-0,22</u> 0,18	<u>-0,30</u> 0,17	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,39</u> 0,16	<u>-0,43</u> 0,16	<u>-0,53</u> 0,14	<u>-0,47</u> 0,15	<u>-0,49</u> 0,15	<u>-0,29</u> 0,18
VII	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,07</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,17	<u>-0,01</u> 0,19	<u>0,20</u> 0,18	<u>0,04</u> 0,19	<u>-0,04</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19
VIII	<u>-0,39</u> 0,16	<u>-0,39</u> 0,16	<u>-0,57</u> 0,13	<u>-0,44</u> 0,16	<u>-0,40</u> 0,16	<u>-0,49</u> 0,15	<u>-0,42</u> 0,16	<u>-0,45</u> 0,15	<u>-0,55</u> 0,13	<u>-0,55</u> 0,13	<u>-0,53</u> 0,14	<u>-0,41</u> 0,16
IX	<u>-0,37</u> 0,17	<u>-0,39</u> 0,16	<u>-0,28</u> 0,18	<u>-0,19</u> 0,19	<u>-0,34</u> 0,17	<u>-0,40</u> 0,16	<u>-0,17</u> 0,19	<u>-0,32</u> 0,17	<u>-0,24</u> 0,18	<u>-0,36</u> 0,17	<u>-0,37</u> 0,17	<u>-0,31</u> 0,17
X	<u>-0,12</u> 0,19	<u>0,08</u> 0,19	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>0,02</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,07</u> 0,19
XI	<u>-0,04</u> 0,19	<u>0,01</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19	<u>0,02</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>0,10</u> 0,19	<u>0,12</u> 0,19	<u>-0,21</u> 0,18
XII	<u>-0,09</u> 0,19	<u>-0,11</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,11</u> 0,19	<u>-0,08</u> 0,19	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,09</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19

Таблица 3
Кросскорреляционная матрица скорости ветра и оксида углерода

Table 3**Cross-correlation matrix of wind speed and carbon monoxide**

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	<u>0,06</u> 0,19	<u>0,02</u> 0,19	<u>0,20</u> 0,19	<u>0,10</u> 0,19	<u>0,12</u> 0,19	<u>-0,01</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>-0,07</u> 0,19	<u>0,00</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19	<u>-0,05</u> 0,19	<u>-0,03</u> 0,19
II	<u>0,44</u> 0,15	<u>0,42</u> 0,16	<u>0,50</u> 0,14	<u>0,23</u> 0,18	<u>0,27</u> 0,18	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,49</u> 0,15	<u>0,50</u> 0,14	<u>0,52</u> 0,14	<u>0,48</u> 0,15	<u>0,43</u> 0,16	<u>0,40</u> 0,16
III	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,12</u> 0,19	<u>0,18</u> 0,19	<u>0,15</u> 0,19	<u>0,20</u> 0,18	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,08</u> 0,19	<u>0,15</u> 0,19	<u>0,05</u> 0,19
IV	<u>0,36</u> 0,17	<u>0,25</u> 0,18	<u>0,27</u> 0,18	<u>0,10</u> 0,19	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,25</u> 0,18	<u>0,18</u> 0,19	<u>0,16</u> 0,19	<u>0,29</u> 0,18	<u>0,27</u> 0,18	<u>0,31</u> 0,17	<u>0,41</u> 0,16
V	<u>0,26</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,05</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,08</u> 0,19	<u>0,26</u> 0,18	<u>0,31</u> 0,17	<u>0,35</u> 0,17	<u>0,36</u> 0,17	<u>0,37</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17
VI	<u>0,48</u> 0,15	<u>0,38</u> 0,16	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,18</u> 0,19	<u>0,28</u> 0,18	<u>0,31</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,36</u> 0,17	<u>0,32</u> 0,17	<u>0,28</u> 0,18	<u>0,23</u> 0,18	<u>0,16</u> 0,19
VII	<u>0,30</u> 0,17	<u>0,12</u> 0,19	<u>0,25</u> 0,18	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,12</u> 0,19	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,09</u> 0,19	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,19</u> 0,19	<u>0,07</u> 0,19	<u>0,10</u> 0,19	<u>0,26</u> 0,18
VIII	<u>-0,02</u> 0,19	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,21</u> 0,18	<u>0,11</u> 0,19	<u>0,13</u> 0,19	<u>0,27</u> 0,18	<u>0,21</u> 0,18	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,16</u> 0,19	<u>0,22</u> 0,18	<u>0,17</u> 0,19	<u>0,39</u> 0,16
IX	<u>-0,28</u> 0,18	<u>-0,20</u> 0,19	<u>-0,24</u> 0,18	<u>-0,37</u> 0,17	<u>-0,36</u> 0,17	<u>-0,36</u> 0,17	<u>-0,45</u> 0,15	<u>-0,32</u> 0,17	<u>-0,36</u> 0,17	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,17</u> 0,19	<u>-0,13</u> 0,19
X	<u>-0,24</u> 0,18	<u>-0,24</u> 0,18	<u>-0,01</u> 0,19	<u>0,03</u> 0,19	<u>-0,10</u> 0,19	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,18</u> 0,19	<u>-0,15</u> 0,19	<u>-0,15</u> 0,19	<u>0,06</u> 0,19	<u>0,15</u> 0,19	<u>-0,02</u> 0,19
XI	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,18</u> 0,19	<u>-0,20</u> 0,18	<u>-0,32</u> 0,17	<u>-0,34</u> 0,17	<u>-0,25</u> 0,18	<u>-0,21</u> 0,18	<u>-0,28</u> 0,18	<u>-0,14</u> 0,19	<u>-0,22</u> 0,18	<u>-0,28</u> 0,18	<u>-0,32</u> 0,17
XII	<u>-0,08</u> 0,19	<u>-0,27</u> 0,18	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,16</u> 0,17	<u>-0,15</u> 0,19	<u>-0,06</u> 0,19	<u>-0,11</u> 0,19	<u>-0,09</u> 0,19	<u>-0,15</u> 0,19	<u>-0,13</u> 0,19	<u>-0,11</u> 0,19	<u>-0,29</u> 0,18

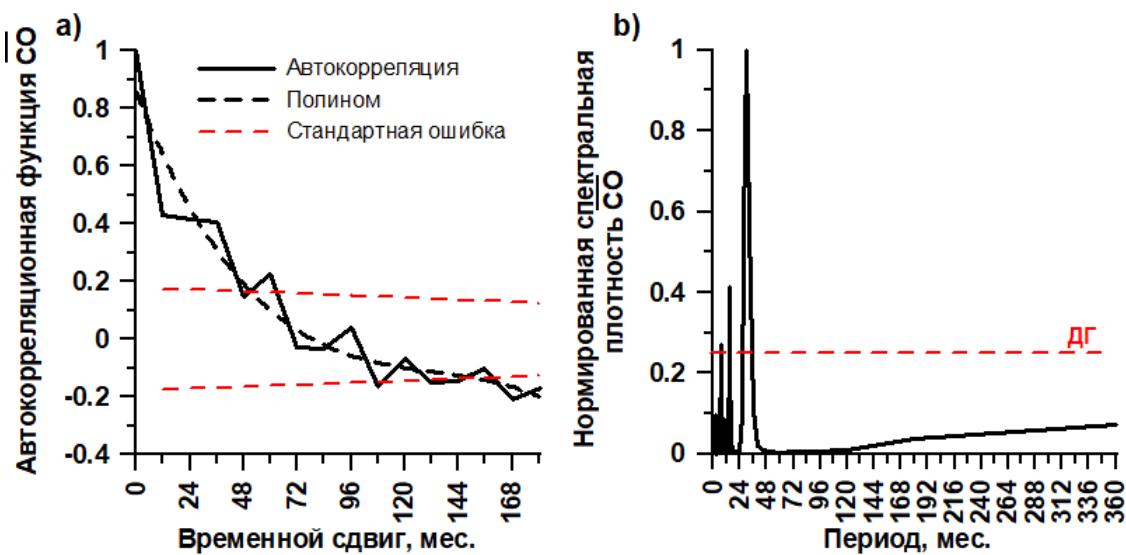


Рис. 2. Автокорреляционная функция (а) и нормированная спектральная плотность (б) среднемесячных значений оксида углерода $\overline{\text{CO}}$. ДГ – доверительная граница.

Fig. 2 Autocorrelation function (a) and normalized spectral density (b) of monthly average values of carbon monoxide $\overline{\text{CO}}$. ДГ – confidence limit.

Результаты расчёта функции причинности для $\overline{\text{CO}}$ (X(t) – метеорологические ряды относительной влажности, температуры и скорости ветра) приведены на рис. 4. Для всех X(t) при нулевом временном сдвиге $\Upsilon < 1$: изменение концентрации CO обусловлено метеорологическими факторами.

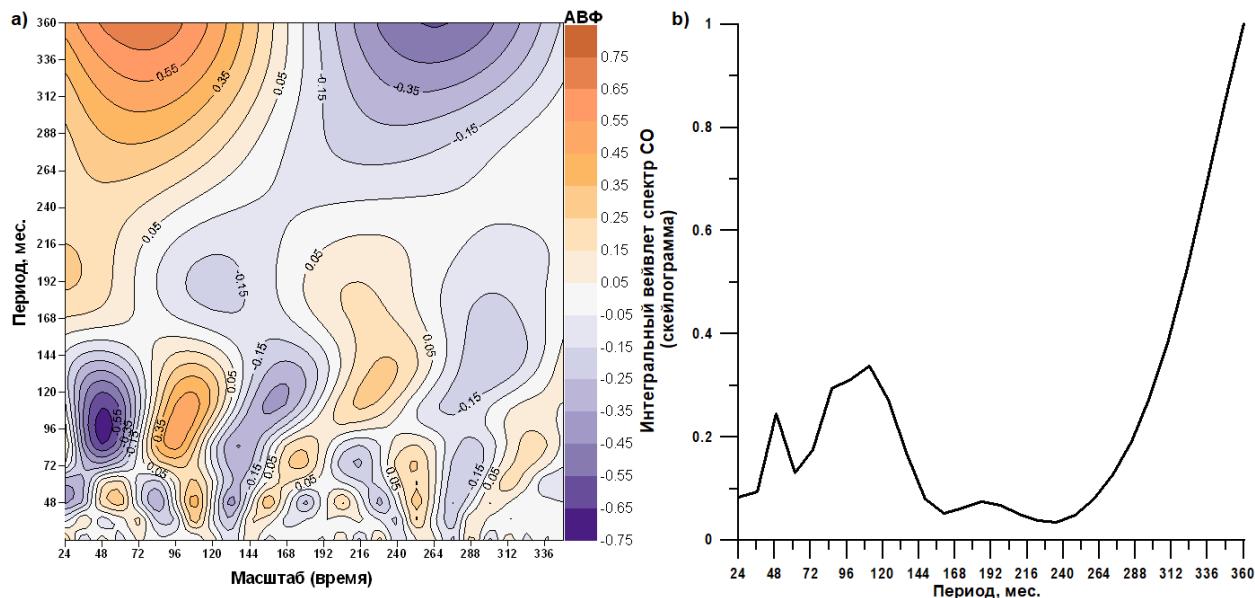


Рис. 3. Амплитудная вейвлет функция (а) и интегральный вейвлет спектр (скейлограмма) $\overline{\text{CO}}$

Fig. 3. Amplitude wavelet function (a) and integral wavelet spectrum (scalogram) $\overline{\text{CO}}$

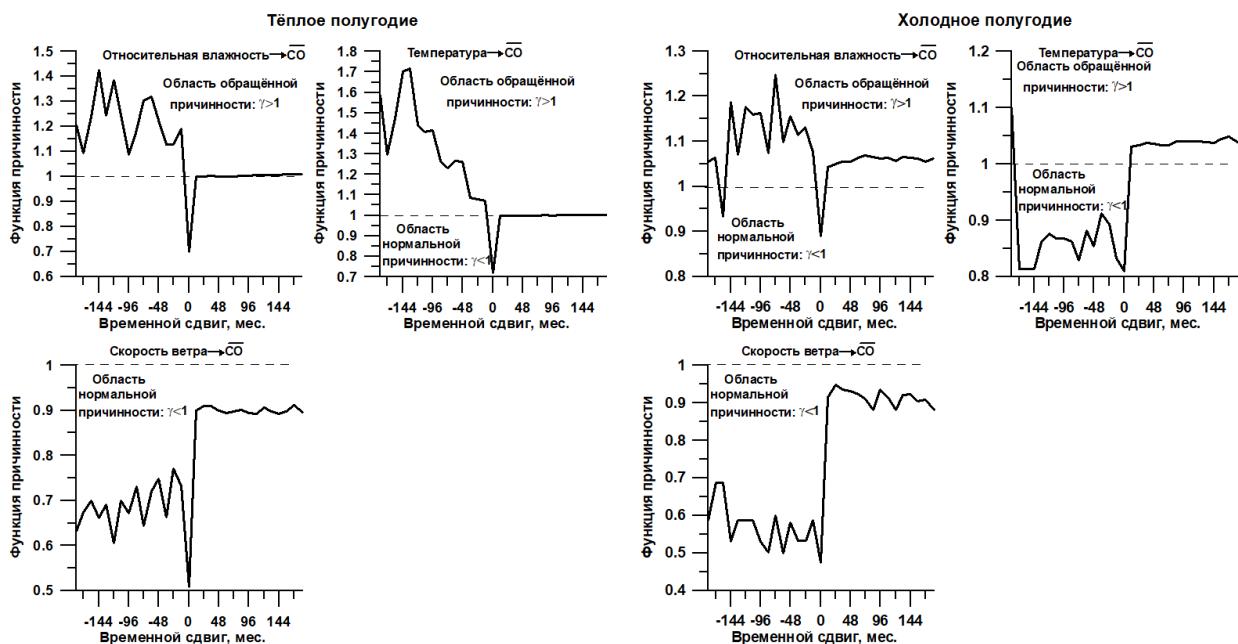


Рис. 4. Функция причинности между метеорологическими величинами и оксидом углерода в тёплое и холодное полугодия

Fig. 4. Causality function between meteorological variables and carbon monoxide in the warm and cold half-years

Если обратиться к подробному анализу представленных на рис. 4 функций причинности, как функций временного сдвига, то выше сделанный, по сути, тривиальный вывод оказывается более глубоким. Действительно, по минимальному значению функции причинности можно сделать вывод какие из рассматриваемых метеорологических величин воздействуют на концентрацию оксида углерода в большей степени, а какие в меньшей. Оказывается, и в тёплое, и в холодное полугодия первостепенную роль в концентрации CO играет скорость ветра, затем влажность и на последнем месте температура. Функция причинности для $V \text{ CO}$ (V – скорость ветра) во всём диапазоне временных сдвигов остаётся в области нормальной причинности. Эта указывает на непрерывное воздействие скорости ветра на концентрацию CO , что нельзя сказать о других метеорологических величинах.

Что касается поведения функции причинности при временных сдвигах – в одних случаях она остаётся в области нормальной причинности ($\gamma<1$) или её отсутствии ($\gamma=1$), в других – переходит в область обращённой причинности ($\gamma>1$), то рассмотрение этого физического феномена выходит за рамки настоящей статьи и относится к эффектам диссипативных нелокальных процессов [Коротаев, Морозов, 2018].

Заключение. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Установлено влияние метеорологических факторов на концентрацию оксида углерода, которое неоднозначно в зависимости от метеорологической величины и месяца года: значимые коэффициенты линейной кросскорреляции относительной влажности, температуры с одной стороны и среднемесячных концентраций оксида углерода прослеживаются с марта месяца по декабрь. Значимый коэффициент линейной кросскорреляции для скорости ветра и среднемесячных концентраций оксида углерода имеет место только в феврале, июне, августе, сентябре-декабре.

В спектре колебаний $\overline{\text{CO}}$ присутствуют шесть значимых составляющих с периодом 0,5, 1, 2,8, 4, 8 и 30 лет. Наиболее устойчивые на фиксированной частоте составляющие прослеживаются на периодах 2,8, 4, 8 и 30 лет.

Результаты причинного анализа показали причинную обусловленность концентрации оксида углерода метеорологическими факторами, из которых наиболее сильное воздействие оказывает скорость ветра, которое не проявилось в линейном коэффициенте кросскорреляции, что указывает на значительную нелинейность данного воздействия.

Вклад авторов. М.Л. Арушанов: численные расчёты, методы анализа, редакция статьи. М. Алаутдинов: постановка задачи, формирование базы данных используемого в работе материала, анализ результатов. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Алаутдинов М. Загрязнение атмосферного воздуха оксидом углерода и его распространение по территории города Ташкент за выбранный период // Водные ресурсы аридных регионов в условиях изменения климата: проблемы и их решения, 2023. – С. 59-62.

Арушанов М.Л. Практические вопросы использования вейвлет-преобразования в метеорологии. – Ташкент: НИГМИ, 2015. – 50 с.

Арушанов М.Л., Коротаев С.М. Причинный анализ и его применение для изучения физических процессов в атмосфере // Метеорология и гидрология, 1994. – № 6. – С. 15-22.

Боков В.Н., Воробьев В.Н., Сарвирова Е.В. Влияние изменчивости ветра на внутригодовое распределение атмосферных примесей в Санкт-Петербурге // Ученые записки РГГМУ, 2006. – №3. – С. 95-103.

Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения – М.: Мир, 1972. – Том 2. – 287 с.

Зобнина Ю.В. Отравлениеmonoоксидом углерода (угарным газом) – СПб.: Тактик-Студио, 2011. – С. 8-86.

Созонтова А.Н., Пепина Л.А. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // Alfabuild, 2017. – №1 (1). – С. 99-110.

Инагамова С.И., Мухтаров Т.М. Особенности синоптических процессов Средней Азии. – Ташкент: САНИГМИ, 2002. – 485 с.

Коротаев С.М., Морозов А.Н. Нелокальность диссипативных процессов – причинность и время. – М.: Физматлит, 2018. – 212 с.

Людчик А.М., Мельник Е.А., Павленко П.Н. Антропогенное загрязнение воздуха оксидом углерода и оксидами азота в городах Беларуси. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – С. 155-158.

Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования. – М.: ИКИ, 2011. – 60 с.

Arushanov M.L., Alautdinov M. Determination of variations in sulfur dioxide by variations in solar activity / Наука и инновации. Материалы международного научного форума: Москва, 26 сентября 2024. – С. 212-218.

Электронный ресурс:

Загрязнение атмосферного воздуха и здоровье человека. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

**ТОШКЕНТ ШАҲРИДА УГЛЕРОД ОКСИДИ КОНЦЕНТРАЦИЯСИНИНГ
МЕТЕОРОЛОГИК КАТТАЛИКЛАР ВА ҚУЁШ ФАОЛЛИГИ ЎЗГАРИШЛАРИГА
БОҒЛИҚЛИГИ**

М.Л. АРУШАНОВ¹, М. АЛАУТДИНОВ²

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, mikl-arushanov@rambler.ru

² Мирзо Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети

Аннотация. Мақолада углерод оксидининг (СО) вақт бўйича ўзгарувчанлиги статистик тузилиши кўриб чиқилган. Тошкент шаҳрида унинг концентрацияси ўзгарувчанлигига метеорологик катталиклар (ҳаво ҳарорати, нисбий намлиқ, босим, шамол тезлиги) ва Қуёши фаоллиги ўзгарувчанлигининг (Вольф сонлари) боғлиқлиги йил ойлари функцияси сифатида тадқиқ қилинганд. Метеорологик катталиклар ва СО орасида аҳамиятли корреляцияли ойлар аниқланган.

Углерод оксиди концентрацияларининг 30 йиллик (1991-2020 йй.) давр учун тебраниши спектрлари ҳисобланган. Спектрнинг 0,5, 1, 2,8, 4, 8 ва 30 йиллик тебраниши даврли бош ташкил этувчилари аниқланган. Углерод оксиди концентрацияси ва қўрилаётган метеорологик катталиклар ҳамда Вольф сонлари орасида сабаб боғланиши тадқиқ қилинганд. Тошкент шаҳрида метеорологик катталиклар ва СО концентрацияси ўзгаришилари орасида сабаб боғлиқлигининг мавжудлиги, Қуёши фаоллиги билан эса боғлиқликнинг йўқлиги аниқланган.

Калит сўзлар: углерод оксиди, метеорологик катталиклар, кросскорреляция, тебраниши спектри, сабаб функцияси, вейвлет функция.

**DEPENDENCE OF CARBON MONOXIDE CONCENTRATION ON
METEOROLOGICAL VALUES AND VARIATIONS OF SOLAR ACTIVITY
IN TASHKENT**

M.L. ARUSHANOV¹, M. ALAUTDINOV²

¹ Hydrometeorological Research Institute, mikl-arushanov@rambler.ru

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Abstract. The paper considers the temporal statistical structure of carbon monoxide (CO) and studies the dependence of the influence of meteorological variables (temperature, relative humidity, pressure, wind speed) and variations in solar activity (Wolf numbers) on the variability of its concentration in Tashkent as a function of the month of the year. The months of the year with a significant correlation between CO and meteorological values were identified.

The spectrum of variations in carbon monoxide concentrations was calculated for a 30-year sample (1991-1920). The main components of the spectrum with an oscillation period of 0.5, 1, 2.8, 4, 8 and 30 years were obtained. The causal relationship between CO and the meteorological values and Wolf numbers under consideration was investigated. The causal dependence of variations in CO concentration in Tashkent on meteorological factors and the absence of such dependence on variations in solar activity were obtained.

Keywords: carbon monoxide, meteorological values, cross-correlation, oscillation spectrum, causality function, wavelet function.

REFERENCE

Alautdinov M. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha oksidom ugleroda i ego rasprostranenie po territorii goroda Tashkenta za izbrannyi [Pollution of atmospheric air with carbon monoxide and its spread over the territory of Tashkent city for the selected period] // Vodnye resursy aridnyh regionov v usloviyah izmeneniya klimata: problem i ikh resheniya. – 2023. – PP. 59-62. (in Russian)

Arushanov M.L. Practicheskie voprosy ispolzovaniya veivlet-preobrazovaniya v meteorologii [Practical issues of using wavelet transform in meteorology]. – Tashkent: NIGMI, 2015. – 50 p. (in Russian)

Arushanov M.L., Korotaev S.M. Prichinnyy analiz i ego primenenie dlya izucheniya fizicheskikh processov v atmosfere [Causal analysis and its application to the study of physical processes in the atmosphere] // Meteorologiya i Hydrologiya, 1994. – №6. – PP. 15-22. (in Russian)

Bokov V.N., Vorobyov V.N., Sarvirova E.V. Vliyanie izmenchivosti vетra na vnutrigodovoe raspredelenie atmosfernyh primesei v Sankt-Peterburge [Influence of wind variability on the intra-annual distribution of atmospheric impurities in St. Petersburg] // Uchenie zapiski RGGMU, 2006. – № 3. – PP. 95-103. (in Russian)

Jenkins G., Watts D. Spektralnyi analiz i ego prilozheniya [Spectral Analysis and Its Applications]. – M.: Mir, 1972. – 287 p. (in Russian)

Zobnina Yu.V. Otravlenie monoooksidom ugleroda (ugarnim gazom) [Carbon monoxide poisoning (carbon monoxide)]. – SPb.: Tactic-Studio, 2011. – PP. 8.-86. (in Russian)

Sozontova A.N., Pepina L.A. Zasgryaznenie atmosfernogo vozduha avtomobilno-dorожnym kompleksom [Pollution of atmospheric air by the automobile and road complex] // Alfabuild, 2017. – №1 (1). – PP. 99-110. (in Russian)

Inagamova S.I., Mukhtarov T.M. Osobennosti sinopticheskikh processov Srednei Azii [Features of synoptic processes in Central Asia]. – Tashkent: SANIGMI, 2002. – 485 p. (in Russian)

Korotaev S. M., Morozov A. N. Nelokalnost dissipativnyh processov – prichinnost i vremya [Nonlocality of dissipative processes – causality and time]. – M.: Fizmatlit, 2018. – 212 p. (in Russian)

Lyudchik A.M., Melnik E.A., Pavlenko P.N. Antropogennoe zagryaznenie vozduha oksidom ugleroda i oksidami azota v gorodah Belarusi [Anthropogenic air pollution with carbon monoxide and nitrogen oxides in the cities of Belarus]. – Minsk: IVC Minfina, 2022. – PP. 155-158. (in Russian)

Hairullina G.R., Astafieva N.M. Kvazidvuhletnie kolebaniya v atmosfere Zemli [Quasi-biennial oscillations in the Earth's atmosphere]. – M.: IKI, 2011. – 60 p. (in Russian)

Arushanov M.L., Alautdinov M. Determination of variations in sulfur dioxide by variations in solar activity / Nauka i innovatsii. Materiali mejdunarodnogo nauchnogo foruma: Moskva, 26 sentyabrya, 2024. – PP. 212-218.

Electronic resource:

Zagryazneniye atmosfernogo vozduxa i zdorove cheloveka. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

УДК: 551.515.3+519.256

АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ПЫЛЬНОЙ МГЛЫ В Г. ТАШКЕНТЕ

Л.Ю. ШАРДАКОВА^{1*}, Б.Э. НИШОНОВ¹, Н.И. РАХМАТОВА¹,
А.Р. АХМЕДОВА²¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, natella.rakhmatova@gmail.com² Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, abr@bk.ru

Аннотация. В статье на основе ряда наземных наблюдений, проведённых на метеостанции Ташкент-Обсерватория (Узгидромет), дана оценка динамики пыльной мглы за период 2010–2021 гг. Выполнен сравнительный анализ полученных характеристик с данными, представленными в научной литературе. Выявлены особенности временного распределения данного явления. За рассматриваемый период общее число дней с пыльной мглой составило 110, а её суммарная продолжительность 482,9 часа. Установлено, что пыльная мгла наблюдается чаще и длительнее, чем пыльные бури. Максимальная активность явления зафиксирована в 2021 году. Отмечены выраженные сезонные колебания с пиками в зимние и осенние месяцы. Анализ продолжительности эпизодов показал, что большинство из них длится менее трёх часов, однако наблюдается тенденция к увеличению доли длительных событий.

Ключевые слова: пыльная мгла, базы данных, повторяемость, годовой ход, число дней с пыльной мглой, суточный ход, продолжительность, Ташкент.

Введение. В условиях роста численности населения и ускоренной урбанизации запыление атмосферного воздуха становится одной из наиболее острых экологических проблем современности. Изменения в аэрозольном составе атмосферы оказывают негативное влияние на экологическое равновесие и качество жизни населения. Атмосферная пыль, являясь разновидностью аэрозольных частиц, оказывает значительное воздействие на характеристики солнечного излучения, температурный режим воздуха и земной поверхности, а также представляет угрозу для здоровья человека. Эффекты воздействия зависят от её оптических и микрофизических свойств, концентрации, вертикального распределения, продолжительности нахождения в воздушной среде и времени суток.

В аридных зонах атмосферный пылевой аэрозоль преимущественно формируется в результате пыльных бурь и состоит главным образом из частиц минерального происхождения. Его мелкодисперсная фракция (частицы диаметром менее 1 мкм) способна транспортироваться на значительные расстояния от источника и сохраняться в атмосфере в течение длительного времени.

Пыльная мгла (ПМ) представляет собой атмосферное явление, возникающее вследствие накопления в воздухе мелкодисперсных пылевых частиц, что приводит к повышенной мутности атмосферы и снижению горизонтальной видимости до 1–9 км на уровне 2 метров. В отдельных случаях видимость может ухудшаться до нескольких сотен или даже десятков метров. Основным источником снижения прозрачности воздуха являются взвешенные в атмосфере частицы пыли и почвы. Пыльная мгла может наблюдаться как до наступления пыльной бури, так и после неё (при ослаблении ветровой активности), а также при удалённой пыльной буре, когда аэрозоли транспортируются

* Ответственный автор: lyudmila.shardakova@gmail.com, тел.: +998 90 374-58-53

воздушными потоками на значительные расстояния. При этом в пределах наблюдаемой местности отсутствуют признаки подъёма пыли с подстилающей поверхности.

В литературе упоминаются различные типы пыльной мглы, которые могут классифицироваться в зависимости от источников пыли и условий ее образования, иметь разный состав, продолжительность и оказывать различное воздействие на здоровье человека и экосистемы.

В зависимости от вида источников различают следующие типы ПМ.

Естественная ПМ формируется под воздействием природных факторов, таких как ветровая эрозия почвы, вулканическая активность, а также как продукты горения при лесных пожарах. В последнем случае в атмосферу попадают дым и сажа, которые могут смешиваться с другими аэрозольными частицами, способствуя образованию ПМ.

Антропогенная ПМ включает в себя два основных типа в зависимости от источников загрязнения. Промышленная ПМ возникает в результате выбросов мелкодисперсных частиц в атмосферу с промышленных предприятий. Транспортная ПМ, как правило, наблюдается в условиях городской застройки и формируется за счёт выбросов от автомобильного и другого транспорта. Оба типа отличаются высокой концентрацией загрязняющих веществ и существенно влияют на качество воздуха в населённых пунктах.

Сезонная ПМ проявляется в разные времена года в зависимости от метеорологических условий. Зимняя ПМ формируется в холодное время года, когда температурные инверсии препятствуют вертикальному перемешиванию воздуха и удерживают пыль и загрязняющие вещества в приземном слое атмосферы. Летняя ПМ характерна для сухих и жарких месяцев, когда под действием сильного ветра или в результате хозяйственной деятельности пыль активно поднимается в воздух и приводит к ухудшению видимости.

Глобальная ПМ обусловлена переносом пылевых аэрозолей на большие расстояния воздушными потоками. К таким явлениям относятся, например, Азиатское коричневое облако (Asian Brown Cloud, ABC) или пыль, переносимая с территории Сахары, которая может достигать границ Европы и Америки. Подобные пылевые облака формируют ПМ в регионах, значительно удалённых от первоначального источника загрязнения.

В зависимости от условий формирования подразделяют следующие виды ПМ.

Адвективная: образуется, когда пыль переносится ветром с одного места на другое, часто на большие расстояния.

Стационарная: появляется в результате накопления пыли в определенном районе, обычно в условиях низкой ветровой активности.

Циклоническая: возникает в результате сильных циклонных процессов, которые поднимают пыль в атмосферу.

Термическая: развивается при резком изменении температуры, что может привести к конденсации влаги и образованию пыльных частиц.

ПМ такое же частое явление, как и пыльные бури поэтому в мире уделяется большое внимание исследованиям, связанным с климатологией явления, составом пыли, и ее воздействием.

Цель данной работы – оценка динамики пыльной мглы, наблюдаемой на метеостанции Ташкент-Обсерватория за 2010-2021 гг. и сравнительный анализ полученных характеристик с литературными данными.

Объектом исследования является пыльная мгла, зарегистрированная на территории г. Ташкента, **предметом исследования** – динамика ее основных характеристик.

Исходные данные и методы исследования. В работе использованы данные наземных наблюдений метеорологической станции Ташкент-Обсерватория за период

2010-2021 гг. Для оценки современного состояния пылевых явлений на территории Узбекистана в НИГМИ разработана специализированная база данных (БД) [Шардакова и др., 2022]. Информационной основой БД являются метеорологические таблицы «ТМ-1», в которых содержатся результаты срочных наблюдений на метеостанциях Узгидромета. Структура основной таблицы БД включает время начала и окончания пылевого явления, и дополнительную метеорологическую информацию для каждого события: показатели скорости и направления ветра, облачности, видимости.

Методом исследования является статистический анализ основных характеристик – числа дней с ПМ, продолжительности явлений, скорости и направления ветра.

Основные результаты и их обсуждение. Для оценки интенсивности явления были проанализированы суммарные годовые показатели числа дней ПМ и продолжительности этого явления. За период с 2010 по 2021 годы суммарное количество дней с ПМ составило 110 дней, а общая продолжительность ПМ достигла 482,9 часа. Пыльная мгла наблюдается значительно чаще, чем пыльные бури, и её продолжительность гораздо больше. За тот же период суммарное количество дней с пыльными бурями составило 21 день, а их общая продолжительность - 18,6 часа [Нишонов и др., 2024]. Например, в 2010 году пыльные бури не были зарегистрированы, однако активность ПМ была высокой (рис. 1).

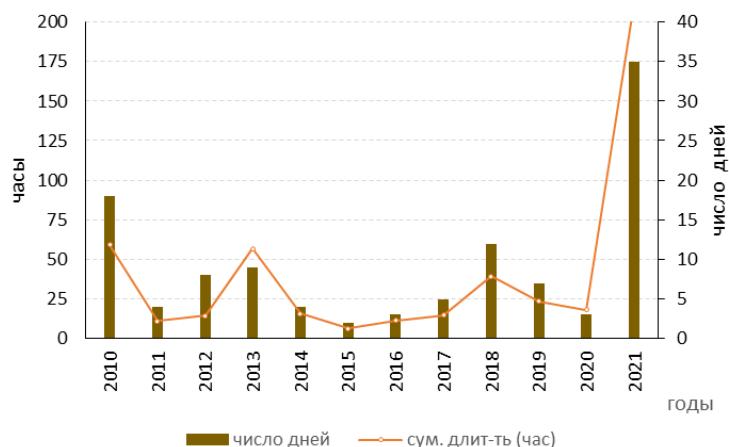


Рис. 1. Динамика суммарного годового числа дней с пыльной мглой и годовой продолжительности на МС Ташкент-Обсерватория за 2010-2021 гг.

Fig. 1. Dynamics of the total annual number of days with dust haze and annual duration on meteostation Tashkent-Observatory for 2010-2021

Максимальное количество дней с ПМ за год ($n_{\max/\text{год}} - 35$ дней) было зафиксировано в 2021г. В рассматриваемом периоде также выделяются два года с повышенной активностью: 2010 год (18 дней) и 2018 год (12 дней). В остальные годы число дней с ПМ было менее десяти. Ход суммарной годовой продолжительности ПМ несколько отличается от хода числа дней. Максимум продолжительности наблюдается в 2021 году (212,2 часа), за ним следуют 2010 год (59,1 часа) и 2013 год (56,7 часа). Самым спокойным годом оказался 2015 год, когда было зафиксировано только 2 дня с ПМ и общая продолжительность составила 6,3 часа.

Так как изучение ПМ проводилось авторами на разных временных промежутках, для анализа были выбраны показатели – среднее число дней с ПМ за год и средняя годовая продолжительность ПМ. В таблице 1 приведено сравнение полученных характеристик с

опубликованными литературными данными, которое позволяет сделать вывод о том, что в последние десятилетия наблюдается снижение интенсивности явления.

Таблица 1

Основные характеристики числа дней с пыльной мглой и продолжительности явления за различные периоды

Table 1

Main characteristics of the number of days with a dust haze and the phenomenon duration

	1941-1970 ¹	1960-1979 ²	1981-1990 ³	2010-2021
<i>Число дней с ПМ, (n) день</i>				
n _{ср/год}	33,1	27,7	-	9,2
n _{макс (год)}	86 (1961 г.)	97 (1961 г.)	-	35 (2021 г.)
n _{мин (год)}	3 (1945 г.)	-	-	2 (2015 г.)
<i>Общая продолжительность ПМ, (t) час.</i>				
t _{ср/год}	92,7	115,1	48,1	40,2
t _{макс (год)}	-	477,5 (1961 г.)	-	212,2 (2021 г.)

Примечание: 1) Ляпина О.А. Климатические особенности пыльной мглы в Средней Азии // Труды САРНИГМИ, Вып. 69(150). – М.: Гидрометеоиздат, 1978. – С. 3-14. 2) Климат Ташкента, под ред. Айзенштата Б.А. и др. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 200 с. 3) Смирнова Е.И., Чанышева С.Г. Опасные метеорологические явления в Узбекистане. – Ташкент: НИГМИ, 2007. – 162 с.

Note: 1) Lyapina, O.A. Climatic Features of Dust Haze in Central Asia // Proceedings of SARNIGMI, Issue 69(150). – M.: Hydrometeoizdat, 1978. – PP. 3-14. 2) Climate of Tashkent, edited by Aizenshtat, B.A. et al. – L.: Hydrometeoizdat, 1982. – 200 p. 3) Smirnova, E.I., Chanisheva, S.G. Hazardous Meteorological Phenomena in Uzbekistan. – Tashkent: NIGMI, 2007. – 162 p.

Анализ годового хода суммарных значений числа дней с ПМ и продолжительности явления (рис.2) показал, что усиление активности прослеживается в зимние и осенние месяцы, а также в июле. Длительность ПМ выше среднегодового значения (40,2 час.) наблюдается в июле (42,6 час.), декабре (54,4 час.), максимальное значение приходится на ноябрь (223,0 час.).

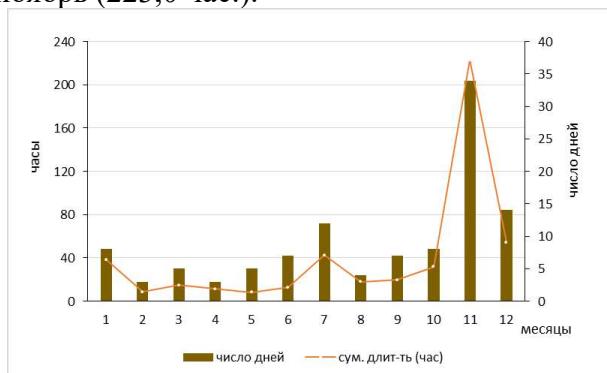


Рис 2. Годовой ход суммарных значений числа дней с пыльной мглой и продолжительности явления за период 2010-2021 гг.

Fig. 2. Annual course of the total values of the number of days with dust haze and the phenomenon duration for the period 2010-2021

Сильное влияние на показания ноября оказала многодневная пыльная мгла в 2021 г., которая детально исследована в работе [Nishonov et al., 2023].

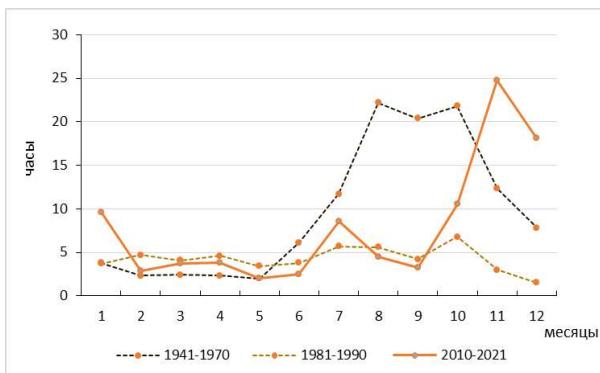


Рис 3. Годовой ход средней суммарной месячной продолжительности пыльной мглды

Fig. 3. Annual course of the average total monthly duration of dust haze

Рис. 3 показывает изменчивость годового хода во времени. Наиболее заметные расхождения в данных наблюдаются в осенне-летний период: в 1941-1970 гг. рост активности начинался в начале лета и пик приходился август-октябрь; в 1981-990 гг. отмечается небольшое увеличение продолжительности в октябре; в 2010-2021 гг. наблюдается рост длительности ПМ в июне, пик приходится на ноябрь и наблюдается увеличение в зимние месяцы (декабрь, январь).

В таблице 3 приведены значения максимальной суммарной месячной продолжительности ПМ и годы, когда это было отмечено, к сожалению, для периода 1981-1990 гг. значения не были датированы. Самые продолжительные явления наблюдались в августе-сентябре 1953 г., в ноябре 2021 г. и октябре 1952 г.

Таблица 2
Годовой ход максимальной суммарной месячной продолжительности пыльной мглы

Table 2

Annual variation of the maximum total monthly duration of dust haze

Годы		Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960-1979	t_{max}	44,1	17,5	21,7	29,7	18,3	64,8	64	138,3	153,9	113,7	63,9	45,7
	год	1971	1962	1948	1968	1955	1955	1953	1953	1953	1952	1966	1965
1981-1990	t_{max}	10	4,1	13	14	12	24	25	32	19	41	7	2
2010-2021	t_{max}	16,7	3,3	6,7	6,3	3,0	4,0	19,8	13,6	6,7	23,8	115,0	30,7
	год	2018	2021	2018	2011	2013	2014	2021	2020	2018	2021	2021	2021

В процессе исследования был проведен анализ повторяемости событий с различной продолжительностью ПМ. Для этого использовалась разбивка по градациям длительности с интервалом в 3 часа: 1) менее 1 часа; 2) от 1 до 3 часов; 3) от 3 до 6 часов; 4) от 6 до 9 часов и т.д. На рис. 4 представлены результаты для различных временных периодов. В 2010-2021 гг. доля событий с ПМ, наблюдаемых менее трех часов, составляет 47% от общего числа случаев, в то время как 34% приходится на мглу длительностью 3-6 часов. Явления продолжительностью 6-12 часов составляют 13% случаев, а продолжительностью более 12 часов – 6%. По сравнению с данными исторического периода (1941-1970 гг.) в последние годы наблюдается увеличение доли случаев длительностью более 9 часов с 4,5% до 12%. При этом средняя продолжительность мглы (1910-2021 гг.) равна 4,4 час. и не изменилась по сравнению с периодом 1960-1970 гг. – 4,3 час. Согласно имеющимся данным максимальная продолжительность пыльной мглы зарегистрирована в следующие даты: 1-2 июня 1961 г. – 30,2 час. [Айзенштат, 1982]; 26 октября 1966 г. - 11 час. [Ляпина, 1978]; 4-5 ноября 2021 г. – 25,3 час.

На рис. 5 представлен суточный ход пыльной мглы для периода 2010-2021 гг. Для определения суточного хода проведен анализ многолетних данных о начале возникновения ПМ. В дневном ходе имеют место два максимума – до полудня и после полудня, запыление редко начинается вочные часы.

Видимость в пыльной мгле может быть такой же низкой, как и при пыльной буре, однако повторяемость опасной видимости (<1 км) мала (табл.3). В период 2010-2021 гг. все 8 случаев зафиксированы во время пылевых событий 4-7 ноября 2021 года. Рассматривая весь период наблюдений, можно сделать вывод, что для пыльной мглы наиболее характерной является видимость 4 км, но с течением времени уменьшилась повторяемость пылевых эпизодов с видимостью 2 км и возросло количество ситуаций с более высокой прозрачностью -10 км.

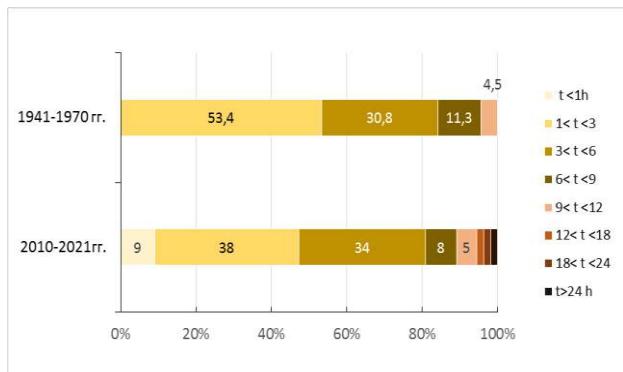


Рис. 4. Повторяемость (%) пыльной мглы различной продолжительности

Fig. 4. Frequency (%) of dust haze of different durations

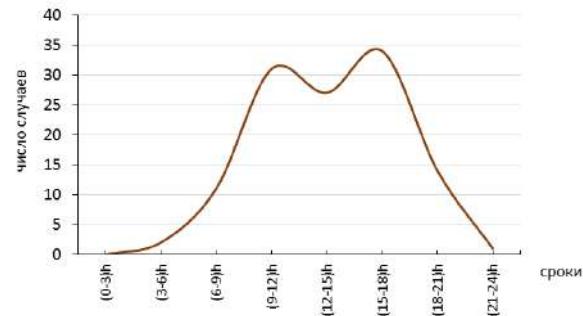


Рис. 5. Суточный ход пыльной мглы для периода 2010-2021 гг.

Fig. 5. Daily course of dust haze for the period 2010-2021

Таблица 3

Повторяемость (%) различной видимости в пыльной мгле

Table 3

Frequency (%) of different visibility in dusty haze

Годы	Видимость (км)					
	0,2	0,5	1	2	4	10
1941-1970 гг.	0	1,2	7,4	23,5	65,4	2,5
2010-2021 гг.	0,7	1,5	3,6	2,9	68,6	22,6

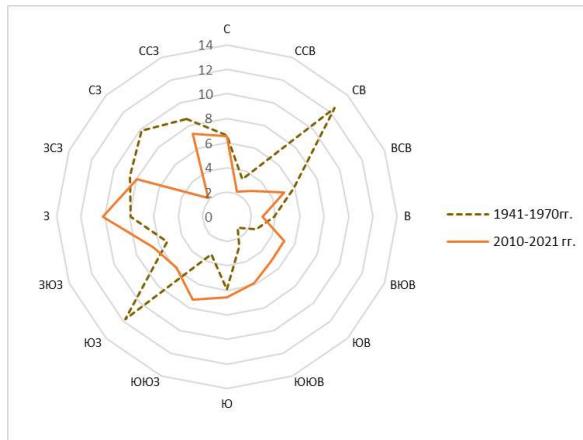


Рис. 6. Повторяемость направлений ветра при пыльной мгле

Fig. 6. Frequency of wind directions during dust haze

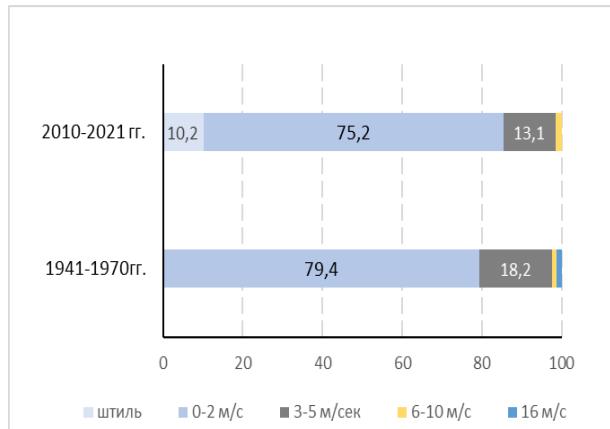


Рис. 7. Повторяемость (%) скорости ветра при пыльной мгле

Fig. 7. Frequency of wind speed during dust haze

Во время ПМ, как и в случае пыльной бури, наблюдения за скоростью и направлением ветра, как правило, не ведутся, поэтому о ветре можно судить по данным за сроки ближайшие к регистрируемому явлению. Проведённый анализ повторяемости направления ветра и скоростей (рис. 6 и рис. 7) показал, что в 2010-2021 годы половина событий связана с ветрами западного (18%), южного (17%) и юго-восточного (16%) направлений. Средняя скорость ветра при ПМ составляет

1,53 м/с, результирующим направлением является 237 град., близкое к ЗЮЗ. Штиль наблюдается в 10,2 % случаев, а скорость 0,5-2,1 м/с в 75%. В южном и юго-восточном направлениях преобладают скорости 0,5-2,1 м/с, в западном ветре наблюдаются скорости выше 2 м/с, на долю ветров со скоростями 5,7-8,8 м/с приходится 1,5% случаев. Сравнивая ветровые характеристики за два исторических периода следует отметить изменения в розе ветров – стали менее выраженными северо-западный и юго-западный переносы, но возросло влияние южных, юго-восточных и западных ветров.

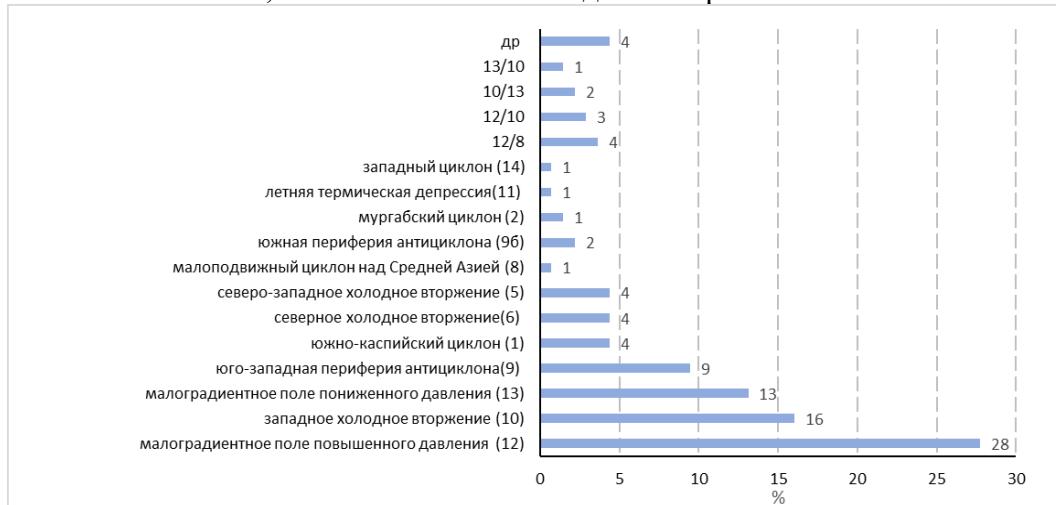


Рис. 8. Повторяемость (%) синоптических процессов на момент начала пыльной мглы за период 2010-2021 гг.

Fig. 8. Frequency (%) of synoptic processes at the beginning of the dust haze for the period 2010-2021

Анализ повторяемости синоптических процессов на момент начала события ПМ показал, что 66,5 % приходится на 4 процессы: малоградиентное поле повышенного давления (28%), западное холодное вторжение (16%), малоградиентное поле пониженного давления (13%), юго-западная периферия антициклона (9%). Переходные процессы составляют 10%, из них большая часть (7%) связана со сменой малоградиентного поля повышенного давления на циклоническую деятельность или западное холодное вторжение. На северное и северо-западные холодные вторжения приходится по 4%.

Заключение.

1. События с пыльной мглой наблюдаются значительно чаще чем пыльные бури и их продолжительность значительно больше. За период с 2010-2021 гг. было зарегистрировано 110 дней с пыльной мглой (ПМ), общая суммарная продолжительность - 482,9 часов. Максимальные значение наблюдалось в 2021 году (212,2 час/год).

2. Активность ПМ проявляется в зимние и осенние месяцы, а также в июле. Максимальная длительность наблюдается в ноябре.

3. В последние десятилетия наблюдается снижение интенсивности явления, что подтверждается сравнением среднегодового числа дней с пыльной мглой и их продолжительности с опубликованными данными.

4. Средняя продолжительность пыльной мглы за 2010-2021 гг. составляет 4,4 часа, и ее значение не изменилось по сравнению с периодом 1960-1970 годов, однако наблюдается увеличение доли случаев длительностью более 9 часов.

5. Анализ годового хода показывает, что в разные исторические периоды наблюдаются различия в активности пыльной мглы с изменениями в пиковых месяцах и продолжительности.

6. Наиболее характерной для ПМ является видимость 4 км, но в последнее десятилетие наблюдается снижение случаев с видимостью 2 км и рост случаев с видимостью 10 км.

7. В сравнении с историческим периодом наблюдаются изменения ветровых характеристик и розы ветров.

8. Анализ синоптических процессов показал, что 35% случаев ПМ связано с малоградиентным полем повышенного давления, 38% - с западным холодным вторжением, малоградиентным полем пониженного давления, юго-западной периферией антициклона.

Эти выводы подчеркивают важность мониторинга пыльной мглы и ее влияния на климатические и экологические условия, а также необходимость дальнейшего изучения данного явления.

Благодарности. Данное исследование выполнено в рамках прикладного проекта АЛ-5721122055 «Разработка технологии системы мониторинга песчаных и пыльных бурь с использованием наземных и спутниковых данных», финансируемого Агентством инновационного развития Республики Узбекистан.

Вклад авторов. **Л.Ю.Шардакова:** методология, расчеты, анализ результатов, написание текста. **Б.Э. Нишонов:** обоснование актуальности исследования, постановка задачи, общее руководство, редактирование текста. **Н.И. Рахматова:** анализ, обработка данных, систематизация материала, написание текста. **А.Р. Ахмедова:** сбор и обработка данных. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Ляпина О.А. Климатические особенности пыльной мглы в Средней Азии // Труды САРНИГМИ. Вып. 69(150). – М. Гидрометеоиздат, 1978. – С.3-14

Климат Ташкента. – Л.: Гидрометеоиздат. 1982. – 200 с.

Смирнова Е.И., Чанышева С.Г. Опасные метеорологические явления в Узбекистане. – Ташкент: НИГМИ, 2007. – 162 с.

Шардакова Л.Ю., Ахмедова А., Рахматова Н.И., Нишонов Б.Э. Пространственно-временной анализ пыльных бурь в Приаралье за 2010-2021 годы // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, 2022. №4. – С. 90-99.

Нишонов Б.Э., Шардакова Л.Ю., Ахмедова А., Рахматова Н.И. Статистический анализ явления пыльных бурь в г. Ташкенте за 1981-2021 годы // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, 2024. №1. – С. 80-86.

Nishonov B., Kholmatjanov B., Labzovskii L., Rakhmatova N., Shardakova L., Abdulakhmatov E., Yarashev D., Toderich K., Khujanazarov T., Belikov D. Study of the strongest dust storm occurred in Uzbekistan in November 2021 // Scientific Reports, 2023. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-42256-1>

ТОШКЕНТ ШАХРИДА ЧАНГ ФУБОРИ ҲОДИСАСИНИНГ ТАҲЛИЛИ

**Л.Ю. ШАРДАКОВА¹, Б.Э. НИШОНОВ¹, Н.И. РАХМАТОВА¹,
А.Р. АХМЕДОВА²**

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, natella.rakhmatova@gmail.com

² Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги, abr@bk.ru

Аннотация. Мақолада Тошкент-Обсерватория метеорология станциясида ўтказилган кўп йиллик кузатишлар асосида 2010-2021 йиллар даври учун чангли губорнинг динамикаси баҳоланган. Олингандан кўрсаткичлар илмий адабиётларлаги маълумотлар билан солиштирилган. Ушибу ҳодисанинг вақт давомидаги тақсимоти хусусиятлари аниқланган. Тадқиқ этилган даврда чанг губорли кунлар сони 110 кунни, уларнинг умумий давомийлиги 482,9 соатни ташкил этган. Чанг губори чанг бўронларига нисбатан кўпроқ содир бўлиши ва узокроқ давом этиши аниқланди. Чанг губори 2021 йилда энг кўп кузатилган. Қиши ва куз ойларида мавсумий максимумлар аниқланди. Ҳодисаларнинг давомийлигининг таҳлили улар асосан уч соатдан кам давом этишини, бироқ узокроқ ҳодисалар улушининг ортиб бораётганини кўрсатди.

Калит сўзлар: чанг губори, маълумотлар базаси, тақрорланувчанлик, йил ичидаги ўзгариши, чанг губорли кунлар сони, суткалик ўзгариши, давомийлик, Тошкент.

ANALYSIS OF THE DUST HAZE PHENOMENON IN TASHKENT

**L.Yu. SHARDAKOVA¹, B.E. NISHONOV¹, N.I. RAKHMATOVA¹,
A.R. AKHMEDOVA²**

¹ Hydrometeorological Research Institute, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, natella.rakhmatova@gmail.com

²Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, abr@bk.ru

Abstract. The article assesses the dynamics of dust haze for the period 2010–2021 based on a number of ground-based observations conducted at the Tashkent Observatory weather station (Uzhydromet). A comparative analysis of the obtained characteristics with the data presented in scientific publications was performed. The features of the temporal distribution of this phenomenon have been identified. During the period under review, the total number of days with dust haze was 110, and its total duration was 482.9 hours. It has been established that dust haze is observed more frequently and lasts longer than dust storms. The maximum activity of the phenomenon was recorded in 2021. Pronounced seasonal fluctuations were noted with peaks in the winter and autumn months. An analysis of the duration of episodes showed that most of them last less than three hours, but there is a tendency towards an increase in the share of long-term events.

Keywords: dust haze, databases, frequency, annual course, number of days with dust haze, daily variation, duration, Tashkent.

REFERENCES

Lyapina O.A. Klimaticheskiye osobennosti pylnoy mgly v Sredney Azii [Climatic features of dust haze in Central Asia] // Trudy SARNIGMI, Vol. 69 (150). – M.: Gidrometeoizdat, 1978. – PP. 3-14. (in Russian)

Klimat Tashkenta [Climate of Tashkent]. – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 200 p. (in Russian)
Smirnova E.I., Chanyshева S.G. Opasnyye meteorologicheskiye yavleniya v Uzbekistane [Meteorological hazards in Uzbekistan]. – Tashkent: NIGMI, 2007. – 162 p. (in Russian)

Shardakova L.Yu., Akhmedova A., Rakhmatova N.I., Nishonov B.E. Prostranstvenno-vremennoy analiz pylnykh bur v Priaralye za 2010-2021 gg. [Spatio-temporal analysis of dust storms in the Aral Sea region for 2010-2021] // Gidrometeorologiya i monitoring okruzhayushchey sredy, 2022. № 4. – PP. 90-99. (in Russian)

УДК: 551.5: 504.32+504.37

COMPARATIVE ANALYSIS OF ERA5 REANALYSIS DATA WITH METEOROLOGICAL DATA OBSERVED IN THE AKHANGARAN RIVER BASIN

B.E. NISHONOV^{1,2}, M.M. ABDURAKHMANOV^{1,2}¹ Hydrometeorological Research Institute, bnishonov@mail.ru² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, abdurakhmanovmurodjon1@gmail.com

Abstract. This study examines the correlation between observed meteorological data and ERA5 reanalysis data in the Akhangaran River Basin. The evaluation is conducted using five statistical metrics across three key categories: Error Magnitude (RMSE, MAE), Systematic Bias (PBIAS), and Performance or linear correlation (NSE, R^2). Monthly data between 1970-2024 from six meteorological stations are compared with corresponding monthly ERA5 datasets to assess the reliability of reanalysis data in representing local meteorological conditions. Additionally, line graphs are used to visualize temporal variations and discrepancies through different years. By integrating both statistical and visual analyses, this study provides a comprehensive assessment of ERA5 reanalysis data applicability for hydrometeorological research in Akhangaran River Basin.

Keywords: ERA5 reanalysis, observed data, correlation analysis, statistical evaluation, Error Magnitude, Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Percent Bias (PBIAS), climate data validation.

Introduction. Reliable climate data is essential for hydrological and meteorological studies, particularly in regions where water resources are highly dependent on amount of precipitation and temperature variations. Observed meteorological data from ground stations is widely considered the most accurate source for local climate monitoring. However, due to limited spatial coverage, missing records, and measurement inconsistencies, alternative datasets such as reanalysis products have increasing attention. Among these, the ERA5 reanalysis dataset, developed by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), provides globally consistent climate variables with high spatial (spatial resolution: $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ($31 \text{ km} \times 31 \text{ km}$)), and high temporal resolution (hourly data) [ECMWF].

Despite the widespread use of ERA5 data in climate and hydrological studies, its accuracy at the local scale varies depending on geographic, topographic, and climatic conditions [Copernicus ..., 2025]. Therefore, it is crucial to evaluate the reliability of ERA5 temperature and precipitation data using ground-based observations before applying them in hydrometeorological research. Despite these improvements the accuracy of ERA5 data can vary across different regions and climatic conditions, making important of localized validation studies.

Several studies have evaluated the performance of ERA5 data in various regions. For instance, research in the Poyang Lake Basin, in the China, showed that ERA5 effectively captures air temperature patterns but tends to overestimate precipitation [Yan, et al., 2024]. ERA5 slightly overestimated summer precipitation. The study also noted that ERA5's accuracy varied with topography and climate regions, performing best in eastern, northwestern, and northern China, and showing the least bias in southeastern China [Jiao, et al., 2021].

Similarly, an assessment in Slovenia found that while ERA5-Land underestimates extreme rainfall events, it can still serve as viable alternative to ground-based data for rainfall-runoff modeling, provided that model recalibration is performed [Alexopoulos et al., 2023].

In Uzbekistan, the ERA5 reanalysis data provides relatively high accuracy in capturing temperature variations when compared with ground-based observations (77 meteorological stations), particularly for areas below 1000 meters above sea level. Locations below 500 m, the

relative temperature error between ERA5 data and ground observations is about 1,44-4,55%, while for areas between 500-1000 m, the error is around 0,47-5,55%. At elevations above 1000 m, the accuracy of ERA5 data declines significantly, with relative errors reaching 12,13-33,12% [Rakhimov et al., 2023]. Even though, this research paper analyzed ERA5 performance in different temporal periods (3-hourly, daily, monthly), it does not evaluate ERA5 performance for precipitation. Moreover, this research paper shows temporal variable changes (1971-2024 y.) in different meteorological stations between ERA5 and ground-based observations for both temperature and precipitation.

In another research paper, ERA5 demonstrated improved performance compared to ERA-Interim when both are analyzed against observations from 74 meteorological stations for the period 1981–2018. The mean monthly temperature bias for ERA5 is -0.62°C with a Pearson correlation of 0.98, compared to -1.57°C and $r = 0.97$ for ERA-Interim, and its root-mean-square error falls from 2.60°C to 2.25°C . For maximum monthly temperature, ERA5 reduces the bias to -2.04°C ($r = 0.96$) versus -3.14°C ($r = 0.95$) for ERA-Interim, improving the RMSE from 3.37°C to 2.98°C . Total monthly precipitation bias is cut from -10.82 mm ($r = 0.56$) in ERA-Interim to -7.24 mm ($r = 0.80$) in ERA5, while the RMSE drops from 30.39 mm to 22.61 mm [Rakhmatova et al., 2021]. The main differences between this and Rakhmatova's scientific papers are that this research paper focuses evaluation of ERA5 for a single basin using different statistical measurements including line graphs to show temporal discrepancies while Rakhmatova's scientific paper used Mean error, Correlation and standard deviation.

This study aims to assess the correlation between observed meteorological data and ERA5 reanalysis data in the Akhangaran River Basin. The evaluation is conducted using five statistical metrics across three key categories: Error magnitude (RMSE, MAE), Systematic Bias (PBIAS), and Performance or Correlation (R^2 , NSE). Additionally, time-series line graphs were plotted to analyze temporal variations and discrepancies between the datasets. The findings of this study will help determine the applicability of ERA5 data for climate studies in the region. The difference of this study from other studies about applicability of ERA5 is that this study involves a variety of statistic metrics and evaluation of precipitation at river basin scale.

The Akhangaran River Basin is bordered by the Qurama mountain range to the south and the Chatkal mountain range to the north. To the east, these two ranges converge, forming a natural boundary for the basin, while to the west, it is delineated by the Syr Darya riverbed. The lower part of the basin lies within the territory of Tashkent region, whereas the upper part extends into Namangan region (Fig. 1).

Precipitation in the basin is not evenly distributed throughout the year. If the total annual precipitation is considered 100%, approximately 41-42% falls in spring, 21-35% in winter, 18-28% in autumn, and only 6-12% in summer. The highest rainfall occurs in March and April.

The Akhangaran River has a total length of 236 km, a basin area of $7,710 \text{ km}^2$, and an average water discharge of $22.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

The research was conducted using monthly average datasets from six meteorological stations. The ERA5 dataset was downloaded and processed to compute monthly mean values of temperature and monthly total values of precipitation for direct comparison with observed data. When calculate mean monthly temperature values, the hourly data for [00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21] downloaded since meteorological stations observe at these hours during time. From 3-hourly data, monthly mean temperature calculated. But for precipitation every hourly data download and sum of monthly data calculated. The reason this research paper evaluates using monthly data is that monthly aggregates minimize short-term variability and observational difference, providing a stable basis for comparing reanalysis and station observations. Monthly temperature means align with the reporting frequency of the meteorological stations, and monthly precipitation totals are

directly relevant for catchment-scale hydrological analysis. According to the station coordinates identified in Fig. 1, the locations are listed in Table 1.

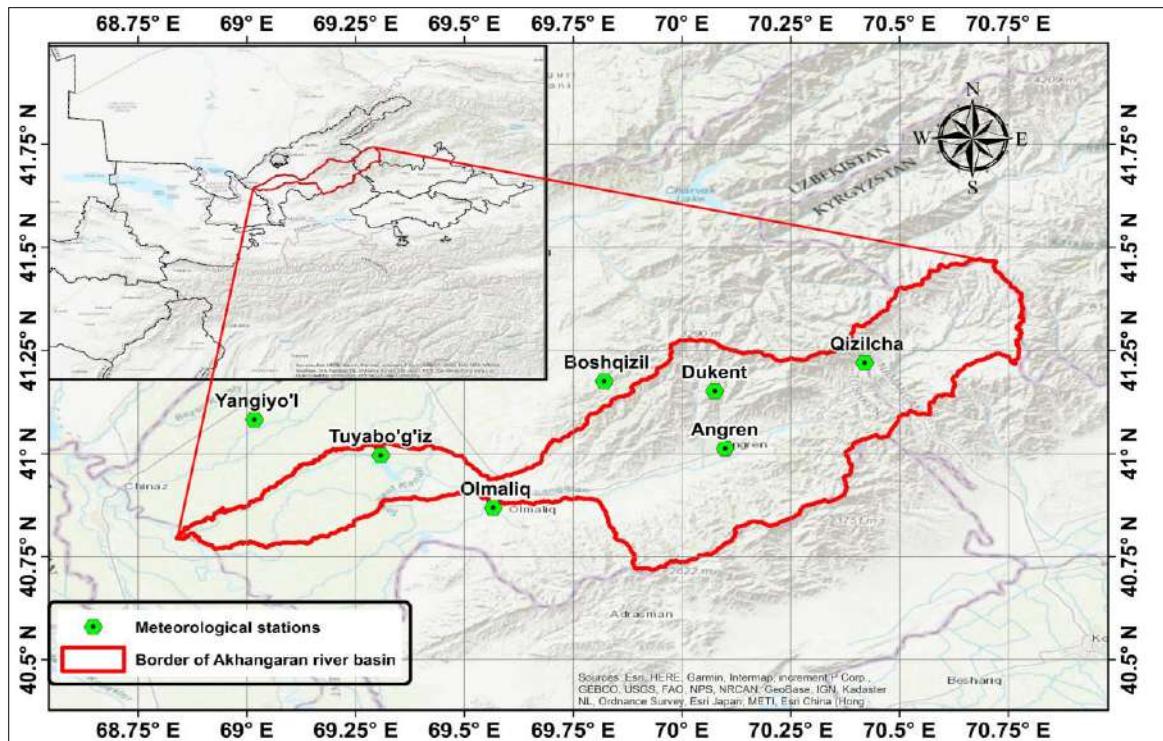


Fig. 1. Study area: Akhangaran river basin

Table 1
List of meteorological stations and their information

№	Meteorological stations	Elevation, m	Location of meteorological station		Corresponding location of ERA5 dataset		Available monthly data	n
			X	Y	X	Y		
1	Kizilcha	2600	41.212	70.42	41.25	70.5	1970-1992	272
2	Dukent	2140	41.158	70.075	41.25	70	1970-2024	660
3	Angren	945	40.999	69.585	41	70	1970-2024	660
4	Almalik	510	40.868	69.566	41	69.5	1979-2024	540
5	Tuyabog'iz	404	40.998	69.934	41	69.25	1970-2020	636
6	Yangiyo'l	343	41.082	69.018	41	69	1970-2015	551

* Kizilcha meteorological station data is not used for plotting as it only operated during 1970-1992.

The evaluation is conducted using five statistical metrics across three key categories: Error magnitude (RMSE, MAE), Systematic Bias (PBIAS), and Performance or Correlation (R^2 , NSE).

Category 1 – Error Magnitude:

Root Mean Square Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}$$

Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n |O_i - P_i|$$

O_i = Observed value, P_i = ERA5 value, n = Number of data points

Category 2 - Systematic Bias:

Percent Bias (PBIAS):

$$PBIAS = \left(\frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - P_i))}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100$$

 O_i = Observed value, P_i = ERA5 value n = Number of data points**Category 3 - Correlation and Performance:**

Coefficient of Determination (R):

$$R^2 = \frac{[\sum(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})]^2}{\sum(XO_i - \bar{O})^2 \sum(P_i - \bar{P})^2}$$

Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE):

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right)$$

 O_i = Observed value, P_i = ERA5 value, \bar{P} = mean of ERA5 value \bar{O} = Mean of observed values, n = Number of data points**Table 2****Used statistical methods**

N	Statistical metric	What It Measures	Range	Best Value
1	R^2 (Coefficient of Determination)	How well ERA5 explains variability	0 to 1	Closer to 1 is better
2	NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)	How well ERA5 fits observed data	∞ to 1	Closer to 1 is better
3	RMSE (Root Mean Square Error)	Overall accuracy, with emphasis on large errors	0 to ∞	Closer to 0 is better
4	MAE (Mean Absolute Error)	Overall accuracy, treating all errors equally	0 to ∞	Closer to 0 is better
5	PBIAS (Percent Bias)	Systematic over- or underestimation	∞ to ∞	Closer to 0 is better

Category 1 - Error Magnitude. Error Magnitude refers to the size or scale of the errors between observed and ERA5 values. It quantifies how much the ERA5 values deviate from actual observations in absolute terms.

The evaluation of ERA5 temperature data with observations from six meteorological stations (Kizilcha, Dukent, Angren, Almalik, Tuyabogiz, and Yangiyol) reveals notable variations in both error magnitude and correlation strength. Three main metrics – RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), and, while R^2 (Coefficient of Determination) indicates how much of the observed temperature variability is explained by ERA5 (Fig. 2).

Stations at lower elevations (Almalik-510 m, Tuyabogiz-404 m, Yangiyol-303 m) show exceptionally strong performance, with R^2 values close to 1.00 and very small RMSE and MAE (well under 1°C). These results suggest that, in those locations, ERA5 nearly replicates observed data with minimal systematic error (Table 3).

Higher elevation or more complex terrain stations exhibit greater discrepancies. At Angren, 945 m ($R^2 = 0.74$), and Kizilcha, 2600 m ($R^2 = 0.76$), absolute errors (RMSE, MAE) can exceed 4°C. Dukent, 2140 m ($R^2 = 0.93$) achieves a stronger correlation than the other high-elevation stations, with RMSE around 1-5 °C; however, overall, **temperature comparisons are highly matched with those stations with lower altitude (Table 3).**

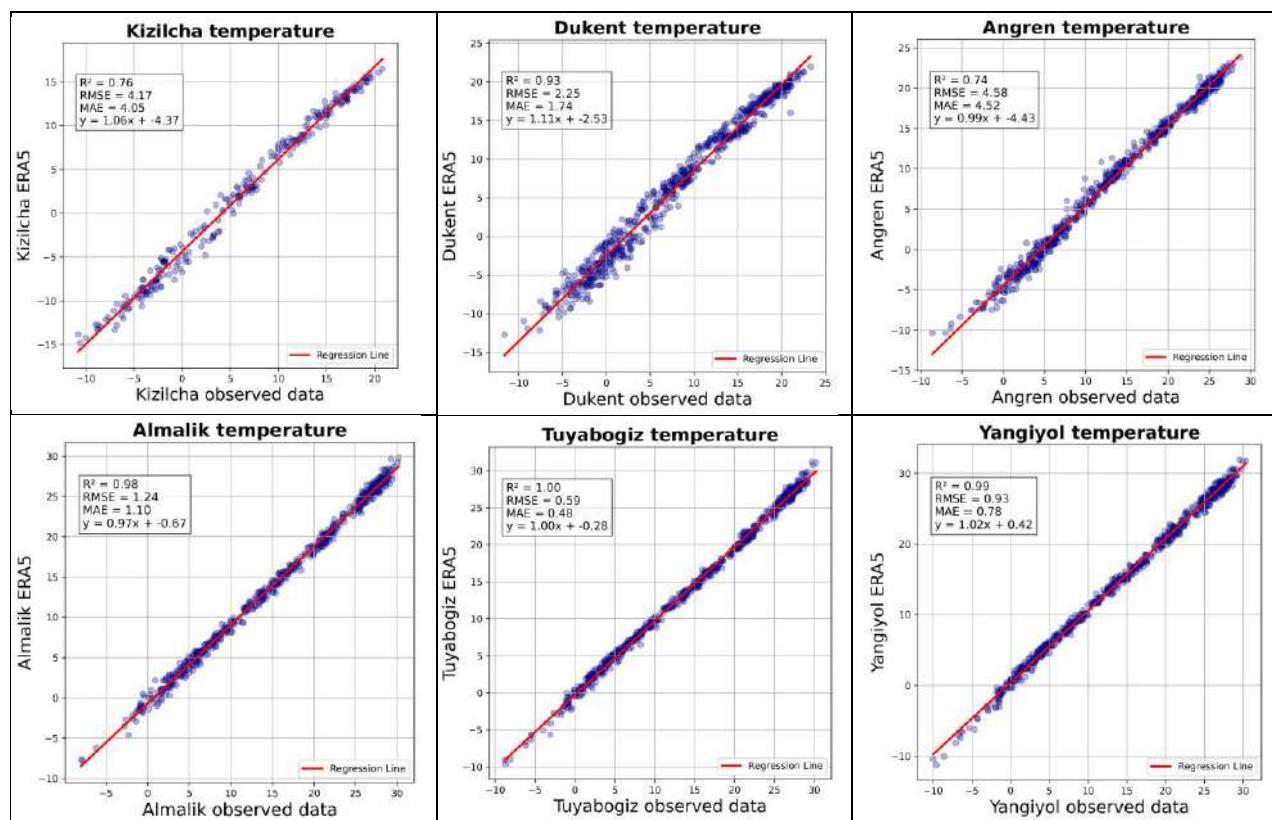


Fig. 2. Temperature (°C) scatter plots of different meteorological stations with corresponding ERA5 data

Table 3
Error magnitude statistical metrics for temperature

№	Stations	Elevation, m	Temperature		
			R ²	RMSE	MAE
1	Kizilcha	2600	0.76	4.17	4.05
2	Dukent	2140	0.93	2.25	1.74
3	Angren	945	0.74	4.58	4.52
4	Almalik	510	0.98	1.24	1.10
5	Tuyabogiz	404	1.00	0.59	0.48
6	Yangiyol	343	0.99	0.93	0.78

Angren meteorological station achieved an R^2 of 0.79, indicating that ERA5 accounts for nearly three-quarters of its observed precipitation pattern (Fig. 3). However, an RMSE of 24.04 mm and MAE of 17.72 mm imply substantial discrepancies, and these deviations become especially pronounced when observed precipitation is low. Dukent ($R^2 = 0.87$) stands out for having highest correlation, though its errors, at 23.92 mm RMSE and 17.04 mm MAE (Table 4).

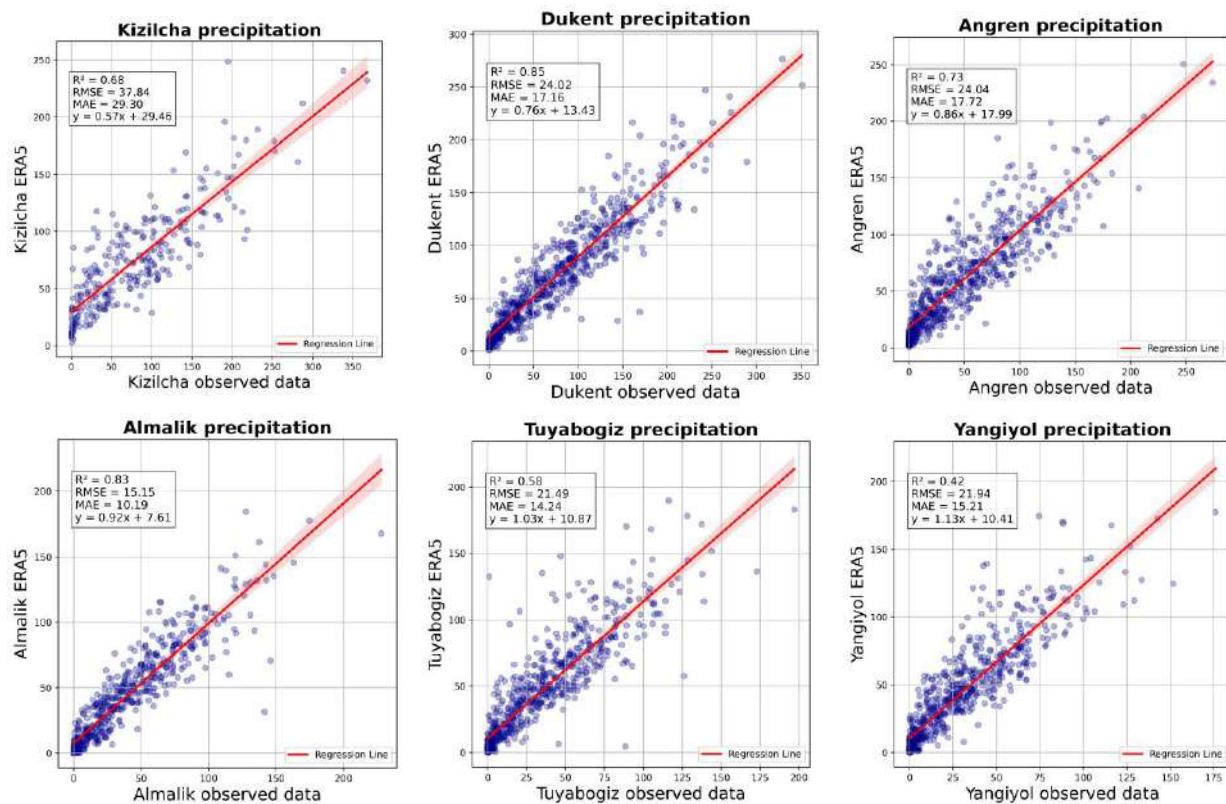


Fig. 3. Precipitation (in mm) scatter plots of different meteorological stations with corresponding ERA5 data

Table 4

Error magnitude statistical metrics for precipitation

№	Stations	Elevation, m	Precipitation		
			R ²	RMSE	MAE
1	Kizilcha	2600	0.71	37.84	29.3
2	Dukent	2140	0.87	24.02	17.16
3	Angren	945	0.79	24.04	17.72
4	Almalik	510	0.85	15.15	10.19
5	Tuyabogiz	404	0.78	21.49	14.24
6	Yangiyol	343	0.8	21.94	15.21

Category 2 – Systematic Bias (Using PBIAS). Percent Bias (PBIAS) is a statistical measure used to quantify the average tendency of ERA5, to investigate whether the reanalysis data overestimates or underestimates observed data. In many hydrological and meteorological studies:

a value PBIAS within: $\pm 10\%$ is often viewed as excellent, $\pm 10\text{--}20\%$ as good, $\pm 20\text{--}40\%$ as satisfactory, more than $\pm 40\%$ as poor.

In the Temperature column, most stations show negative PBIAS ERA5 data shows lower temperatures than observed. In particular, Kizilcha's large negative PBIAS (-67.87%) suggests a substantial bias. In higher altitude stations like Kizilcha, Dukent, Angren, Almalik, Tuyabogiz ERA5 underestimated the temperature. Meanwhile, Yangiyol has a small positive PBIAS ($+4.83\%$), meaning it's slightly warmer than observed on average (Table 5).

Table 5

PBIAS values for both precipitation and temperature

№	Station	Elevation, m	PBIAS, (%)	
			Temperature	Precipitation
1	Kizilcha	2600	-67.87	-5.38
2	Dukent	2140	-19.73	-6.06
3	Angren	945	-33.98	21.63
4	Almalik	510	-7.07	11.64
5	Tuyabogiz	404	-1.86	35.50
6	Yangiyol	343	4.83	50.20

- Negative PBIAS indicates that ERA5 underestimates observations (red color)
- Positive PBIAS indicates that ERA5 overestimates observations (green color)

In the Precipitation column, Angren, Tuyabogiz, Yangiyol, and Almalik all have positive PBIAS, indicating overestimation of precipitation, with Yangiyol's bias being the highest (+50.2%). Dukent, and Kizilcha show negative PBIAS, so ERA5 underestimates precipitation in those locations.

Category 3 – Efficiency (NSE) and linear graphs.

R (Coefficient of Determination) measures of the linear relationship between two variables namely how strongly they move together (and in which direction). Its value ranges from **-1 to 1**: **+1**= Perfect positive linear relationship, and **0** = No linear relationship.

Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) is a statistical metric used to **evaluate the predictive accuracy** of ERA5 data by comparing its performance to the mean of observed values.

NSE = 1 → Perfect data (ERA5 data match observations exactly).

NSE > 0.5 → Good ERA5 data performance.

NSE = 0 → ERA5 is as accurate as the mean of observations.

NSE < 0 → ERA5 performs worse than just using the mean.

In all stations, there is high linear correlation between observed temperature data and ERA5 reanalyses data. Tuyabogiz and Yangiyol, Almalik points show the best alignment between ERA5 and observations, as reflected by R² values above 0.9. Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) is negative for most higher-altitude stations (Kizilcha, Dukent, Angren, and Almalik), suggesting that ERA5's estimates at those sites perform worse than simply using the long-term mean. In contrast, the lower-elevation stations Tuyabogiz and Yangiyol show positive NSE, indicating that ERA5 does provide better data for both the absolute values and variations in temperature there (Fig. 4).

While ERA5 precipitation values with meteorological stations with higher altitudes have higher linear correlation, in lower altitude stations, there are higher linear differences (Fig. 5).

Precipitation fairly well correlated across all six stations, with R-values ranging from 0.71 at Kizilcha to 0.87 at Dukent. Even the lowest correlation (0.71) still suggests a strong linear relationship between observed precipitation and ERA5 data (Table 7).

Looking at the Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), the highest value (0.99) appears at Dukent, indicating that ERA5 captures the observed precipitation patterns there most accurately. In contrast, ERA5 reanalysis for Yangiyol shows the lowest NSE (-4.48), despite having an R-value of 0.85, which highlights how a high correlation alone does not necessarily guarantee a strong match to the magnitude and timing of observed values.

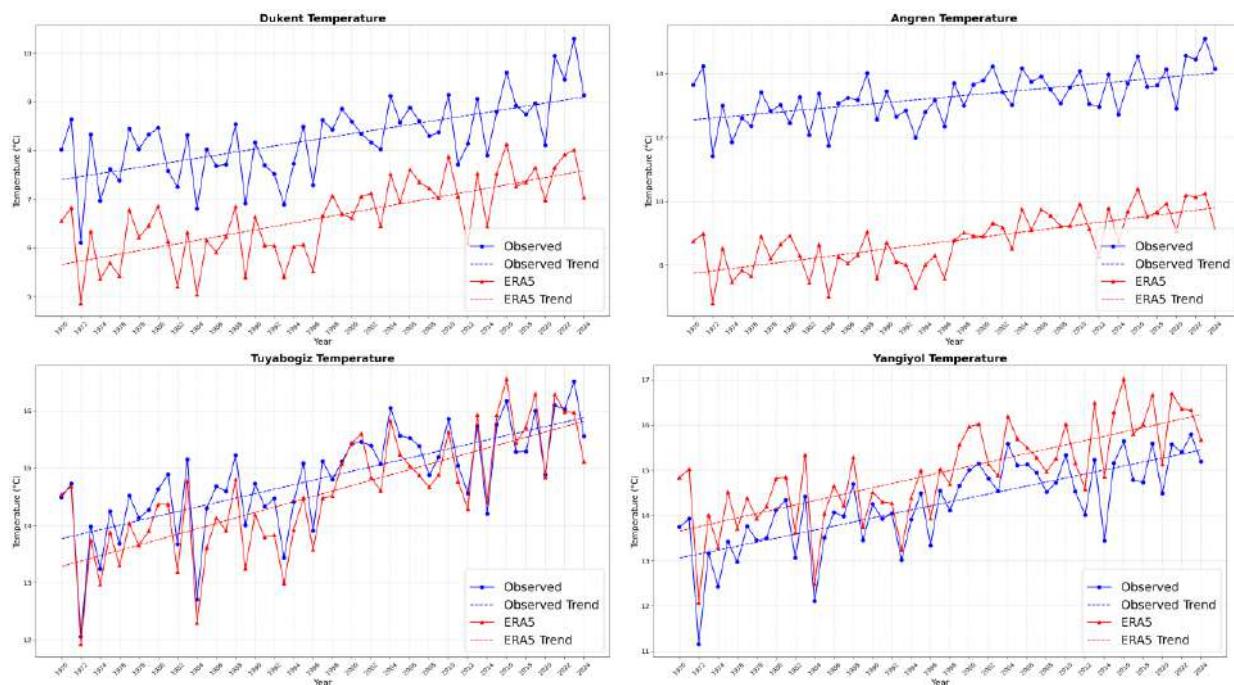


Fig. 4. Temperature linear graphs of different meteorological stations with corresponding ERA5 data

Table 6

Linear correlations and NSE values for temperature

№	Station	Elevation, m	Observed annual mean temperature, °C	ERA5 annual mean temperature, °C	Difference in temperature, °C	Linear correlation (R ²)	Efficiency (NSE)
1	Kizilcha	2600	5.95	1.91	4.04	0.76	-41.36
2	Dukent	2140	8.25	6.62	1.63	0.93	-3.43
3	Angren	945	13.29	8.77	4.52	0.74	-34.28
4	Almalik	510	15.17	14.10	1.07	0.98	-1.61
5	Tuyabogiz	404	14.83	14.55	0.28	1	0.79
6	Yangiyol	343	14.25	14.94	-0.69	0.99	0.35

Conclusion. This study evaluated the accuracy of ERA5 reanalysis data for temperature and precipitation by comparing monthly averages from six meteorological stations located at varying elevations within the Akhangaran River Basin. The analysis used popular statistical metrics – RMSE, MAE, PBIAS, R, and NSE to capture error magnitude, systematic bias, and the degree of correlation between ERA5 and observed station data. However, Akhangaran river basin's terrain is very complex. Thus, disparities in both temperature and precipitation occur. The reason that there are high correlation between observed and ERA5 reanalyses data is because of similar oscillations throughout the period in those datasets (Fig. 4 and Fig. 5).

ERA5 reanalysis data for temperature. High Agreement at Lower Elevations: Stations at lower altitudes (Almalik, Tuyabogiz, and Yangiyol) consistently showed $R \geq 0.99$ and NSE close to 1, indicating near-perfect correspondence. Both RMSE and MAE were under 1°C, and PBIAS was minimal.

Greater Discrepancies in Mountainous Areas: Elevated stations (Kizilcha, Angren) exhibited larger temperature errors (RMSE often $>4^{\circ}\text{C}$). Although their correlations (R) remained decent

(≥ 0.74), relatively lower NSE values revealed limitations in ERA5's precise predictive skill at higher elevations. Dukent, despite its high elevation, performed better than other mountain stations in terms of linear correlation (R^2 up to 0.93).

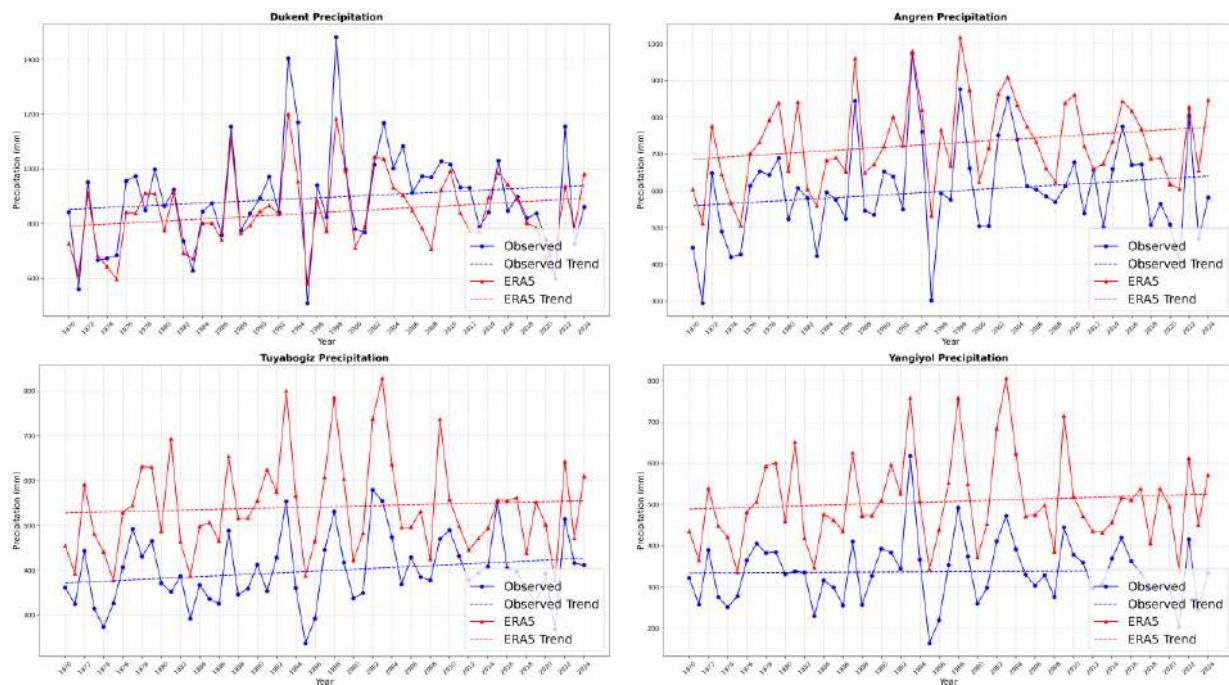


Fig. 5. Linear graphs of different meteorological stations with corresponding ERA5 data

Table 7

Linear correlations and NSE values for precipitation

Nº	Station	Elevation, m	Observed annual mean precipitation, mm	ERA5 annual mean precipitation, mm	difference in precipitation, mm	Linear correlation (R^2)	Efficiency (NSE)
1	Kizilcha	2600	391.2	370.2	21.0	0.71	0.99
2	Dukent	2140	896.8	842.4	54.4	0.87	0.67
3	Angren	945	600.0	729.8	-129.8	0.79	-0.16
4	Almalik	510	380.2	424.4	-44.2	0.85	0.89
5	Tuyabogiz	404	399.5	541.3	-141.8	0.78	-3.20
6	Yangiyol	343	337.4	506.8	-169.4	0.80	-4.48

In this study, our results closely match those of Rakhimov. At lower-elevation stations (below 1000 m, such as Almalik, Tuyabogiz, and Yangiyol), the RMSE ranges from 1.24 to 0.93 °C, compared with 1.20 to 0.69 °C in Rakhimov's paper. Likewise, our coefficient of determination varies from 0.98 to 1.00, while Rakhimov reports values around 0.99, demonstrating high accuracy in both studies. Both papers also show that the discrepancy between ERA5 and observed temperatures increases with elevation. Similarly, Rakhmatova's research paper demonstrated high correlation (0.98) with observed station data.

ERA5 reanalysis data for precipitation. Moderate Correlations but High Absolute Errors: ERA5 captured monthly precipitation trends reasonably (R^2 ranging roughly from 0.71 to 0.87), yet RMSE and MAE values (often exceeding 50-100 mm). These large relative errors reflect the impact of small observed values, especially at mountainous stations.

Rakhmatova's research paper evaluated ERA5 precipitation and found a correlation coefficient of 0.8. Remarkably, when we calculate the average correlation coefficient for six stations in the Akhangaran River Basin, we also obtain 0.8, confirming that our results closely match theirs.

Station-Specific Bias: PBIAS indicated that ERA5 tends to underestimate precipitation at certain high-altitude stations (e.g., Dukent, Kizilcha) and overestimate at lower-altitude stations (Angren, Almalik, Tuyabogiz, Yangiyol). Among the stations, ERA5 for Almalik achieved the best combination of correlation ($R^2 = 0.85$) and NSE (0.89), highlighting relatively strong agreement but still requiring site-specific corrections. In other stations, especially Yangiyol and Tuyabogiz, NSE showed worse results.

Implications of ERA5 reanalysis data for hydrometeorological applications within Akhangaran River Basin.

Lowland suitability (<1000 m): ERA5 temperature data in lower-altitude areas appears highly accurate and generally suitable for practical applications without major correction. But precipitation in lower elevation places are needed to use correction for other studies but still viable tool for those areas.

Mountainous terrain suitability (>1000 m): Elevated stations demand further bias correction and calibration, as complex terrain leads to more differences in deviations in temperature. ERA5 precipitation data for the area is generally satisfactory in mountainous area of the basin proving $NSE > 0.66$ and $NSE < 0.99$ and strong linear correlation in higher altitudes.

Acknowledgments. This research was carried out within the framework of the project IL-5721122065, "Development of a technology for assessing the impact of climate change on water resources in Uzbekistan to enhance adaptation capacity in water and agriculture," implemented with the financial support of the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan.

Authors contribution. **B.E. Nishonov:** concept and design of the article, methodology, choosing the study area, editing. **M.M. Abdurakhmanov:** data collection, data processing, analysis of results, formatting the article, drafting the manuscript, making graphs and maps. All authors have read the version of the manuscript recommended for publication and have given their consent.

REFERENCES

Rakhimov E.Yu., Omonov B.Yu., Kholmatjanov B.M., Abdikulov F.I., Begmatov S.U., Makhmudov I.M. O'zbekistonda NASA POWER va ERA5 bazalari havo harorati malumotlaridan foydalanish imkoniyatlari [Possibilities of using air temperature data from NASA POWER and ERA5 bases in Uzbekistan] // Gidrometeorologiya va atrof-muhit monitoringi, 2023, № 3, – PP. 8-20.

Hu Z., Zhang C., Hu Q., Tian H. Temperature changes in Central Asia from 1979 to 2011 based on multiple datasets // Journal of Climate, 2014, 27.3: 1143-1167.

Jiao D., Xu N., Yang F., Xu K. Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China // Scientific Reports, 2021, 11.1: 17956.

Liu R. Global-scale ERA5 product precipitation and temperature evaluation // Ecological Indicators, 2024, 166: 112481.

Rakhmatova N., Nishonov B.E., Kholmatjanov B.M., Kristina N.T., Rakhmatova V., Khasankhanova G.M. Evaluation of the perspective of ERA-Interim and ERA5 reanalyses for calculation of drought indicators for Uzbekistan // Atmosphere, 2021, 12.5: 527.

Yan X., Zhang M., Yin F., You J., Chen Y., Gao L. Multi-Scale Evaluation of ERA5 Air Temperature and Precipitation Data over the Poyang Lake Basin of China // Water, 2024, 16.21: 3123.

Alexopoulos M. J., Müller-Thomy H., Nistahl P., Šraj M., Bezak N. Validation of precipitation reanalysis products for rainfall-runoff modelling in Slovenia // Hydrology and Earth System Sciences, 2023, 27.13: 2559-2578.

Eletronic resources:

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
 Copernicus climate portal. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels>

ERA5 РЕАНАЛИЗ МАЪЛУМОТЛАРИНИ ОҲАНГАРОН ДАРЁ ҲАВЗАСИДА КУЗАТИЛГАН МЕТЕОРОЛОГИК МАЪЛУМОТЛАР БИЛАН ҚИЁСИЙ ТАҲЛИЛИ

Б.Э. НИШОНОВ^{1,2}, М.М. АБДУРАҲМАНОВ^{1,2}

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, abdurakhmanovmurodjon1@gmail.com

² Мирзо Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, bnishonov@mail.ru

Аннотация. Уибӯ мақолада Оҳангарон дарёси ҳавзасида кузатилган метеорологик маълумотлар билан ERA5 реанализ маълумотлари ўртасидаги корреляция таҳлил этилди. Баҳолаш учта асосий тоифада бешта статистик мезон ёрдамида амалга оширилади: ҳатолик ўлчами (RMSE, MAE), меъёрдан четлашии (PBIAS) ва бошқа статистик кўрсаткичлар (NSE, R²). 1970-2024 йиллар оралигидаги ҳар ой маълумотлари олтита метеорология станциясидан олинган кузатилган маълумотлар билан мос келувчи ойлик ERA5 маълумотлари солиширилади, бу орқали реанализ маълумотларининг маҳаллий метеорологик шароитларни тасвирлашдаги яроқишиги баҳоланаади. Бундан ташқари, чизиқти графиклардан турли йиллардаги вақт ўтиши билан боғлиқ ўзгаришилар ва тафовутларни визуализация қилиши учун фойдаланилди. Статистик ва визуал таҳлилларни бирлаштириши орқали уибӯ тадқиқот минтақадаги гидрометеорологик тадқиқотлар учун ERA5 реанализ маълумотларининг қўлланиши имкониятларини кенг қамровли баҳолашни таъминлади.

Калит сўзлар: ERA5 реанализ, кузатилган маълумотлар, корреляция таҳлили, статистик баҳолаш, ҳато ўлчами, Nash Sutcliffe самарадорлиги (NSE), фоиз четлашии (PBIAS), маълумотларни валидация қилиши.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ERA5 С НАБЛЮДЕННЫМИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АХАНГАРАН

Б.Э. НИШОНОВ^{1,2}, М.М. АБДУРАҲМАНОВ^{1,2}

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru

² Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, abdurakhmanovmurodjon1@gmail.com

Аннотация. В данной статье анализирована корреляция между наблюдаемыми метеорологическими данными и данными реанализа ERA5 в бассейне реки Ахангаран. Оценка проводилась по пяти статистическим показателям в трёх ключевых категориях: величина ошибки (RMSE, MAE), систематическая погрешность (PBIAS) и показатели эффективности или линейной корреляции (NSE, R²). Ежемесячные данные за период 1970–2024 гг. с семи метеостанций сравнивали с соответствующими ежемесячными наборами данных ERA5 для оценки достоверности реанализа при отражении локальных метеорологических условий. Также, использовались линейные графики для визуализации временных изменений и расхождений по разным годам. Интегрируя статистический и визуальный анализ, исследование обеспечивает всестороннюю оценку применимости данных реанализа ERA5 для гидрометеорологических исследований в регионе.

Ключевые слова: реанализ ERA5, наблюдаемые данные, корреляционный анализ, статистическая оценка, величина ошибки, коэффициент эффективности Нэша–Сатклиффа (NSE), процентное смещение (PBIAS), валидация данных.

ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY

УДК: 551.324

ЛЕДНИКИ БАССЕЙНА РЕКИ АХАНГАРАН

С.С. СУВАНКУЛОВ^{1,2*}, А.А. НИ¹, Л.М. КАРАНДАЕВА²,
Т.И. ХИСМАТУЛЛИН¹, Г.Б. ЗУЛПИХАРОВ¹

¹ Институт геологии и геофизики им. Х.М.Абдуллаева, ssarkorbek@gmail.com

² Научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Аннотация. При проведении полевых работ в бассейне реки Ахангаран обследованы девять малых ледников. Описание трех из них приведено в Каталоге ледников 1978 г. В статье представлены обновленные сведения об этих трех ледниках и впервые представлены сведения о шести остальных ледниках. Приведена карта их расположения, описаны их морфологические и морфометрические параметры: длина, площадь, высоты низшей и высшей точек и т.д., рассчитаны запасы воды, заключённые в ледниках. По итогам полевых и камеральных исследований, в бассейне р. Ахангаран находятся девять ледников площадью более 0,01 км² каждый, общей площадью 0,713 км², объём запаса воды в которых равен приблизительно 0,017 км³.

Ключевые слова: бассейн реки Ахангаран, малый ледник, морфологические и морфометрические параметры, цифровая модель рельефа, ГИС.

Введение. Роль ледников в хозяйственной деятельности человека разнообразна. Ледники являются весьма важным источником питания рек, воды которых используются для орошаемого земледелия, особенно в аридной зоне, в которой находится Республика Узбекистан. В связи с этим вопросам, связанным с изучением ледников Средней Азии и Узбекистана, в частности, всегда уделялось и уделяется большое внимание [Материалы ..., 1927; Корженевский, 1930; Шульц, 1956; Калесник, 1963; Камалов, 1974; Лесник, 1975].

Среди литературных источников, содержащих описание ледников отдельных бассейнов, склонов, хребтов или регионов, наиболее полное описание оледенения Средней Азии содержится в монографиях [Щетинников, 1976, 1981, 1998, 2000], [Оледенение ..., 1993], [Оледенение ..., 1995]. Широкому кругу ученых известны работы профессора Г.Е. Глазырина. Особое место в его исследованиях занимают вопросы изучения динамики ледниковых систем в связи с климатическими изменениями в горах Средней Азии [Глазырин, 1991, 2001]. Хорошо известны работы В.Г.Коновалова. Из многочисленных его научных работ выделяются две монографии [Коновалов, 1979, 1985]. Им разработана физико-статистическая региональная модель расчета суммарного таяния и ледникового стока в бассейнах рек Средней Азии, реализованная в виде компьютерной программы REGMOD. Зарубежные ученые М.Хоелзле, В.Цейх, Т.Сакс проводят исследования по оценке изменения баланса массы ледников Средней Азии при изменении климата и моделирование этого процесса. В настоящее время в Республике Узбекистан гляциологические исследования ведут А.А.Ни, Л.М.Карандаева, М.А.Петров, Э.Р.Семакова, Г.У. Умирзаков, А.В.Яковлев и многие другие.

Потепление климата вызывает соответствующие изменения ледниковых систем в горах Средней Азии. Ледники чувствительны к изменениям климата и являются одним из

* Ответственный автор: ssarkorbek@gmail.com, тел.: +998 91 506-19-93

индикаторов этих изменений. Деградация оледенения бассейнов рек является основной причиной изменения режима их стока. В связи с вышеуказанным изучение изменения состояния ледников и их морфометрических показателей является актуальным. В конце августа 2022 года группой сотрудников центра гляциальной геологии Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева (ИГГ) при обследовании озёр верховий реки Ахангаран были проведены рекогносцировочные исследования на девяти малых ледниках в верховьях рек Зекирсай и Учсай (правые притоки реки Ахангаран). В августе 2023 и 2024 годов были организованы повторные экспедиции с целью дальнейшего изучения этих ледников.

В рамках проекта по каталогизации ледников Узбекистана в процессе анализа космических снимков было уделено внимание малым ледникам бассейна реки Ахангаран. Из девяти ледников сведения о трех ледниках опубликованы в Каталоге ледников СССР – том 14, выпуск 1, часть 3 [Ресурсы ..., 1978], где приведены их порядковые номера: №1, №2 и №3. В рамках проекта и в данной статье, названия исследуемым ледникам даны в соответствии с их расположением относительно гидрологической сети, согласно рекомендациям Руководства по составлению Каталога ледников СССР 1966 г. и по принципу, принятому в Каталоге ледников СССР для долины р. Пскем 1968 г., а именно – сначала вверх по долине по одному берегу основной реки, при достижении её истоков – переходя на другой берег и далее вниз по долине, постепенно переходя от одного малого притока основной реки к следующему. Общее направление – против часовой стрелки. Таким образом, ледник №1 получил название Учсай-2, ледник №2 – Зекир-4, ледник №3 – Зекир-2. В Каталоге отмечено, что в бассейне р. Ахангаран имеется еще 3 ледника размерами менее 0,1 км² каждый, общей площадью 0,2 км².

Объектом исследования в данной статье являются девять малых ледников в бассейне реки Ахангаран. Предметом исследования – морфологические и морфометрические параметры данных ледников, полученные преимущественно с использованием геоинформационных технологий.

Цель и задачи исследования. Основной **целью** данной работы является определение морфометрических параметров малых ледников, расположенных в бассейне реки Ахангаран. Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

- дешифрирование в полуавтоматическом режиме космических снимков с целью выявления ледников с применением геоинформационной системы (ГИС – в данном случае ArcGIS Pro);
- оцифровка обнаруженных ледников, внесение их в базу геоданных (БГД) в виде полигонов;
- присвоение ледникам соответствующих атрибутов (морфологических и морфометрических параметров).

Исходные данные и методы исследования. В данной работе в качестве исходного материала использовались данные, полученные в результате полевых исследований, проведенных в бассейне реки Ахангаран. Следует отметить, что полевые исследования проводились в рамках научно-исследовательского проекта ГРР №5 «Изучение геологических особенностей ледниковых отложений и прогноз оруденения» при непосредственном участии С.Суванкулова, Г.Зулпихарова, Т.Хисматуллина.

Методы исследования: обработка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), использование геоинформационных систем (ГИС), работа с литературными и фондовыми материалами.

Основные результаты и их обсуждение. С платформы Геологической службы США (usgs.gov) для территории бассейна реки Ахангаран была загружена цифровая модель рельефа (ЦМР) ASTER GDEM v3 с горизонтальным разрешением 15 м на пиксель

[NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems., 2018]. С её помощью построена обзорная карта-схема бассейна реки Ахангаран с градацией высот в метрах абсолютной высоты, важнейшими элементами гидрографической сети и расположением изучаемых ледников (см. рис. 1). Карта расположения ледников, описанию которых посвящена данная работа, представлена на рис. 2. Фотографии ледника Учсай-2 с разных ракурсов представлены на рис. 3.

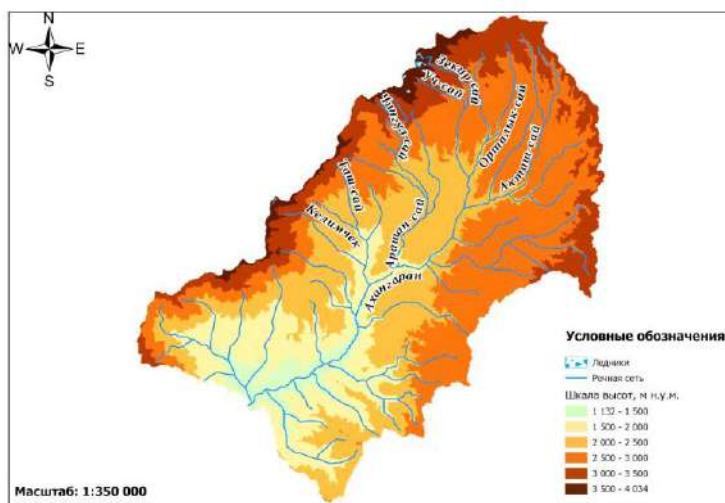


Рис. 1. Карта-схема бассейна реки Ахангаран

Fig. 1. Sketch map of the Akhangaran river basin

В данной статье представлено описание девяти малых ледников бассейна реки Ахангаран. Описание шести из этих ледников представлено впервые. Авторами статьи ледники были названы по одноименной реке, в бассейне которой они находятся: Зекир-1, Зекир-2, Зекир-3, Зекир-4, Учсай-1, Учсай-2, Чингул, Келимчек-1, Келимчек-2 (см. рис. 2). С использованием цифровой карты в ArcGIS Pro были определены некоторые морфометрические параметры ледников: площадь, длина по профилю, максимальная и минимальная абсолютная высоты, средний уклон поверхности, экспозиция. В таблице 1 представлены морфологические и морфометрические параметры исследуемых ледников.

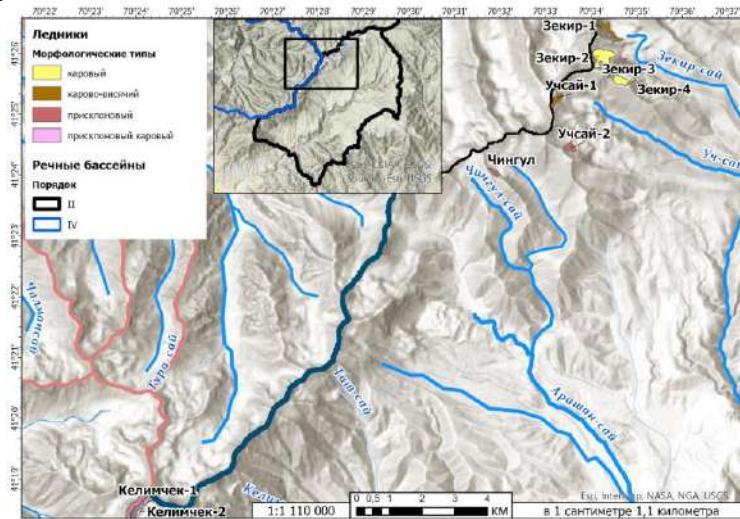


Рис. 2. Карта расположения исследуемых ледников бассейна р. Ахангаран

Fig. 2. Map of the disposition of glaciers in the Akhangaran river basin



Рис. 3. Фотографии ледника Учсай-1 с разных ракурсов

Автор: Суванкулов С.С. (верхнее левое фото), Хисматуллин Т.И. (остальные фото)

Fig. 3. Photos of the Uchsai-1 glacier from different perspectives.

Photo made by: S.S.Suvankulov (upper left one), T.I.Khismatullin (rest of the photos)

В таблице 1 в квадратных скобках указаны значения, приведённые для соответствующих ледников в Каталоге ледников СССР [Ресурсы ..., 1978]. Уменьшение площади ледников объясняется процессом их деградации. Увеличение длин ледников, а также разница в отметках высот, объясняется разницей в исходных картографических материалах, технических инструментах и методологии расчётов. В данной работе использованы цифровые источники картографической информации, к тому же основанные на датуме (сфероиде) WGS 1984, в то время как авторами Каталога, скорее всего, был использован датум Пулково 1942; в роли инструмента расчёта выступает современное программное обеспечение. При составлении Каталога использовались следующие источники, методика и инструментарий [Ресурсы ..., 1978]:

Таблица 1
Морфометрические и морфологические параметры ледников бассейна реки
Ахангаран

Table 1**Morphometric and morphologic parameters of the glaciers of the Akhangaran river basin**

№	Название	Морфологический тип	Общая экспозиция	Длина l , м	Площадь S , км ²	Высота, м абр. высоты		Уклон, градусы
						нижней точки, H_1	высшей точки, H_2	
1	Зекир-1	карово-висячий	СВ	378	0,114	3632	3806	28,8
2	Зекир-2 [№3]	каровый [каровый]	СВ [B]	823 [700]	0,255 [0,3]	3591 [3640]	4000 [3960]	31,4
3	Зекир-3	присклоновый	СВ	162	0,023	3565	3705	47,1
4	Зекир-4 [№2]	каровый [каровый]	В [CB]	757 [600]	0,114 [0,2]	3672 [3520]	3875 [3840]	36,1
5	Учсай-1	карово-висячий	СВ	567	0,067	3658	3885	30,5
6	Учсай-2 [№1]	присклоновый [карово-висячий]	В	337 [400]	0,062 [0,2]	3669 [3660]	3833 [3860]	26,6
7	Чингул	присклоновый	СВ	149	0,034	3540	3627	30,3
8	Келимчек-1	присклоновый каровый	ЮВ	127	0,022	3656	3712	23,7
9	Келимчек-2	присклоновый каровый	ЮВ	113	0,021	3628	3658	14,3
Сумма					0,713			

Основные сведения о ледниках получены по крупномасштабным картографическим и аэрофотосъемочным материалам и уточнены во время полевых маршрутных обследований ледников и рекогносировочных полетов на вертолете в 1961-1974 гг.

Контуры ледников, полученные по аэрофотоснимкам и проверенные во время аэровизуальных полетов или полевых маршрутов, глазомерным способом переносились на крупномасштабные карты. Только после этого определялись площади ледников и их линейные размеры.

Длина ледников измерялась циркулем с постоянным раствором 2 мм в два приема. Длина ледников в таблице приведена с точностью до 0,1 км. Измерение площади ледников производилось планиметром палеткой с размерами ячеек 1 мм². При этом один способ измерения часто контролировался другим. Площади ледников округлялись до 0,1 км².

Таким образом, можно предположить, что представленные в Каталоге СССР данные характеризуются более низкой точностью, что обусловлено комплексом причин (погрешности измерений, более крупный шаг округления, неточности в самих картах).

При определении экспозиции ледников в данной работе использовалась следующая методика: для отрезков, обозначающих оси ледников, с помощью встроенного в ГИС инструмента «Азимут линии» («Line bearing») в блоке «Калькулятор геометрии» («Calculate Geometry»), определялся азимут (в диапазоне значений от 0 до 360) по всей

длине отрезка. Полученное цифровое значение азимута затем конвертировалось в текстовое обозначение румба в соответствии с интервалом, в который оно попадает (например, значение азимута между 67,5 и 112,5 даёт нам восточную экспозицию). В Каталоге ледников СССР экспозиция ледника, скорее всего, определялась визуально методом экспертной оценки.

Расхождение в определении морфологического типа ледника Учсай-2 (№1 по Каталогу 1978 г.) обусловлено собственным видением авторов.

Дешифрирование, оцифровка и определение параметров ледников были выполнены в рамках текущей работы по каталогизации ледников Чаткало-Кураминского региона. В качестве основного источника визуальной информации был использован космический снимок Landsat 8 от 14.08.2023 г. с разрешением 30 м на пиксель [Earth ..., 2020]. В качестве вспомогательного источника – предоставляемая в функционале ArcGIS Pro базовая карта (Basemap – Imagery), представляющая собой мозаику из космических снимков высокого (~0,5 м) разрешения (поставщик – Maxar). К сожалению, на территорию, где располагаются малые ледники №1-№9 (см. табл. 1), доступен лишь снимок на 10.09.2010, к тому же имеющий в наличии значительный снежный покров, осложняющий дешифрирование. Значимость этого снимка как вспомогательного источника информации для данных ледников сведена к минимуму. Полноценная оцифровка по данному снимку не проводилась.

Стоит отметить, что в процессе дешифрирования и картирования, были исключены ледники, чья площадь по результатам полуавтоматической обработки космических снимков оказалась менее 0,01 км². Данный принцип распространён также и в зарубежной традиции каталогизации ледников по данным ДЗЗ, и основан, главным образом, на том факте, что 0,01 км² – это нижний порог, при котором, при благоприятных условиях, можно с уверенностью определить ледники с помощью спутниковых датчиков, работающих с пространственным разрешением 15–30 м [Paul et al., 2009].

При создании контуров ледников по данным ДЗЗ всегда необходимо учитывать неизбежные погрешности в оценке получаемых морфометрических параметров, вызванные рядом причин: разрешение спутникового снимка, наличие моренного и снежного покровов на поверхности ледников, собственное видение оператора.

Ввиду небольшого размера самих ледников и их количества (9 ледников), было принято решение упростить расчёт погрешностей измерения площади ледников до двух:

1) погрешность определения границ ледников оператором (E_0) – по результатам обзора научных статей и исходя из опыта других специалистов, принята равной 3,5% [Paul et al., 2013];

2) оценка погрешности измерения методом буфера ($E_{0,5}$) (в работе [Paul et al., 2017] обозначена как GO-3) – выполняется путем создания буферов (с внешней и внутренней стороны) для полученных полигональных объектов (оцифрованных ледников), шириной в половину величины пикселя используемого снимка (в метрах). В данном случае размер буфера: 30 : 2 = 15 м. Из векторного ГИС-слоя с ледниками созданы два вспомогательных векторных слоя с помощью инструмента «Буфер» (Buffer) (см. рис. 4). Площади буферных зон получены следующим образом: для « $E_{0,5}$ » значение взято из атрибутивной таблицы в ГИС, для « $E_{-0,5}$ » – из площади ледника вычтена площадь полигона, получившегося после использования вышеупомянутого инструмента со значением параметра «Буфер» = -0,5.

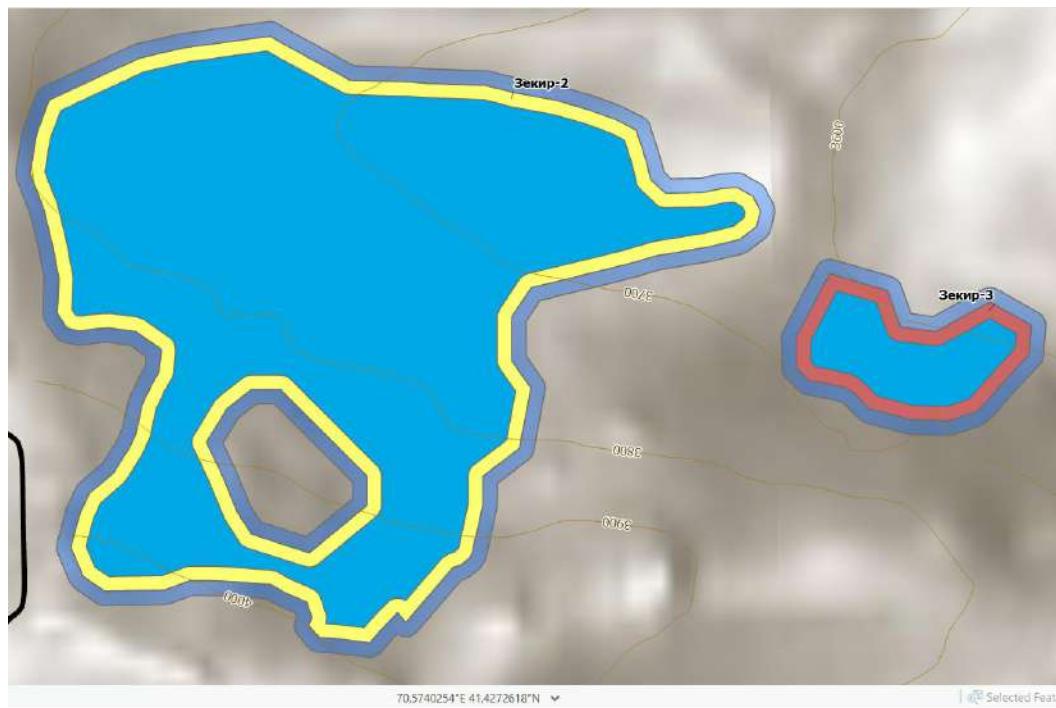


Рис. 4. Фрагмент рабочего пространства в ArcGIS Pro со вспомогательными векторными слоями (оттенки синего цвета), полученными с помощью инструмента «Буфер». Ледники показаны разными цветами в зависимости от их морфологического типа в соответствии с легендой на рис. 2.

Fig. 4. Fragment of a workspace in ArcGIS Pro with the auxiliary vector layers (in shades of blue), produced with the “Buffer” tool. The glaciers are in different colors depending on their morphological type according to the legend in Fig. 2.

Погрешность $E_{0,5}$ рассчитана как стандартное отклонение (STD) по формуле:

$$E_{0,5} = \sqrt{\frac{(E_{+0,5} - \bar{E})^2 + (E_{-0,5} - \bar{E})^2}{2 - 1}} = \sqrt{(E_{+0,5} - \bar{E})^2 + (E_{-0,5} - \bar{E})^2}, \quad (1)$$

где: \bar{E} – среднее арифметическое из двух значений $E_{-0,5}$ и $E_{+0,5}$.

В таблице 2 приведены значения погрешностей для рассчитанных площадей ледников, в абсолютной величине и в процентах. Общая ошибка рассчитывается как корень из суммы квадратов значений имеющихся ошибок (согласно рекомендациям по методике Paul et al., 2009, 2013, 2017):

$$E = \pm \sqrt{E_{0,5}^2 + E_o^2}, \quad (2)$$

где: $E_{0,5}$ – оценка погрешности методом буфера (см. формулу (1)); $E_o = 3,5\%$ – ошибка оператора.

Согласно [Talchabhadel et al., 2021] ошибка определения абсолютной высоты нижней и верхней границ ледников (см. табл. 1) по ASTER GDEM v3 может колебаться в пределах от 7 до 14 м.

Для расчета объема ледников к настоящему времени существует ряд формул, выведенных разными авторами по результатам эмпирических наблюдений в различных

ледниковых районах. Было решено использовать следующие формулы и сравнить рассчитанные по ним объёмы:

1. Формулы Ю.Я. Мачерета, П.А. Черкасова, Л.И. Бобровой [Мачерет и др., 1988]:
а. Вариант для ледников с площадью $S < 0,1 \text{ км}^2$, где S в м^2 :

$$V = 4 * 10^{-9} S^{1.12} \quad (3)$$

- б. Вариант для ледников «висячих долин и каров» площадью $S < 3 \text{ км}^2$, где S в км^2 , для ледников Зекир-1, Зекир-2 и Зекир-4, имеющих площадь $> 0,1 \text{ км}^2$ и отнесенных к каровому морфологическому типу:

$$V = 49,37 * 10^{-3} S^{1.2} \quad (4)$$

2. Формула В.А. Кузьмиченка [Кузьмиченок, 2006] – вариант для ледников с площадью $S < 0,1 \text{ км}^2$:

$$V = 0,03782 * S^{1.23} \quad (5)$$

3. Формулы С.А. Никитина [Никитин и др., 2001]:

- а. Вариант для каровых и карово-висячих ледников:

$$V = 0,0487 * S^{1.244} \quad (6)$$

- б. Вариант «для всех прочих ледников», для ледников Зекир-3, Учсай-2 и Чингул, отнесенных к присклоновому морфологическому типу:

$$V = 0,0451 * S^{1.128} \quad (7)$$

4. Формула Н.В. Ерасова [Ерасов, 1968]:

$$V = 0,027 * S^{1.5} \quad (8)$$

Результаты расчётов представлены в таблице 3.

Таблица 2
Оценка погрешностей измерения площади ледников бассейна р. Ахангаран

Table 2

Estimation of accuracy in measuring the area of glaciers in the Akhangaran river basin

№	Название	Площадь, км^2 , 2023 г.	Оценка ошибки методом буфера, $E_{0,5}$		Ошибка оператора, E_o		Общая ошибка, E , 2023 г.	
			км^2	%	км^2	%	км^2	%
1	Зекир-1	0,1143	0,001245	1,089%	0,0040	3,5%	0,0042	3,7%
2	Зекир-2	0,2550	0,000004	0,002%	0,0089	3,5%	0,0089	3,5%
3	Зекир-3	0,0232	0,001045	4,509%	0,0008	3,5%	0,0013	5,7%
4	Зекир-4	0,1144	0,001196	1,046%	0,0040	3,5%	0,0042	3,7%
5	Уч-сай 1	0,0672	0,001148	1,709%	0,0024	3,5%	0,0026	3,9%
6	Уч-сай 2	0,0619	0,001247	2,016%	0,0022	3,5%	0,0025	4,0%
7	Чингул	0,0341	0,001050	3,079%	0,0012	3,5%	0,0016	4,7%
8	Келимчек-1	0,0220	0,001042	4,738%	0,0008	3,5%	0,0013	5,9%
9	Келимчек-2	0,0212	0,001035	4,890%	0,0007	3,5%	0,0013	6,0%
Сумма, км^2 Средняя ошибка, %						0,0279	4,6%	

Анализ результатов показал, что формула Ерасова сильно занижает значения объёма льда – примерно на порядок. Было принято решение не учитывать результаты расчётов по данной формуле, а за общий объём льда принять среднее значение по трём первым вариантам расчёта 0,019435 км^3 .

Для получения запаса воды, содержащегося в леднике, объем льда необходимо умножить на величину его средней плотности. Объем запаса воды в ледниках при средней плотности льда 0,85 г/см³ определен по формуле:

$$M_{зл} = V_{л} \cdot 0,85 = 0,017 \text{ км}^3 \quad (9)$$

Таблица 3
Объёмы льда в ледниках бассейна реки Ахангаран по различным формулам
Table 3
Ice volume in glaciers of the Akhangaran river basin by different formulas

п/п	Название	Объем льда $V_{л}$, км ³ , по формуле:			
		Ю.Я.Мачерета и др.	В.А.Кузьмиченка	С.А.Никитина	Н.В.Ерасова
1	Зекир-1	0,003658	0,002626	0,003280	0,001044
2	Зекир-2	0,009578	0,007042	0,008896	0,003476
3	Зекир-3	0,000310	0,000369	0,000646	0,000095
4	Зекир-4	0,003659	0,002627	0,003281	0,001044
5	Учсай-1	0,001020	0,001365	0,001692	0,000470
6	Учсай-2	0,000930	0,001234	0,001954	0,000415
7	Чингул	0,000477	0,000593	0,000998	0,000170
8	Келимчек-1	0,000292	0,000346	0,000422	0,000088
9	Келимчек-2	0,000280	0,000330	0,000403	0,000083
Сумма		0,020203	0,016530	0,021572	0,006886
Среднее		0,019435			-/-

Выводы. Группой сотрудников Центра гляциальной геологии ИГГ в августе 2022, 2023, 2024 годов были проведены исследования на девяти малых ледниках в верховьях рек Зекирсай и Учсай (правые притоки реки Ахангаран). Сведения о трех ледниках были опубликованы ранее в Каталоге ледников СССР 1978 г., где указаны их порядковые номера: №1, №2 и №3. Авторами статьи ледникам были даны названия по одноименной реке, в бассейне которой они находятся: Зекир-1, Зекир-2, Зекир-3, Зекир-4, Учсай-1, Учсай-2, Чингул, Келимчек-1, Келимчек-2. В статье представлено описание этих девяти малых ледников, при этом для шести из них (Зекир-1, Зекир-3, Учсай-1, Чингул, Келимчек-1, Келимчек-2) – впервые. Описание ледников включает в себя:

- картографическое отображение местоположения ледников;
- морфометрические параметры ледников (площадь, длина по оси, высота верхней и нижней точки, средний уклон поверхности);
- морфологические типы ледников в соответствии с классификацией, используемой в Каталоге ледников СССР.

Рассчитан объем запаса воды в ледниках, равный 0,017 км³ при общей площади 0,713 км². Средняя ошибка расчёта площади ледников равна 4,6%.

Вклад авторов. С.С. Суванкулов: методология, анализ, производство наземных наблюдений, интерпретация результатов, написание текста и его перевод на узбекский язык, оформление статьи. А.А. Ни: постановка задачи, корректировка текста, научная консультация. Л.М. Карандаева: редактирование текста, оценка качества расчетов. Т.И. Хисматуллин: производство наземных наблюдений, сбор и обработка спутниковых данных, ГИС-картографирование, интерпретация результатов, написание текста и его перевод на английский язык, оформление статьи. Г.Б. Зулпихаров: производство наземных наблюдений. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Глазырин Г.Е., Щетинников А.С. Современное и возможное будущее изменение оледенения западного Тянь-Шаня // Труды САНИГМИ, 2001. – Вып. 161(242). – С. 5-14.
- Глазырин Г.Е. Горные ледниковые системы, их структура и эволюция. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 102 с.
- Ерасов Н.В. Метод определения объема горных ледников // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1968. – Вып. 14. – С. 307-308.
- Калесник С.В. Очерки гляциологии. – М.: Географгиз, 1963. – 551 с.
- Камалов Б.А. Современное оледенение и сток с ледников в бассейне Сырдарьи // Труды САРИГМИ, 1974. – Вып. 12 (93). – 77 с.
- Коновалов В.Г. Расчет и прогноз таяния ледников Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 230 с.
- Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 237 с.
- Коржаневский Н.Л. Каталог ледников Средней Азии. – Ташкент, 1930. – 200 с.
- Кудышкин Т.В., Тарасов Ю.А., Яковлев А.В. Изменение оледенения речных бассейнов с преобладанием малых ледников во второй половине XX начале XI века // Вопросы географии и геоэкологии. №4. – Алматы, 2014. – С. 45-54.
- Кузьмиченок В.А. Статистические исследования геометрии долинных ледников Кыргызстана // Материалы гляциол. Исслед, 2006. – Вып. 100. – С. 80-86.
- Лесник Ю.Н. Процесс абляции и жидкий сток ледников Средней Азии. /Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата географических наук. 11.00.07. АН СССР. Ин-т географии. – Москва, 1975. – 33 с.
- Материалы по изучению оледенения гор Средней Азии. – Ташкент, 1927. – 144 с.
- Мачерет Ю.Я., Черкасов П.А., Боброва Л.И. Толщина и объем ледников Джунгарского Алатау по данным аэrorадиозондирования // МГИ, 1988. – Вып. 62. – С. 59-71.
- Никитин С.А., Веснин А.В., Осипов А.В., Игловская Н.В. Распределение запасов льда в Северо-Чуйском хребте Центрального Алтая по данным радиозондирования // МГИ, 2001. – Вып. 90. – С. 107–111.
- Оледенение Памиро-Алая – М.: Наука, 1993. – 256 с.
- Оледенение Тянь-Шаня. – М., 1995. – 234 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР: Каталог ледников СССР / Том 14. Средняя Азия. Вып.1. Сырдарья. Ч. 3. Бассейны правых притоков р. Нарына ниже устья р. Кёкмерена / Максимов Н.В., Фатеев В.П., Максимов Е.В., Захарына Н.Н. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 56 с.
- Щетинников А.С. Ледники бассейна реки Пскем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 120 с.
- Щетинников А.С. Оледенение Гиссаро-Алая. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1981. – 119 с.
- Щетинников А.С. Морфология и режим ледников Памиро-Алая. – Ташкент: САНИГМИ, 1998. – 219 с.
- Щетинников А.С., Яковлев А.В. Состав и функциональные возможности банка данных «Ледники» на ПЭВМ // Тр. САНИГМИ, 2000. – Вып.153(234). – С. 167-178.
- Шульц В.Л. Таяние снежников в горах Средней Азии. – Ташкент: Изд-во Акад. наук УзССР. – 1956. – 252 с.
- NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, and U.S./Japan ASTER Science Team. ASTER Global Digital Elevation Model V003. 2018, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Digital Object Identifier (DOI) number: <https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.003>
- Paul F., Barry R.G., Cogley J.G., Frey H., Haeberli W., Ohmura A., Omannay C.S.L., Raup B., Rivera A., Zemp M. Recommendations for the compilation of glacier inventory data from digital sources. Annals of Glaciology. 2009. № 50(53). – PP. 119-126. doi:10.3189/172756410790595778.
- Paul F., Barrand N. E., Baumann S., Berthier E., Bolch T., Casey K., Frey H., Joshi S. P., Konovalov V., Le Bris R., Mölg N., Nosenko G., Nuth C., Pope A., Racoviteanu A., Rastner P., Raup B.,

Scharrer K., Steffen S., and Winsvold S. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // Annals of Glaciology. 2013. № 54. – PP.171-182. <https://doi.org/10.3189/2013AoG63A296>, 2013

Paul F., Bolch T., Briggs K., Kääb A., McMillan M., McNabb R., Nagler T., Nuth C., Rastner P., Strozzi T., Wuite J. Error sources and guidelines for quality assessment of glacier area, elevation change, and velocity products derived from satellite data in the Glaciers_cci project // Remote Sensing of Environment. 2017. № 203. – PP. 256-275. ISSN 0034-4257 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.038>

Talchabhadel R., Nakagawa H., Kawaike K., Yamanoi K., Thapa R.B. Assessment of vertical accuracy of open source 30m resolution space-borne digital elevation models // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2021. № 12:1. – PP. 939-960. DOI: 10.1080/19475705.2021.1910575

Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. (2020). Landsat 8-9 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-2, Collection 2 [dataset]. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6>. ISSN: 2327-6932 (online) (Landsat product ID: LC08_L2SP_153031_20230814_20230819_02_T1)

ОХАНГАРОН ДАРЁ ҲАВЗАСИ МУЗЛИКЛАРИ

**С.С. СУВОНҚУЛОВ^{1,2}, А.А. НИ¹, Л.М. КАРАНДАЕВА², Т.И. ХИСМАТУЛЛИН¹,
Г.Б. ЗУЛПИХАРОВ¹**

¹ Х.М. Абдуллаев номидаги Геология ва геофизика институти, ssarkorbek@gmail.com

² Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

Аннотация. Дала тадқиқот ишлари давомида Охангарон дарёси ҳавзасида шаклланган 9 та кичик музликлар тадқиқ этилди. Мазкур музликларнинг учтасининг кўрсаткичлари 1978 йилги музликлар каталогида келтирилган. Мақолада ушибу учта музлик ҳақида янгиланган, ҳамда қолган олтита музлик ҳақида маълумотлар илк марта тақдим этилган. Уларнинг жойлашуви, морфологик ва морфометрик параметрлари: узунлиги, майдони, қуви ва юқори нуқталарининг баландлиги ва бошқалар тавсифланган. Музликларнинг сув захиралари эмтирик формулалар асосида ҳисобланган. Дала ва камерал тадқиқотлар натижаларига кўра, Охангарон дарёси ҳавзасида майдони $0,01 \text{ km}^2$ дан ортиқ, умумий майдони $0,713 \text{ km}^2$, сув захираси ҳажми $0,017 \text{ km}^3$ га тенг бўлган тўйқизма музлик мавжуд.

Калит сўзлар: Охангарон дарёси ҳавзаси, кичик музлик, морфологик ва морфометрик кўрсаткичлар, рақамли баландлик модели, ГИС.

GLACIERS OF THE AKHANGARAN RIVER BASIN

**S.S. SUVANKULOV^{1,2}, A.A. NI¹, L.M. KARANDAEVA², T.I. XISMATULLIN¹,
G.B. ZULPIXAROV¹**

¹ Institute of Geology and Geophysics named after H.M. Abdullaev, ssarkorbek@gmail.com

² Hydrometeorological Research Institute

Abstract. During field studies in the Akhangaran River basin, nine small glaciers researched. Three of them were described in the Catalogue of Glaciers of USSR for 1978. The article provides renewed information on the aforementioned three glaciers, and the information for the remaining six glaciers is provided for the first time. This includes maps with their locations, as well as the description of their morphological and morphometric parameters: length, area, heights of the lower and the upper ends, etc., and calculations of the water reserves stored in the glaciers. Based on the results of field and office studies, there has been established the presence of 9 glaciers with an individual area of more than 0.01 km^2 in the Akhangaran River basin, with a total area of 0.713 km^2 , and a water reserve of approximately 0.017 km^3 .

Keywords: *Akhangaran river basin, small glacier, morphological and morphometric parameters, digital elevation model, GIS.*

REFERENCES

- Glazyrin G.E., Shchetinnikov A.S. Sovremennoe i vozmozhnoe budushchee izmenenie oledeneniya Zapadnogo Tyan-Shanya* [Current and possible future changes in glaciation of the Western Tien-Shan] // Trudy SARNIGMI, 2001. – Vol. 161(242). – PP. 5-14. (in Russian)
- Glazyrin G.E. Gornyye lednikovyye sistemy, ikh struktura i evolyutsiya* [Mountain glacial systems, their structure and evolution]. – L: Gidrometeoizdat, 1991. – 102 p. (in Russian)
- Erasov N.V. Metod opredeleniya ob'yoma gornykh lednikov* [Method for determining the volume of mountain glaciers] // Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy. Khronika, obsuzhdeniya, 1968. – Vol. 14. – PP. 307-308. (in Russian)
- Kalesnik S.V. Ocherki glyatsiologii* [Essays on glaciology]. – M.: Geographgiz, 1963. – 551 p. (in Russian)
- Kamalov B.A. Sovremennoye oledeneniye i stok s lednikov v basseyne Syrdari* [Modern glaciation and runoff from glaciers in the Syrdarya basin] // Trudy SARNIGMI, 1974. – Vol 12 (93). – 77 p. (in Russian)
- Konovalov V.G. Raschet i prognoz tayaniya lednikov Sredney Azii* [Calculation and forecast of melting glaciers in Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 230 p. (in Russian)
- Konovalov V.G. Tayaniye i stok s lednikov v basseynakh rek Sredney Azii* [Melting and runoff from glaciers in river basins of Central Asia]. – L: Gidrometeoizdat, 1985. – 237 p. (in Russian)
- Korzhenevsky N.L. Katalog lednikov Sredney Azii* [Catalog of glaciers of Central Asia]. – Tashkent, 1930. – 200 p (in Russian)
- Kudishkin T.V., Tarasov Yu.A., Yakovlev A.V. Izmenenie oledeneniya rechnix basseynov s preobladaniem malix lednikov vo vtoroy polovine XX nachale XI veka* [Changes in glaciation of river basins with the predominance of small glaciers in the second half of the 20th - early 21th century] // Voprosi geografii i geoekologii. №4. –Almati, 2014 goda. – PP 45-54. (in Russian)
- Kuzmichenok V.A. Statisticheskiye issledovaniya geometrii dolinnykh lednikov Kyrgyzstana* [Statistical studies of the geometry of valley glaciers in Kyrgyzstan] // Materialy glaciologicheskikh issledovaniy, 2006.– Vol 100, – PP 80–86. (in Russian)
- Lesnik Yu.N. Protsess ablyatsii i zhidkiy stok lednikov Sredney Azii. Avtoreferat dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk 11.00.07* [Ablation process and liquid runoff from glaciers in Central Asia. Abstract of thesis. for the degree of candidate of geographical sciences] // AN SSSR. In-t geografii. – Moskva, 1975. – 33 p (in Russian)
- Materialy po izucheniyu oledeneniya gor Sredney Azii* [Materials on the study of glaciation of the mountains of Central Asia]. – Tashkent, 1927. – 144 p. (in Russian)
- Macheret Yu.Ya., Cherkasov P.A., Bobrova L.I. Tolshchina i obyem lednikov Dzhungarskogo Alatau po dannym aeroradiozondirovaniya* [Thickness and volume of glaciers of the Dzhungar Alatau according to aerial radio sounding data] // Materialy glaciologicheskikh issledovaniy, 1988. – Vol. 62. – PP. 59-71. (in Russian)
- Nikitin S.A., Vesnin A.V., Osipov A.V., Iglovskaya N.V. Raspredeleniye zapasov lda v Severo-Chuyskom khrebe Tsentral'nogo Altaya po dannym radiozondirovaniya* [Distribution of ice reserves in the North Chuysky ridge of Central Altai according to radio sounding data] // Materialy glaciologicheskikh issledovaniy, 2001. – Vol. 90. – PP 107-111. (in Russian)
- Oledeneniye Pamiro-Alaya* [Glaciation of the Pamir-Alai]– M.: Nauka, 1993. – 256 p (in Russian)
- Oledeneniye Tyan-Shanya* [Glaciation of the Tien Shan] – M., 1995. – 234 p. (in Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Katalog lednikov SSSR* [Surface water resources of the USSR: Catalogue of glaciers of the USSR] / T. 14. Srednyaya Aziya. Vol. 1. Syrdarya. Ch. 3. Basseyn pravykh pritokov r. Naryna nizhe ustya r. Kokomerena [№ 14. Central Asia. Issue 1. Syr Darya. Part 3.

Basins of the right tributaries of the Naryn River below the mouth of the Kökömeren River] / Maksimov N.V., Fateev V.P., Maksimov E.V., Zakharyina N.N. – L: Gidrometeoizdat, 1978. – 56 p. (in Russian)

Shchetinnikov A.S. Ledniki basseyna reki Pskem [Glaciers of the Pskem River basin]. – L: Gidrometeoizdat, 1976. – 120 p. (in Russian)

Shchetinnikov A.S. Oledeneniye Gissaro-Alaya [Glaciation of Gissar-Alai]. – L: Gidrometeoizdat, 1981. – 119 p. (in Russian)

Shchetinnikov A.S. Morphology and regime of Pamir-Alai glaciers. [Morfologiya i rejim lednikov Pamiro-Alaya] – Tashkent. SARNIGMI, 1998. – 219 p. (in Russian)

Shchetinnikov A.S., Yakovlev A.V. Sostav i funktsionalnyye vozmozhnosti banka dannykh «Ledniki» na PEVM [Composition and functionality of the “Glaciers” data bank on a PC] // Trudy SANIGMI, 2000. – Vol.153 (234). – PP. 167-178. (in Russian)

Shultz V.L. Tayaniye snezhnikov v gorakh Sredney Azii [Melting snowfields in the mountains of Central Asia]. – Tashkent: Izd-vo Akad. nauk UzSSR, 1956. – 252 p. (in Russian)

УДК: 556.16:551.58

ИҚЛИМ ЎЗГАРИШИ ШАРОИТИДА ФАРГОНА ВОДИЙСИ ДАРЁЛАРИ ОҚИМИНИНГ ШАКЛЛАНИШ ХУСУСИЯТЛАРИ

Н.Х. ОЛИМЖОНОВА¹, Д.М. ТУРҒУНОВ^{1*}, Р.Ю. МАХАМАДАЛИЕВ²

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, nodirakarimovna@mail.ru, turgunovd1987@gmail.com

² Мирзо Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, maxamadaliyevr@mail.ru

Аннотация. Мазкур тадқиқот ишида асосий эътибор иқлим ўзгариши шароитида Фаргона водийси дарёлари оқимини миқдорий баҳолаш, дарёлар оқимини характерли йиллар давомида тақсимланиши ва йиллараро ўзгарувчалигини статистик таҳлил қилишига қараштади. Ишда Фаргона водийсига оқиб тушувчи 14 та дарёларнинг асосий гидрологик кўрсаткичлари ҳисобланди. В.Л.Шульц таснифи бўйича дарёларнинг тўйинши типлари аниқланди ҳамда Шульц коэффициентининг йиллараро ўзгариши ўрганилди. Шунингдек, дарёлар ўртacha йиллик ва ойлик оқимининг вариация коэффициентлари статистик таҳлил қилинда. Дарёлар оқимининг йил давомида мавсумлар бўйича тақсимланиши миқдорий баҳоланди.

Калит сўзлар: дарёлар оқими, дарё ҳавзаси, сув тўплаши майдони, дарёларнинг гидрологик режими, дарёларнинг тўйинши манбалари, Шульц коэффициенти, вариация коэффициенти.

Кириш. Марказий Осиё давлатлари иқтисодиётининг жадал ривожланиб бориши, аҳоли сонининг ортиб бориши сув ресурсларига бўлган талабни ҳам ортиб боришига сабаб бўлмоқда. Бу эса, ўз навбатида, давлатларнинг нафақат қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришига, балки иқтисодиёт тармоқларининг сувдан фойдаланувчи (гидроэнергетика, рекреация) ва сув истеъмол қилувчи (кимё саноати, рангли металлургия, енгил саноат, озиқ-овқат саноати, коммунал-маишӣ хизмат кўрсатиш) барча соҳалари фаолиятига ҳам ўта салбий таъсир кўрсатади.

Сўнгги йилларда кечётган глобал иқлим ўзгариши шароитида арид, яъни қуруқ иқлимли мамлакатимизда Фаргона водийсими ўраб турган Олой ва Туркистон ҳамда Чотқол ва Қурама тоғ тизмаларидан шаклланадиган дарёларнинг ўрни бекиёсдир. Фаргона водийсига оқиб тушувчи дарёлар оқимининг асосий қисми қўшни давлатларда

* Масъул муаллиф: turgunovd1987@gmail.com, тел.: +998 90 903-58-88

шаклланиб, улар қуи оқимдагина Ўзбекистон худудига кириб келади. Бу ҳолат Фарғона водийси дарёлари оқими шаклланиш хусусиятларини, уларнинг йиллараро ўзгарувчанлиги ва ҳарактерли йиллар давомида тақсимланишини чуқурроқ ўрганишни талаб этади.

Фарғона водийсида шаклланадиган сув ресурсларини ўрганишга оид илк тадқиқотлар И.А.Ильин ва М.Н.Болшаков томонидан амалга оширилган. Булардан ташқари, А.П.Шеглова ва Д.Й.Юсуповаларнинг Туркистон тизмасининг шимолий ёнбағридан оқиб тушадиган дарёларнинг ўртача йиллик оқимини ўрганишга бағишиланган илмий ишларини қайд этиш лозим. Бугунги кунда ушбу йўналишда ЎзМУ нинг Куруқлик гидрологияси кафедраси профессор ўқитувчилари ҳамда Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти олимлари ушбу йўналишда тадқиқот ишларини давом эттироқдалар.

Юқоридаги тадқиқотларни Фарғона водийси дарёлари оқими ўзгарувчанлигини ҳамда ҳарактерли йиллар давомида тақсимланишини кам сувли йиллар шаклланиш нуқтаи назаридан баҳолаш натижалари билан тўлдириш **долзарб** масалаларидан бири ҳисобланади.

Мазкур тадқиқот ишининг асосий **максади** Фарғона водийси дарёлари оқими шаклланиш хусусиятларини ўрганиш ва дарёлар оқими ўзгарувчанлигини ҳамда ҳарактерли йиллар давомида тақсимланишини кам сувли йиллар шаклланиш нуқтаи назаридан баҳолашдан иборат.

Ишда **тадқиқот обьекти** сифатида Фарғона водийсида шаклланадиган 14 та дарёлар танланди. Мазкур дарёларнинг ҳарактерли йиллар давомида тақсимланиши ва йиллараро ўзгарувчанлигини статистик баҳолаш ишнинг **предметини** белгилайди.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Фарғона вилояти ва унга туташ худудлар серсув дарё ва сойларга анча бой. Улар ботиқни ўраб турган тоғ тизмаларидан бошланиб, нафақат водий худудини, балки Ўзбекистон ва Қозоғистоннинг катта қисмини сув билан таъминлайди. Ботиқнинг ўраб турган тоғ ёнбағирларидан оқиб тушадиган катта ва кичик дарё ҳамда сойларнинг умумий сони 6500 дан зиёдроқни ташкил этади [Ильин, 1959]. Дарё ва сойларнинг аксарият қисми Олой тоғларида ва жуда кам қисми Қурама тоғларига тўғри келади.

Сирдарёнинг Фарғона водийсидаги ирмоқларини уларнинг гидрографик аломатлари ва оқим режими ҳарактерларига кўра уч группага бўлиш мумкин:

- 1) Олой ва Туркистон тоғ тизмаларининг шимолий ён бағирларидан оқиб тушадиган дарёлар;
- 2) Чотқол ва Қурама тоғ тизмасининг жануби-шарқий ён бағридан оқиб тушадиган дарёлар;
- 3) Фарғона тоғ тизмасининг жануби - ғарбий ён бағридан оқиб тушадиган дарёлар.

Мазкур тадқиқотда Фарғона водийсига оқиб тушувчи 14 та дарёлардаги ўртача ойлик ва ўртача йиллик сув сарфлари ҳақидаги маълумотлар тўпланди. Тўпланган маълумотлар турли йилларни қамраб олган. Бунинг асосий сабаби, ўрганилаётган дарёлар орасида Сўх, Кўксу, Фовасой ва Чодоқсой дарёларида гидрологик кузатишлар бугунги кунгача узлуксиз давом эттирилмоқда. Қолган дарёлардаги кузатишлар турли йилларда якунланган (1-жадвал).

Маълумки, В.Л.Шульц таснифида Ўрта Осиё тоғ дарёлари тўйиниш шароитларига кўра қуидаги 4 тўрт гуруҳга бўлинади: 1) музлик-қор ($\delta \geq 1,00$); 2) қор-музлик ($0,99 \geq \delta \geq 0,26$); 3) қор сувлари ($0,27 \geq \delta \geq 0,18$); 4) қор-ёмғир ($0,17-0,00$) сувларидан тўйинадиган дарёлар [Шульц, 1965].

Таъкидлаш лозимки, Фарғона водийсида 1- ва 2-турга мансуб дарёлар тўйиниш манбаларининг миқдорий қийматлари ҳаво ҳарорати таъсирида ўзгариб туради. Масалан,

ёзги ҳаво ҳароратининг ортиши туфайли дарё ҳавзасидаги мавжуд музликларнинг эриши жадаллашади. Натижада, дарёлар оқимида музлик сувларининг улуши ортиб борса, қор сувларининг хиссаси камайиши мумкин. Бир сўз билан айтганда, маълум йилдаги гидрометеорологик шароитга боғлиқ ҳолда, дарёларнинг тўйиниш тури ўзгариши мумкин. Худди шу каби ҳолат, 3- ва 4-турга киравчи дарёларда ҳам кузатилади.

Тадқиқотда дарёларининг тўйиниш манбалари В.Л.Шульц таснифи бўйича аниқланди (1-жадвал). Шунингдек, дарёлар учун ҳисобланган Шульц коэффициентларининг йиллараро ўзгариши ўрганилди (1-расм).

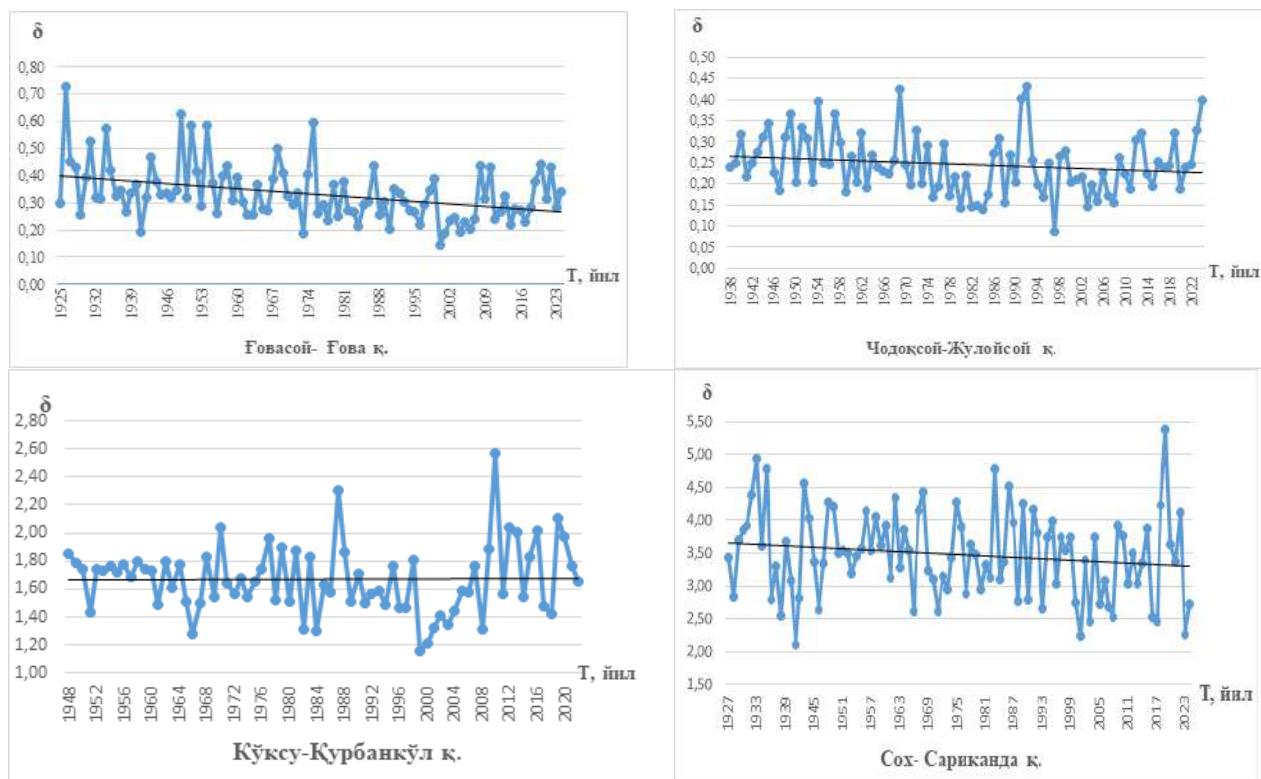
1-жадвал
Фаргона водийси дарёларнинг асосий гидрологик кўрсаткичлари
Таблица 1
Основные гидрологические показатели рек Ферганской долины
Table 1
Main hydrological indicators of the rivers of the Fergana Valley

T/p	Дарё–кузатиш жойи	Кузатиш йиллари	H, м	F, км ²	Q, м ³ /с	C _v	δ	Тўйиниш типи
<i>Олой ва Туркестон тоз тизмаларининг шимолий ён бағирларидан оқиб тушадиган дарёлар</i>								
1	Сўх – Сариканда қ.	1927-2024	3480	2480	45,3	0,15	3,5	Музлик-кор
2	Исфайрамсой – Учқўрғон қ.	1926-1975	3240	2220	21,6	0,15	1,42	Музлик-кор
3	Исфара – Ташқурғон қ.	1929-1980	3170	1560	14,6	0,15	1,64	Музлик-кор
4	Кўксу(Курбонкўл) – қўйилиши	1948-2022	3030	174	2,5	0,15	1,66	Музлик-кор
5	Окбура – Тулекен қ.	1939-1975	3030	2430	21,3	0,17	1,41	Музлик-кор
6	Оксув – Дазгон	1950-1986	2800	712	3,8	0,17	2,4	Музлик-кор
7	Шохимардон – Паульган қ.	1925-1975	2620	1300	9,7	0,10	1,23	Музлик-кор
8	Ходжибақирган – Андархон қ.	1946-1995	2420	1740	10	0,16	2	Музлик-кор
<i>Чотқол ва Қурама тоз тизмасининг жануби-шарқий ён бағридан оқиб тушадиган дарёлар</i>								
9	Подшоота – Тосту д.қ.	1934-1975	2830	366	6,0	0,28	0,65	Қор-музлик
10	Коссонсой – Қизилтўқай қ.	1968-1990	2560	1130	6,7	0,43	0,36	Қор-музлик
11	Ғовасой – Ғова қ.	1925-2024	2460	657	6	0,35	0,33	Қор-музлик
12	Чодоқсой – Жулойсой д.қ.	1938-2024	2370	350	3,7	0,43	0,25	Қор сувлари
13	Урюқтисой – қўйилиши	1947-1990	2180	116	0,34	0,65	0,37	Қор-музлик
<i>Фаргона тоз тизмасининг жануби - ғарбий ён бағридан оқиб тушадиган дарёлар</i>								
14	Майлисув – Қайроғоч қ.	1926-1990	2400	530	9,8	0,31	0,41	Қор-музлик

Изоҳ: H – дарё ҳавзасининг ўртача баландлиги, м; F – ҳавза майдони, км²; Q – сув сарфи, м³/с; C_v – вариация коэффициенти; δ – Шульц коэффициенти.

Примечание: H – средняя высота речного бассейна, м; F – площадь бассейна, км²; Q – расход воды, м³/с; C_v – коэффициент вариации; δ – коэффициент Шульца.

Note: H – average elevation of the river basin, m; F – basin area, km²; Q – water discharge, m³/s; C_v – variation coefficient; δ – Schulz coefficient.



1-расм. Шульц коэффициентининг йиллараро тебраниши

Рис. 1. Межгодовые колебания коэффициента Шульца

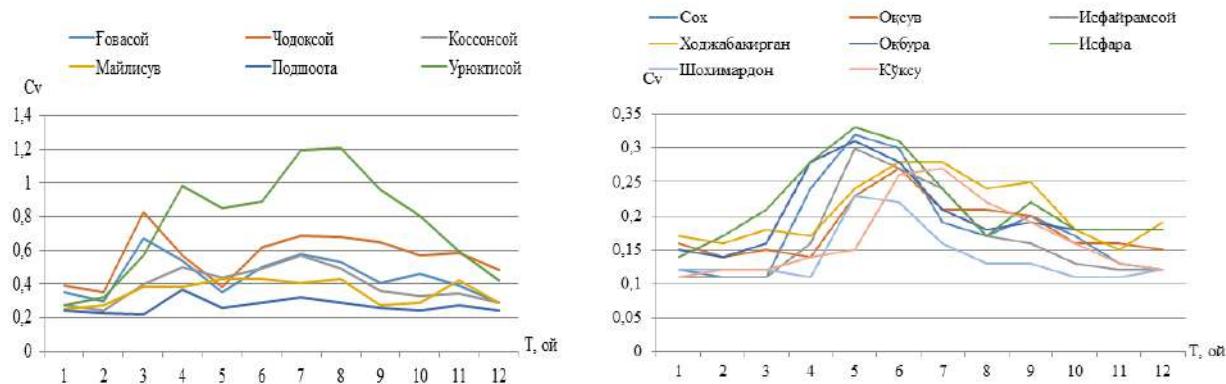
Fig. 1. Interannual fluctuations of the Schultz coefficient

Бутунжаҳон метеорология ташкилотининг маълумотларига кўра, 2010-2020 йиллар оралиғи энг иссиқ 10 йиллик сифатида қайд этилган. Бу ҳолат дарёлар оқими шаклланишига ўз таъсирини кўрсатмоқда. Масалан, юқоридаги графиклардан кўриниб турганидек, В.Л.Шульц таснифи бўйича музлик-кор сувлари ҳисобига тўйинувчи Сўх ва Кўксу дарёлари учун ҳисобланган Шульц коэффициентларининг йиллик қийматлари сўнгти 10 йилликда (2010-2020 й.) кескин ўзгариб бормоқда. Бунинг асосий сабабини ҳаво ҳароратининг ортиши натижасида Сўх ва Кўксу дарёлари ҳавзаларида мавжуд музликлар, доимий қор қопламлари эришининг жадаллашуви билан изоҳлаш мумкин. Бу эса ўз навбатида дарёлар оқимини йиллараро меъёrlаштиради ва натижада, дарёларда кам сувли йиллар чуқурлашмайди. Бироқ, мазкур гидрометеорологик жараён тоғ музликлари мавжуд бўлмаган ёки уларнинг улуши кам бўлган Фовасой ва Чодоқсой каби дарёларда сув ресурслари тақчиллигининг янада ортишига олиб келади.

Тадқиқотда Фарғона водийсига оқиб тушувчи дарёлар ўртача ойлик оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентлари (C_V) ҳисобланди ҳамда C_V қийматларининг йил давомида ўзгариши ўрганилди (2-расм).

Чотқол-Қурама тоғ тизмаларининг жануби-шарқий ён бағирларидан оқиб тушувчи асосий дарёлар ўртача йиллик оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентлари 0,28-0,47 оралиғида ўзгариши. Урюктисой ҳавзасининг ўртача баландлиги энг кичик (2180 м.) бўлганлиги боис, дарё оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентининг қиймати юқори бўлди (0,65). График таҳлилиниң кўрсатишича, Чотқол ва Қурама тоғ тизмасининг

жануби-шарқий ён бағридан оқиб тушадиган асосий дарёлар ўртача ойлик оқими учун хисобланган C_V қийматларининг энг юқори кўрсаткичлари асосан март-апрель ойларига тўғри келади (2-расм).



2-расм. Дарёлар ўртача ойлик оқими ўзгарувчанлик коэффициентининг ийл давомида тақсимланиши

Рис. 2. Распределение коэффициента вариации среднего месячного стока рек в течение года

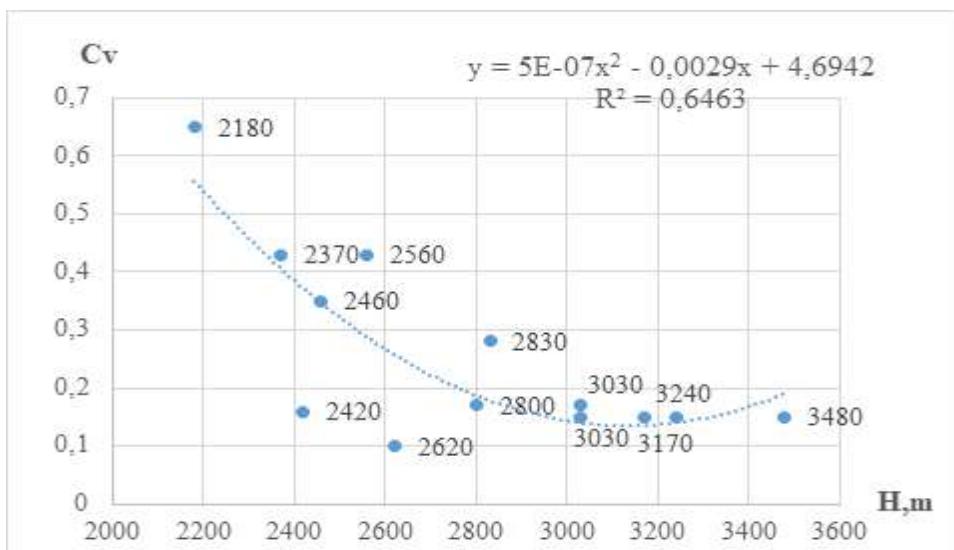
Fig. 2. Distribution of the coefficient of variation of the average monthly river runoff during the year

Таъкидлаш лозимки, Фарғона тоғ тизмасидан оқиб тушувчи Майлисув дарёсининг ойлик ўзгарувчанлик коэффициентлари 0,25-0,40 оралиғида ўзгаради. Бу дарёда максимал оқим эртароқ, кўпинча июнь ойида оқиб ўтади, сувнинг кўпайиши эрта – март ойида бошланади, энг минимал оқим эса одатда декабрь-февраль ойларида кузатилади.

Олой-Туркистан тоғ тизмаларининг шимолий ёнбағирларидан оқиб тушадиган дарёлар ўртача ойлик оқими учун хисобланган C_V қийматларининг энг юқори кўрсаткичлари асосан май-июнь ойларига тўғри келади. Сув йиғиши майдонлари баланд бўлганлиги ва доимий музлик-қор сувларидан тўйинганлиги сабаби бу дарёларда оқиб ўтадиган сув миқдори уйилдан бу йилга кам ўзгаради. Ушбу дарёларда мангур қор ва музликларнинг эриши хисобига тўлинсув даври август ойигача чўзилади.

Юқоридаги таҳлиллардан хулоса қилган ҳолда, ишда дарёлар оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентлари билан улар ҳавзаларининг ўртача баландликлари орасидаги боғланиш ўрганилди (3-расм).

Графикдан кўриниб турибдики, дарё ҳавзасининг ўртача баландлиги юқори бўлган дарёларда ўзгарувчанлик коэффициенти кичик қийматларда бўлади. Масалан, Олой ва Туркистан тоғ тизмасидан оқиб тушувчи дарёлар сув тўплаш майдонларининг асосий қисми нивал ҳудудларда (2500-3500 м) жойлашганлиги боис, ушбу дарёларнинг тўйинишида музлик-қор сувлари асосий роль ўйнайди. Бошқача айтганда, музлик-қор сувлари дарёлар оқимини меъёрлаштиради, натижада улар йиллик оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентлари 0,10-0,17 оралиғида ўзгаради.



3-расм. Дарёлар оқимининг ўзгарувчанлик коэффициентлари билан улар ҳавзаларининг ўртача баландликлари орасидаги боғланиш

Рис. 3. Зависимость коэффициентов вариации стока рек от средних высот их бассейнов

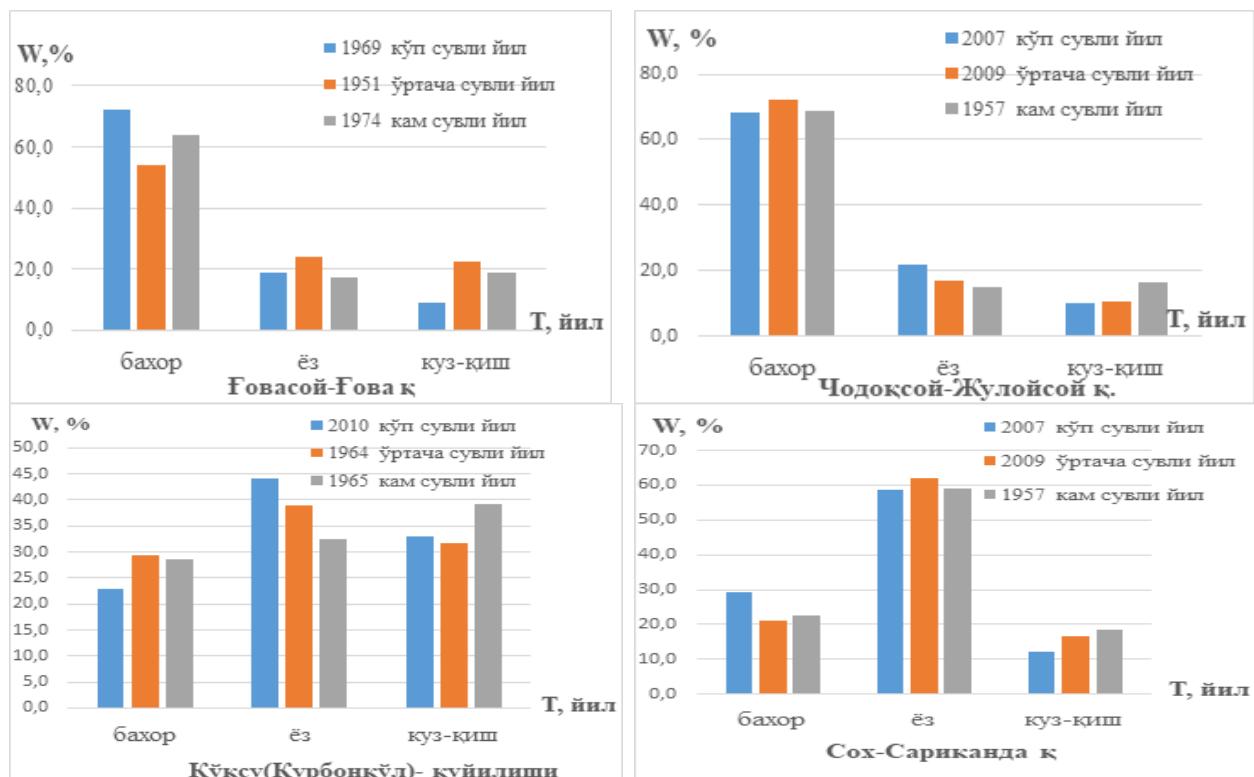
Fig. 3. The dependence of the coefficients of variability of river flows on the average elevations of their basins

Фарғона водийси дарёларининг ўзига хос хусусиятлари улар оқимининг йил давомида фасллар бўйича тақсимланишида ҳам яққол номоён бўлади (4-расм). Чотқол ва Қурама тоғ тизмаларининг жануби-шарқий ён бағирларидан оқиб тушувчи дарёлар асосий оқими (50-60 фоиз) баҳор мавсумида оқиб ўтса, Олой ва Туркистон тизмаларининг шимолий ён бағирларидан оқиб тушадиган дарёларнинг асосий оқими ёз мавсумида (60-70 фоиз) оқиб ўтади.

Чотқол ва Қурама тоғ тизмалари дарёларида оқимнинг бундай тақсимланишига асосий сабаб, дарёлар мавсумий қорлар ҳисобига тўйинишидир. Ҳавза майдонлари нисбатан паст жойлашганилиги сабабли эрта баҳорда кун исиши билан мазкур дарёларда сув миқдори ортиб боради.

Олой ва Туркистон тизмаларининг шимолий ён бағирларидан оқиб тушадиган Сўх дарёсида кўп сувли 2007 йилда йиллик оқимнинг 59 фоизи ёз ойларида оқиб ўтган. Дарёда 1957 йилнинг куз-киш мавсумида 19 фоиз оқим хосил бўлган, бу миқдор кўп сувли 2007 йилдагига нисбатан 7 фоизга ортиқ. Оқимнинг бундай тақсимланиши дарёда 1957 йилни кам сувли бўлишини таъминлаган.

Хуноса. Фарғона водийси Ўзбекистоннинг аҳоли энг зич яшайдиган ва суғорма дехқончилик қадимдан ривожланган ҳудудларидан бири ҳисобланади. Мазкур тадқиқот иши Фарғона водийси дарёлари оқимини миқдорий баҳолаш ва улар гидрологик режимидағи ўзгаришларни аниқлашга бағищланган бўлиб, унинг натижалари иқлим ўзгариши шароитида Фарғона водийсида сув ресурсларидан режали фойдаланиш, суғориш тизимларини лойиҳалаш, куриш ва самарали эксплуатация қилишга қаратилган муҳим қарорларни қабул қилишда муайян даражада хизмат қиласади.



4-расм. Дарёлар оқимини йил давомида мавсумлар бўйича тақсимланиши

Рис 4. Распределение стока рек по сезонам года

Fig. 4. Distribution of rivers flow by seasons of the year

Миннатдорчилик. Мақола муаллифлари мазкур ишни тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган Гидрометеорология илмий-тадқиқот интигути ходимларига ўзларининг миннатдорчиликларини билдирадилар.

Муаллифлар хиссаси. Н.Х. Олимжонова: мақоланинг ғояси, ҳисоблашларни бажариш, мақола матнини ёзиш, расмийлаштириш, Д.М. Тургунов: натижалар таҳлили, раҳбарлик, Р.Ю. Махамадалиев: методология, маълумотларни тўплаш, мақолани расмийлаштириш. Мақола муаллифлари қўллэзманинг нашрига тавсия этилган матни билан танишдилар ва ўз розиликларини билдирадилар.

АДАБИЁТЛАР

Ильин И.А. Водные ресурсы Ферганской долины. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 251 с.

Каримова Н.Х., АбдулРаҳим Г.М., Исмоилова Н.Б., Тургунов Д.М. Тўлинсув даври элементларининг метеорологик омилларга боғлиқлиги (Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзаси мисолида) / География ва Ўзбекистон табиий-ресурс салоҳиятини баҳолаш: Иқтидорли талабалар ва ёш олимларнинг илмий-амалий конференцияси материаллари. – Тошкент, 2016. – Б. 208-211.

Расулов А.Р., Ҳикматов Ф.Х., Айтбаев Д.П. Гидрология асослари. – Тошкент: Университет, 2003. – 342 б.

Тургунов Д.М., Сазонов А.А., Ҳикматов Ф.Х., Фролова Н.Л. Маловодья на горных реках Республики Узбекистан: причины и особенности // Вестник МГУ. Серия 5. География, 2020. № 1. – С. 23-34.

Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики

Узбекистан. – Ташкент: НИГМИ, 2000. – 252 с.

Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 695 с.

Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии. – Ташкент: Изд-во СамГУ, 1960. – 243 с.

Шульц В.Л., Машрапов Р. Ўрта Осиё гидрографияси. – Ташкент: Ўқитувчи, 1969. – 327 б.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА РЕК ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Н.Х. ОЛИМЖОНОВА¹, Д.М. ТУРГУНОВ¹, Р.Ю. МАХАМАДАЛИЕВ²

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, nodirakarimovna@mail.ru, turgunovd1987@gmail.com

² Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, maxamadaliyevr@mail.ru

Аннотация. Основное внимание в исследованиях уделено количественной оценке стока рек Ферганской долины и статистическому анализу распределения речного стока по характерным годам и его межгодовой изменчивости в условиях изменения климата. В работе рассчитаны основные гидрологические показатели 14 рек, впадающих в Ферганскую долину. По классификации В.Л.Шульца определены типы насыщенности рек и изучены годовые изменения коэффициента Шульца, а также был проведен статистический анализ коэффициентов вариации среднегодовых и месячных расходов рек. Количественно оценено сезонное распределение речного стока в течение года.

Ключевые слова: речной поток, речной бассейн, зона сбора воды, гидрологический режим рек, источники насыщения реки, коэффициент Шульца, коэффициент вариации.

FEATURES OF THE FORMATION OF THE FLOW OF RIVERS IN THE FERGANA VALLEY IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

N.Kh. OLIMJONOVA¹, D.M. TURGUNOV¹, R.Y. MAKHAMADALIEV²

¹ Hydrometeorological Research Institute, nodirakarimovna@mail.ru, turgunovd1987@gmail.com

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, maxamadaliyevr@mail.ru

Abstract. The main focus in this research is on the quantitative assessment of the flow of rivers in the Fergana Valley and the statistical analysis of the distribution of river flow by typical years and its inter annual variability in the context of climate change. The work calculates the main hydrological indicators of 14 rivers flowing into the Fergana Valley. According to the Schultz V.L. classification, the saturation types of rivers were determined and annual changes in the Schultz coefficient were studied. A statistical analysis of the variation coefficients of average annual and monthly river discharges was also carried out. The seasonal distribution of rivers flow during the year was quantitatively assessed.

Keywords: river flow, river basin, water collection area, hydrological regime of rivers, sources of river saturation, Schultz coefficient, coefficient of variation.

REFERENCES

Ilin I.A. Vodniye resursi Ferganskoy dolini. – L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 251 p. (in Russian)

Karimova N.X., AbdulRakhim G.M., Ismoilova N.B., Turg'unov D.M. Tolinsuv davri elementlarining meteorologik omillarga boglikligi (Chirchiq-Ohangaron havzasini misolida) [The dependence of elements of the flood period on meteorological factors (on the example of the Chirchik-Ahangaron River)] // Geografiya va Ozbekiston tabiiy-resurs salohiyatini baholash: Iqtidorli talabalar va yosh olimlarning ilmiy-amalii konferensiyasi materiallari. – Toshkent, 2016. – PP. 208-211. (in Uzbek)

- Rasulov A.R., Hikmatov F.X., Aytbayev D.P. Gidrologiya asoslari [Fundamentals of Hydrology].* – Toshkent: Universitet, 2003. – 342 p. (in Uzbek)
- Turgunov D.M., Sazonov A.A., Xikmatov F.X., Frolova N.L. Malovodya na gornix rekax Respublikni Uzbekistan: prichini i osobennosti [Low water levels in mountain rivers of the Republic of Uzbekistan: reasons and features] // Vestnik MGU. Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 2020, Vol 1. – PP. 23-34. (in Russian)*
- Chub V.Y. Izmenenie klimata i ego vliyanie na pripodnopecupniy potensial Pecpublikni Uzbekistan. [Climate change and its impact on the natural resource potential of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent: NIGMI, 2000. – 250 p. (in Russian)*
- Shults V.L. Reki Sredney Azii [Rivers of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1965. – 695 p. (in Russian)*
- Sheglova O.P. Pitaniye rek Sredney Azii [Feeding of rivers of Central Asia]. – Tashkent: Izd-vo SamGU, 1960. – 243 p. (in Russian)*
- Shults V.L., Mashrapov R. Orta Osiyo hidrografiyasi [Central Asian hydrography]. – Tashkent: Uqituvchi, 1969. – 327 p. (in Uzbek)*

УДК: (551.50+556.332.52)575.13

ИҚЛИМ ЎЗГАРИШИННИНГ СҮХ ЁЙИЛМАСИ ЕР ОСТИ СУВЛАРИ САТҲИГА ТАЪСИРИ

И.Р. СОЛИЕВ¹

¹ Наманган давлат университети, soliyeviqboljon7777@gmail.com

Аннотация. Мақола иқлим ўзгаришишининг Сүх ёйилмаси ер ости сувлари сатҳига таъсирини баҳолаши масалаларига бағишиланган. Ишда асосий эътибор Сүх ёйилмаси ҳудудидаги ер ости сувлари сатҳининг ҳаво ҳарорати, атмосфера ёғинлар ва дарё оқимидағи ўзгаришиларга боғлиқлигини ўрганишга қаратилган. Умумий маълумотлар иккى даврға – базавий иқлим давр (БИД, 1960-1991 йй.) ва жорий иқлим давр (ЖИД, 1991-2020 йй.) га ажратилған ҳолда таҳлил қилингандек, ишда ҳаво ҳарорати, атмосфера ёғинлари, дарёлар оқими ва ер ости сувлари сатҳининг фасллар бўйича ўзгаришилари ҳам баҳоланган.

Калит сўзлар: иқлим ўзгариши, Сүх ёйилмаси, ер ости сувлари, ҳаво ҳарорати, ёғин миқдори, дарё оқими, базавий иқлим давр, жорий иқлим давр, баҳолаши.

Кириш. Маълумки, иқлим ўзгариши бугунги қуннинг энг долзарб муаммоларидан бири ҳисобланади. Сўнгги йилларда тадқиқотчилар томонидан иқлим ўзгаришининг инсоният ҳаёти ва атроф-мухитга таъсирини кенг кўламли тадқиқ қилиш масалаларига алоҳида эътибор қаратиб келинмоқда. Бугунги кунда антропоген омиллар таъсирида глобал ҳарорат кескин ошиб бормоқда. Жумладан, БМТнинг Иқлим ўзгариши бўйича ҳукуматлараро эксперталар гуруҳи (IPCC) 1990 йилдаги биринчи баҳолаш ҳисботида глобал иқлим ўзгаришининг мавжудлиги ва унинг асосий сабабларидан бири инсон хўжалик фаолияти эканлигини кўрсатган эди. Кейинроқ 2001, 2007 йилларда эълон қилингандек ҳисботларда ҳам иқлим ўзгариши янада аниқроқ ва кенгроқ баён қилинди. IPCC нинг 2021 йилда эълон қилингандек ҳисботида XX аср охиридан бошлаб сезиларли даражада ошгани ва бу тенденсия кейинги йилларда ҳам давом этиб, 2030 йилга бориб глобал ҳароратнинг яна 1,5°C га кўтарилиши эҳтимоли юқори эканлиги таъкидланган.

¹ Масъул муаллиф: soliyeviqboljon7777@gmail.com тел.: +998 90 596-42-36

Илмий таҳлиллар шуни қўрсатмоқдаки, иқлим ўзгариши нафақат ҳарорат кўтарилиши, балки ёғин миқдорининг мавсумий ва географик тақсимланишида ҳам ўзгаришларни келтириб чиқармоқда [Камолов и др., 2015]. Иқлим ўзгариши кўплаб ҳудудларда хусусан, шимолий ва шарқий Африқада, Марказий Осиёнинг айрим кисмларида курғоқчиликка ва сув тақчиллигига сабаб бўлмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президенти Шавкат Мирзиёевнинг Бирлашган Миллатлар Ташкилотининг Иқлим ўзгариши бўйича конференциясидаги (COP28) нутқида иқлим ўзгаришининг салбий оқибатлари Орол фожиаси туфайли Марказий Осиёда янада жиддий сезилаётганлиги, минтақамизда ҳаво ҳароратининг ортиши натижасида музликлар майдонининг учдан бир қисми йўқолганлиги, ичимлик суви тақчиллиги, ҳаво ифлосланиши, қишлоқ хўжалиги ҳосилдорлиги пасайиши каби муаммолар тобора авж олиб бораётганлиги алоҳида таъкидлаб ўтилган. Шуларни эътиборга олган ҳолда иқлим ўзгариши шароитида ер усти ва ер ости сувлари режимидағи ўзгаришларни тадқиқ қилиш бугунги кундаги долзар масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистонда иқлим ўзгариши ва унинг минтақадаги сув ресурсларига таъсирини баҳолаш масалаларига қаратилган тадқиқотлар Т.А.Ососкова, Т.Ю.Спекторман, В.Е.Чуб [Ососкова, Спекторман, Чуб, 2008], М.Л.Арушанов [Арушанов, 2010], Б.А.Камолов [Камолов, 2013, 2015], Ф.Хикматов [Хикматов, Ососкова, Чуб, 2005; Хикматов ва бошқалар, 2024], Ю.В.Петров, Х.Т.Эгамбердиев, М.Алаутдинов, Б.М.Холматжанов [Петров ва бошқалар, 2010], Д.М.Турғунов [Хикматов, Турғунов, 2017], Э.А.Солиев [Солиев, 2008] ва бошқа олимлар томонидан амалга оширилган.

Бироқ юқорида номлари қайд этилган олимларнинг тадқиқотларида иқлим ўзгаришининг Фарғона водийси, хусусан Сўх ёйилмасидаги ер ости сувлари сатҳига таъсири масалалари алоҳида тадқиқот обекти сифатида кўриб чиқилмаган. Мазкур мақола айнан Сўх ёйилмасидаги ер ости сувлари сатҳининг иқлим илиши шароитидаги ўзгаришларни баҳолашга қаратилганлиги билан аввалги тадқиқотлардан фарқ қиласди.

Тадқиқот ишининг асосий **мақсади** иқлим ўзгаришининг Сўх ёйилмаси ҳудудидаги ер ости сувлари сатҳига таъсирини баҳолашдан иборат. Ишда кўзланган мақсадни амалга ошириш учун қўйидаги **вазифалар** белгилаб олинди ва ишда ўз ечимини топди.

1) Сўх ёйилмаси ҳудудида жойлашган Кўқон метеостанциясида кузатилган ҳаво ҳарорати, атмосфера ёғинлари ҳақидаги кўп йиллик метеорологик маълумотлар ва Сариканда гидрологик постида ўлчанган Сўх дарёси оқимининг кўп йиллик маълумотларини тўплаш ҳамда уларни бирламчи қайта ишлаш;

2) Сўх дарёси ҳавзасида жойлашган кузатув қудуқларидағи ер ости сувлари сатҳининг ўртача ойлик ва кўп йиллик қийматларини аниқлаш ва уларни таҳлил қилиш;

3) тўпланган маълумотларни ЖМТ томонидан тавсия этилган базавий (БИД, 1961-1990 йй.) ва жорий (ЖИД, 1991-2020 йй.) иқлимий даврлар бўйича ўзаро таққослаш;

4) ер ости сувлари сатҳидаги ўзгаришларни ҳудуддаги ҳаво ҳарорати, атмосфера ёғинлари ҳамда дарё оқимиға боғлиқлигини статистик баҳолаш.

Тадқиқот **объекти** сифатида Сўх ёйилмаси ҳудуди танлаб олинган. Тадқиқотнинг **предметини** эса иқлим ўзгариши шароитида Сўх ёйилмасидаги ер ости сувлари сатҳидаги ўзгаришларнинг метеорологик ва гидрологик омилларга боғлиқлигини баҳолаш ташкил қиласди.

Тадқиқот жараёнида Кўқон метеорология станциясида ўлчанган ҳаво ҳарорати ва атмосфера ёғинлари ҳамда Сўх дарёсининг Сариканда гидропостида ўлчанган сув сарфининг ўртача ойлик ва кўп йиллик маълумотларидан фойдаланилди. Шунингдек, ишда, Фарғона гидрогеология стансиясининг 21, 28, 258, 259 кузатув қудуқларида

1960-2020 йиллар оралиғида ўлчанган ўртача ойлик ва кўп йиллик ер ости сувлари сатҳи тўғрисидаги маълумотлардан ҳам фойдаланилган.

Тадқиқотда дастлаб, Қўқон метеостанциясида ҳаво ҳароратларининг фасли ўзгаришлари таҳлил қилинди. Таҳлиллар юқорида айтиб ўтилганидек, базавий ва жорий иқлимий даврлар учун амалга оширилди (1-жадвал).

1-жадвал

Қўқон метеостанциясида ҳаво ҳароратининг (t) фаслий ўзгаришлари (°C)

Таблица 1

Сезонные изменения температуры воздуха (t) на метеостанции Коканд (°C)

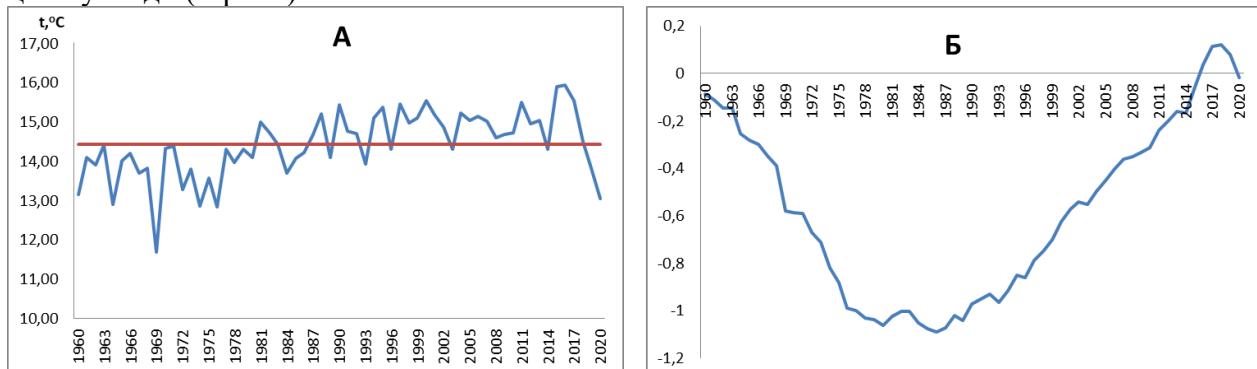
Table 1

Seasonal variations in air temperature (t) at the Kokand meteorological station (°C)

Даврлар	Фасллар				Йиллик
	Баҳор	Ёз	Куз	Қиши	
БИД (1961-1990 йй.)	15,67	26,53	13,67	0,83	14,0
ЖИД (1991-2020 йй.)	15,91	26,65	14,03	1,51	14,43
Фарқ (Δ=ЖИД-БИД)	0,24	0,11	0,36	0,68	0,43

Жадвал маълумотлари барча фаслларда Сўх ёйилмасининг марказий қисмida ҳаво ҳарорати БИДга нисбатан ЖИДда кўтарилиб бораётганини тасдиқлайди. Жумладан, ҳаво ҳарорати баҳорда $0,24^{\circ}\text{C}$ га, ёзда $0,11^{\circ}\text{C}$ га, кузда $0,36^{\circ}\text{C}$ га ва қиши фаслида $0,68^{\circ}\text{C}$ га ортиб бормоқда. Аввалги 30 йилликка нисбатан жорий 30 йилликдаги ўртача кўп йиллик ҳаво ҳарорати эса $0,43^{\circ}\text{C}$ га ортиб, унинг абсолют қиймати $14,43^{\circ}\text{C}$ ни ташкил қилган.

Бундан ташқари тадқиқотда, ўртача йиллик ҳаво ҳароратидаги ўзгаришларни аниқлаш мақсадида уларнинг хронологик ва фарқли интеграл эгри чизиқларини тузилди (1-расм).



1-расм. Қўқон метеостанциясида ҳаво ҳароратининг (t) хронологик ва фарқли интеграл эгри чизиқлари

Рис. 1. Хронологические и дифференциально-интегральные кривые температуры воздуха (t) на метеостанции Коканд

Fig. 1. Chronological and differential-integral curves of air temperature (t) at the Kokand meteorological station

Ҳаво ҳароратининг ўртача йиллик қийматлари асосида тузилган хронологик графиклар 1-расмнинг (А) чап томонида кўрсатилган. Хронологик графикни кўрсатишича БИДга нисбатан ЖИДда ўртача йиллик ҳаво ҳарорати кўтарилиб бормоқда. ЖИДда ҳаво ҳароратининг ўртачадан юқори бўлган йиллар сони ортиб бораётганини 1-расмнинг ўнг томонида (Б) келтирилган фарқли интеграл эгри чизиқлар графикига ҳам тасдиқлайди

(1-расм). ЖИДнинг охирги йилларида кузатилаётган ҳаво ҳароратининг пастлашини аномал совуқлар билан изоҳлаш мумкин.

Тадқиқотнинг кейинги босқичида, иқлим ўзгаришининг Сўх ёйилмаси худудидаги атмосфера ёғинларига таъсирини Кўқон метеостанциясида кузатилган ойлик ва йиллик ёғин миқдорлари таҳлилий натижаларидан кўрса бўлади. (2-жадвал).

2-жадвал

Кўқон метеостанциясида атмосфера ёғинларининг (Х) фаслий ўзгаришлари (мм)

Таблица 2

Сезонные изменения атмосферных осадков (Х) на метеостанции Коканд (мм)

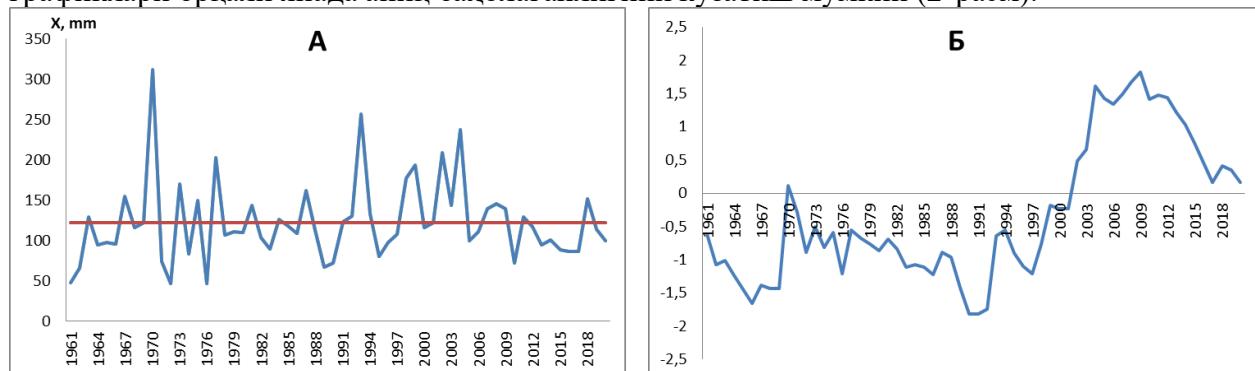
Table 2

Seasonal variations of atmospheric precipitation (X) at the Kokand meteorological station (mm)

Даврлар	Фасллар				Йиллик
	Бахор	Ёз	Куз	Киши	
БИД (1961-1990 й.и.)	41,26	11,78	22,75	38,79	114,58
ЖИД (1991-2020 й.и.)	48,19	14,28	25,39	43,73	131,59
Фарқ (Δ=ЖИД-БИД)	6,93	2,50	2,64	4,94	17,01

Жадвал маълумотлари ЖИДда барча фаслларда атмосфера ёғинлари БИДга нисбатан ортиб бораётганини тасдиқлайди. Энг катта ўзгариш баҳор фаслига тўғри келиб, мазкур фаслда БИД ва ЖИД орасидаги фарқ 6,93 мм га тўғри келади. Жорий иқлимий даврда йиллик ёғин миқдори эса 17 миллиметрга ортган.

Йиллик атмосфера ёғинлардаги ўзгаришларини Кўқон метеостанциясида ўлчанган йиллик ёғин миқдорининг хронологик (А) ва фарқли интеграл эгри чизиқлар (Б) графиклари орқали янада аниқ баҳолаганлигини кузатиш мумкин (2-расм).



2-расм. Кўқон метеостанциясида ўлчанган атмосфера ёғинларининг (Х) хронологик ва фарқли интеграл эгри чизиқлари

Рис. 2. Хронологические и дифференциальные интегральные графики измеренных атмосферных осадков на метеорологической станции Коканд

Fig. 2. Chronological and differential integral curves of measured atmospheric precipitation at the Kokand meteorological station

Ўртacha йиллик ёғин миқдорининг асосида тузилган хронологик график 2-расмнинг чап томонида (А) келтирилган. Хронологик графикни таҳлили БИДга нисбатан ЖИДда йиллик ёғин миқдорининг бироз кўпайганини тасдиқлайди. Йиллик ёғин миқдоридаги ўзгариш йўналишларини аниқлаш мақсадида 1961-2020 йиллар учун фарқли интеграл эгри чизиқлар графиги тузилди ва 2-расмнинг ўнг томонида (Б) кўрсатилди.

Бизга маълумки, фарқли интеграл эгри чизиқлар графиги ёрдамида атмосфера ёғинлари ўртачадан кўп ёки камлигини аниқлаш мумкин. График тузилган 1961-2020 йилларда ўртача йиллик атмосфера ёғинлари 122 миллиметрга тенг бўлган. Графикни кўрсатишча, атмосфера ёғинлари 1961-1966 йилларда ўртачадан кам, 1967-1970 йилларда ўртачадан кўп, 1971 йилдан 1990 йилга қадар ўртачадан кам, 1991 йилдан 2010 йилларга қадар ўртачадан кўп, 2011-2017 йилларда ўртачадан кам, 2018 йилдан кейинги шароитда ўртачадан кўпайиб борган. БИДнинг 30 йилидан 25 йилида атмосфера ёғинлари ўртачадан камайиб 5 йилида кўпайган. ЖИДнинг 30 йилдан 23 йилида атмосфера ёғинлари ортачадан кўп, 7 йилида кам бўлган. Умумий ҳолда ЖИДда атмосфера ёғинлари кўпайиб бораётганлигини таъкидлаш мумкин.

Сўх ёйилмасининг ер усти сувлари фаслий ва йиллик ўзгаришларни қуидаги 3-жадвалда ўз аксини топган.

Жадвал маълумотлари Сўх дарёси ўртача йиллик оқими жорий иқлим даврида базавий иқлим даврига нисбатан $7,38 \text{ m}^3/\text{s}$ га қўпайганлигини тасдиқлайди. Шунингдек, жадвалдан барча фаслларда дарё оқими қўпайиб бораётганлигини кўришимиз мумкин. Айниқса бу қўпайиш ёз фаслида яққол кўзга ташланади.

3-жадвал

Сўх дарёсида сув сарфларининг (Q) фасли ўзгаришлари (m^3/s)

Таблица 3

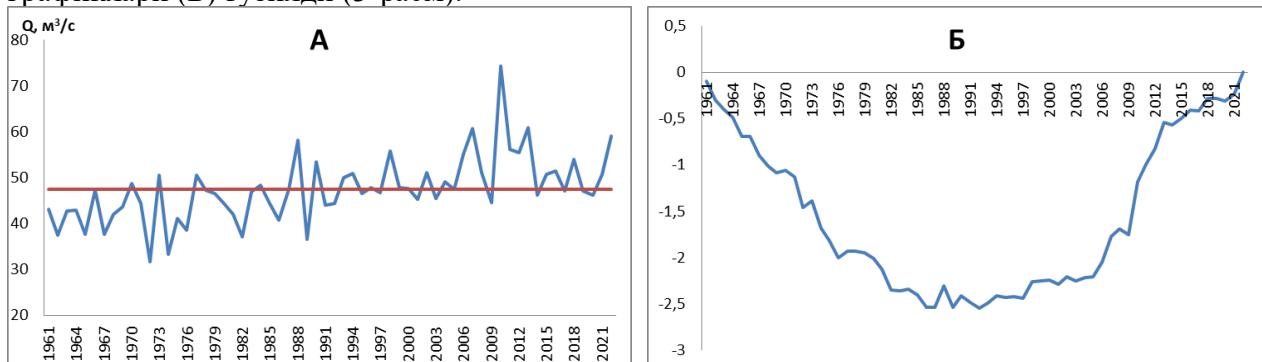
Сезонные изменения расхода воды (Q) в р. Сох ($\text{м}^3/\text{s}$)

Table 3

Seasonal fluctuations in water discharge (Q) in the Sokh River (m^3/s)

Даврлар	Фасллар				Йиллик
	Баҳор	Ёз	Куз	Қиши	
БИД (1961-1990 й.и.)	16,20	112,21	34,15	11,89	43,61
ЖИД (1991-2020 й.и.)	20,42	129,15	41,57	12,85	51,00
Фарқ (Δ=ЖИД-БИД)	4,22	16,93	7,42	0,95	7,38

Сўх дарёси оқимидағи ўзгаришларни аниқлаш мақсадида ўртача йиллик қийматлар асосида 1961-2020 йиллар учун хронологик (А) ва фарқли интеграл эгри чизиқлар графиклари (Б) тузилди (3-расм).



3-расм. Сўх дарёси ўртача йиллик оқимининг хронологик ва фарқли интеграл эгри чизиқлари

Рис. 3. Хронологические и дифференциальные интегральные графики среднегодового стока реки Сох

Fig. 3. Chronological and differential integral curves of the average annual flow of the Sokh River

Сўх дарёси ўртача йиллик оқимининг хронологик графиги 3-расмнинг чап томонида кўрсатилган. Графикдан кўриниб турибдики, базавий иқлим даври 1961-1990 йилларда дарё оқими ўртачадан камроқ 1991-2020 йилларда ўртачадан кўпроқ бўлган. Сўх дарёси оқимининг ўзгариш йўналишларини аниқлаш мақсадида тузилган фарқли интеграл эгри чизиқлар графиги 3-расмнинг ўнг томонида келтирилган. Фарқли интеграл эгри чизиқлар графиги ҳам юқоридаги фикрларни тасдиқлайди.

1961-2020 йиллар давомида Фарғона гидрогеология станциясининг 21, 28, 258, 259 кузатув қудукларидан олинган натижалар орқали Сўх ёйилмасининг ер ости сувлари сатҳидаги ўзгаришларни кузатиш мумкин. Юқоридаги кузатув қудукларидаги ер ости сувларининг ўртача ойлик сатҳи маълумотлари асосида фасли ўзгаришлари хисобланди (4-жадвал).

4-жадвал

Сўх ёйилмаси ҳудудида ер ости сувлари сатҳининг (h) фаслий ўзгаришлари (м)

Таблица 4

Сезонные изменения уровня подземных вод (h) на территории поймы реки Сох (м)

Table 4

Seasonal variations in groundwater level (h) in the Sokh floodplain area (m)

Даврлар Фасллар	БИД (1961-1990 йй.)	ЖИД (1991-2020 йй.)	Фарқ (Δ=ЖИД-БИД)
21-кузатув қудуғи			
Бахор	1,98	2,11	0,13
Ёз	2,97	2,70	-0,26
Куз	3,23	2,81	-0,42
Қиши	2,36	2,32	-0,03
Йиллик	2,64	2,51	-0,13
28-кузатув қудуғи			
Бахор	1,56	1,48	-0,08
Ёз	1,76	1,72	-0,04
Куз	2,01	1,86	-0,15
Қиши	2,00	1,71	-0,29
Йиллик	1,83	1,69	-0,14
258-кузатув қудуғи			
Бахор	97,15	94,81	-2,34
Ёз	99,63	97,77	-1,86
Куз	95,70	93,60	-2,09
Қиши	94,34	91,45	-2,90
Йиллик	96,71	94,16	-2,55
259-кузатув қудуғи			
Бахор	49,32	48,65	-0,67
Ёз	50,01	50,06	0,05
Куз	49,54	49,65	0,11
Қиши	49,21	48,54	-0,67
Йиллик	49,50	49,25	-0,25

Жадвал маълумотлари барча қузатув қудуқларида ер ости сувларининг ўртacha йиллик сатҳи нисбатан кўтарилаётганлигини тасдиқлайди. ЖИДда 258-қузатув қудуғида ўртacha йиллик ер ости сувлари сатҳи 2,55 метрга кўтарилиган. Барча фасллар ва ўртacha йиллик ер ости сувлари сатҳининг кўтарилиб бориши 258, 28-қузатув қудуқларида қузатилган. Ёйилма марказида жойлашган 21-қузатув қудуғида ер ости сувлари сатҳи баҳор фаслида, 259-қузатув қудуғида эса ёз фаслида пасайиш қузатилган. Сўх ёйилмаси худудида жорий иқлим даврида БИДга нисбатан ер ости сувлари сатҳи фасллар бўйича кўтарилиб бормоқда. Ёйилма худудида ер ости сувлари сатҳининг кўтарилиб бориши атмосфера ёғинлари ва Сўх дарёси оқимининг кўпайиши билан боғлиқлигини тасдиқлайди.

Ер ости сувлари сатҳининг ўзгариш йўналишларини аниқлаш мақсадида юқоридаги қузатув қудуқлари ўлчанган сув сатҳи ўртacha йиллик қийматлари асосида хронологик (А) ва фарқли интеграл эгри чизиқлар графиклари (Б) тузилди (4-расм).

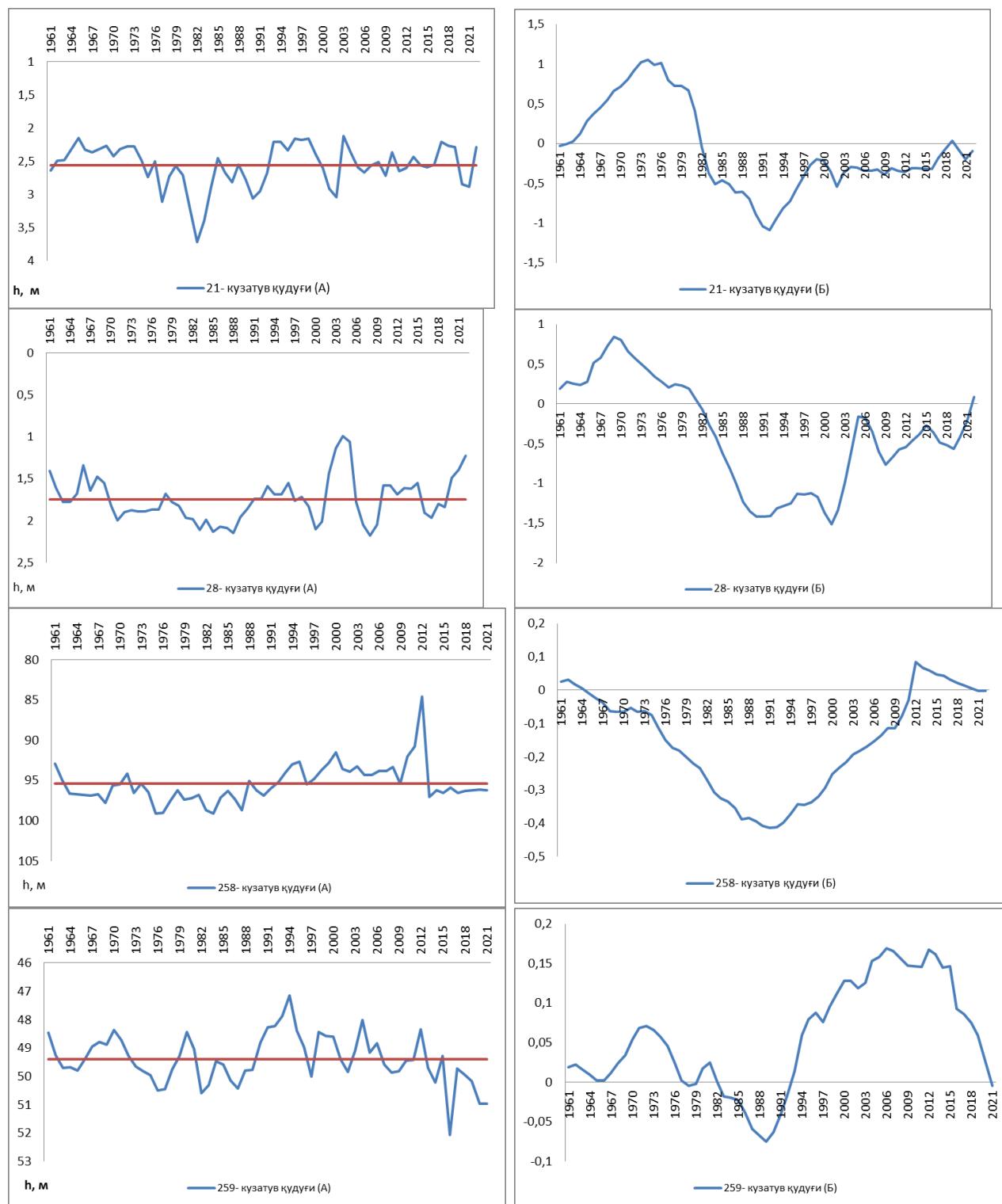
Хронологик графиклар 21, 28, 258 қузатув қудуқларида ер ости сувлари сатҳи жорий иқлим даврида БИДга нисбатан кўтарилиб бораётганлигини кўрсатади. Сўх ёйилмасининг юқори ўнг соҳилларида жойлашган 259-қузатув қудуғида ер ости сувлари сатҳи ЖИДнинг 1990-2012 йиллари давомида кўтарилиб борган. Мазкур даврнинг 1994 йилда қузатув қудуғининг ер ости сувлари сатҳи энг юқори 47,16 метрга кўтарилиган. 2013 йилдан кейинги шароитда ер ости сувлари сатҳи пастлаб боради ва 2016 йилга келиб сув сатҳи ер юзидан 52,08 метр пастга тушади. Бундай пастлаш ёйилманинг шу қисмида ер ости сувларидан фойдаланиш билан боғлиқ.

Ёйилманинг марказий қисмида жойлашган 21-қузатув қудуғининг хронологик графиги БИДнинг 30 йилидан 16 йилида ўртacha 2,40 метрдан баланд, 14 йилида ости сувлари сатҳи ўртacha 2,40 метрдан чукурда бўлганини кўрсатади. Ер ости сувлари сатҳи ўртачадан чукурда бўлган 14 йилнинг 12 йили 1977-1990 йиллар оралиғида қузатилган. Юқоридаги таҳлиллар Сўх ёйилмасининг марказий қисмида БИДнинг охирида ер ости сувлари сатҳи пастлаб борганлигини тасдиқлайди. ЖИДнинг 30 йилидан 12 йилида ер ости сувлари сатҳи ўртачадан пастда, 18 йилида ўртачадан юқорида бўлган. Қолган қузатув қудуқларида ҳам шунга ўхшаш ҳолатларни қузатиш мумкин.

Сўх ёйилмаси худудида ер ости сувлари сатҳининг кўтарилиб бораётганлигини фарқли интеграл эгри чизиқлар графиклари ҳам тасдиқлайди. 21-қузатув қудуғида ер ости сувлари сатҳи 1961-1974 йилларда кўтарилиб, 1975-1990 йилларда пастлаб, 1991 йилдан кейинги шароитда ер ости сувлари сатҳи кўтарилиб келмоқда. Шунга ўхшаш ҳолатни 28-қузатув қудуғида ҳам қузатиш мумкин.

Жорий иқлим даврида ер ости сувлари сатҳини кўтарилиб боришини 258-қузатув қудуғида яққол кўриш мумкин. Ўртacha йиллик қийматлари асосида тузилган фарқли интеграл эгри чизиқлар графики 1961-1990 йилларда ер ости сувлари сатҳи пастлаб, 1991-2020 йилларда кўтарилиб борганлигини тасдиқлайди.

Сўх ёйилмасининг юқори ўнг соҳилларида ер ости сувлари сатҳининг ўзгариши бироз бошқачароқ кечмоқда. БИДнинг 1960-1964 йилларида ер ости сувлари сатҳи пастлаб, 1965-1970 йилларда бироз кўтарилиб, 1971-1989 йилларда пастлаб борган. Жорий иқлим даврининг 1990-2012 йилларида ер ости сувлари сатҳи кўтарилиб борган бўлса, 2013 йилдан кейинги шароитда пастлаб бормоқда. Бу худудларда ер ости сувлари сатҳини пастлаб бориши ер ости сувларидан фойдаланиш билан боғлиқ.



4-расм. Сүх ёйилмаси худудида ер ости сувлари сатхининг хронологик ва фарқли интеграл әгри чизиқлари

Рис. 4. Хронологические и дифференциальные интегральные графики уровня подземных вод в районе Сохского разлива

Fig. 4. Chronological and differential integral curves of the groundwater level in the Sokh alluvial area

Юқоридаги олинган натижаларнинг таҳлилларига таяниб қуидагиларни **хулоса** қилиш мумкин.

1. Сўх ёйилмаси ҳудудида ЖИДда БИДга нисбатан ҳаво ҳарорати кўтарилиб бормоқда. Ҳаво ҳароратининг кўтарилиб бориши барча фаслларга хос бўлиб, куз ва қиши фаслларида яққолроқ кўзга ташланади. Шунингдек, Сўх ёйилмаси ҳудудидаги атмосфера ёғинлари 1990 йилдан кейинги шароитда кўпайиб бормоқда. ЖИДда ёйилманинг марказий қисмларида йиллик атмосфера ёғинлари 17 мм гача кўпайган. Бугунги кунда атмосфера ёғинлари миқдорининг ортишини қишлоқ хўжалигини ҳудудий ташкил этиш ва ривожлантиришда ҳисобга олиш тавсия этилади.

2. Сўх дарёси ўртача йиллик оқими ЖИДда БИДга нисбатан сезиларли, яъни $7,38 \text{ м}^3/\text{с}$ га кўпайган. Дарё оқимининг кўпайишини барча фаслларда кузатиш мумкин. Бу кўпайиш ҳароратнинг кўтарилиши билан боғлиқ ҳолда музликлар эришининг жадаллашиши ва атмосфера ёғинларининг ортиши билан боғлиқ. Дарё оқимининг кўпайишини вақтингча бўлиши мумкинлигини сувдан фойдаланишда эътиборга олиш зарур.

3. Жорий иқлим даврида Сўх ёйилмаси ҳудудида ер ости сувлари сатҳи кўтарилиб бормоқда. Бу кўтарилиш ҳарорат кўтарилиши, атмосфера ёғинлари ортиши ва дарё оқимининг кўпайишига мос келади. Сўх ёйилмаси ҳудудида ер ости сувлари мониторингини олиб боришда ҳаво ҳарорати, атмосфера ёғинлари ва дарё оқимидағи ўзгаришлар билан боғлиқ ҳолда ташкил этиш мақсадга мувофиқ деб ҳисоблаймиз.

Миннатдорчилик. Мақолани тайёрлаш жараёнида зарур маълумотларни тўплашда ёрдамларини аямаган Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ва Фарғона гидрогеология станцияси ходимларига, мақолани нашрга тайёрлашда кўрсатган услубий маслаҳатлари учун Наманган давлат университети География ва атроф-мухит муҳофазаси кафедраси профессори, г.ф.д. Б.А.Камоловга, кафедра катта ўқитувчиси г.ф.ф.д. (PhD) Б.Р.Рапиқовга ҳамда Гидрогеология ва муҳандислик геологияси институти бош илмий ходими г.-м.ф.д. (DSc) Б.Д.Абдуллаевга ўз миннатдорчилигимни билдираман.

АДАБИЁТЛАР

Арушанов М.Л. Климатический спектр планеты Земля. – Ташкент: НИГМИ, 2010. – 159 с.

Камалов Б.А., Хусанова Г. Оценка реакции температуры воздуха в Ферганской долине на глобальное потепление. Сб. науч. трудов / Международной конференции «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 23-28 сентября, 2013 г. – С. 229-233.

Камалов Б.А. Парниковый эффект – путь к глобальному решению проблемы опустынивания / Сб. трудов Международной научной конференции с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь 21-25 сентября, 2015 г. – С. 156-159.

Камалов Б.А., Солиев И.Р. Ер ости сувлари сатҳи ўзгаришини статистик таҳлил қилиш усуслари / “Гидрогеология, инженерлик геологияси, геоэкологияларнинг замонавий муаммолари ва уларни ечиш йўллари” халқаро илмий-техник конференция материаллари. – Тошкент, 2015. – Б. 314-317.

Камалов Б.А., Солиев И.Р. Глобал иқлим илиши шароитида Фарғона водийсида ёғин миқдоридаги ўзгаришлар // Ўзбекистон география жамияти ахбороти. 49-жилд. – Тошкент, 2017. – Б. 161-164.

Камалов Б.А., Солиев Э.А., Солиев И.Р. Фарғона водийси дарёлари суви оқимини иқлим ўзгариши шароитида баҳолаш. – Наманган: Наманган нашриёти, 2017. – 146 б.

Ососкова Т.А., Спекторман Т.Ю. Чуб В.Е. Изменение климата. – Ташкент: Узгидромет, 2008. – 154 с.

Ососкова Т.А., Ҳикматов Ф.Х., Чуб В.Е. Иқлим ўзгариши. – Ташкент: Узгидромет, 2005. – 54 б.

Ҳикматов Ф.Х., Юнусов Ф.Х. Тоғ дарёлари оқими миқдорини метеорологик омилларга боғлиқ ҳолда баҳолаш масалалари // Ўзбекистон география жамияти ахбороти. 50-жилд. – Тошкент, 2017. – Б. 193-197.

Ҳикматов Ф.Х., Турғунов Д.М. Тоғ дарёларида кам сувли йиллар, уларнинг меъёри ва кам сувиликнинг чуқурлашуви масалалари // ЎзМУ хабарлари. № 3/1-табиий фанлар, Тошкент, 2017. – Б. 330-334.

Ҳикматов Ф., Зияев Р.Р., Ҳайдаров С.А., Сайдова Д.А., Ғаниев Ш.Р.. Ўрта Зарафшон ҳавзасида метеорологик катталикларнинг иқлим илиши шароитидаги ўзгаришларини баҳолаш // Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги илмий журнали. 1-сон. – Тошкент, 2024. – Б. 38-47.

Ҳакимова З.Ф. Чирчик-Оҳангарон ҳавзасида ҳаво ҳарорати ва атмосфера ёғинларининг иқлим илиши шароитидаги ўзгаришларини баҳолаш // Ўзбекистон География жамияти ахбороти. 63-жилд. – Тошкент, 2023. – Б. 76-81.

Petrov Y.V., Egamberdiyev H.T., Alautdinov M., Xolmatjanov B.M. Iqlimshunoslik. – Toshkent: Noshir, 2010. – 168 б.

Петров Ю.В., Эгамбердиев Х.Т., Холматжанов Б.М. Метеорология и климатология. – Ташкент: НУУЗ, 2005. – 333 с.

Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Ташкент: «Ворис нашриёт» МЧЖ, 2007. – 133 с.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА УРОВЕНЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕЧНОЙ РАВНИНЕ СОХА

И.Р. СОЛИЕВ¹

¹ Наманганский государственный университет, soliyeviqboljon7777@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена оценке влияния изменения климата на уровень грунтовых вод Сохской аллювиальной равнины. В исследовании основное внимание уделено изучению взаимосвязи между уровнем грунтовых вод в Сохской аллювиальной равнине и изменениями температуры воздуха, атмосферных осадков и речного стока. Общие данные проанализированы с разделением на два периода: базовый климатический период (БКП, 1960-1991 гг.) и текущий климатический период (ТКП, 1991-2020 гг.). Кроме того, в работе оцениваются сезонные изменения температуры воздуха, атмосферных осадков, речного стока и уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: изменение климата, Сохская аллювиальная равнина, грунтовые воды, температура воздуха, количество осадков, речной сток, базовый климатический период, текущий климатический период, оценка.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE GROUNDWATER LEVELS IN THE SOX RIVER PLAIN

I.R. SOLIYEV¹

¹ Namangan State University, soliyeviqboljon7777@gmail.com

Abstract. The article is devoted to assessing the impact of climate change on the groundwater level of the Sokh alluvial plain. The study focuses on examining the relationship between groundwater levels in the Sokh alluvial plain and changes in air temperature, atmospheric precipitation, and river discharge. General data have been analyzed by dividing them into two periods: the baseline climate period (BCP, 1960–1991) and the current climate period (CCP, 1991–2020). Additionally, the study evaluates seasonal variations in air temperature, atmospheric precipitation, river discharge, and groundwater levels.

Keywords: climate change, Sokh alluvial plain, groundwater, air temperature, precipitation amount, river discharge, baseline climate period, current climate period, assessment.

REFERENCES

- Arushanov M.L. Klimaticheskiy spektr planeti Zemlya [Climate Spectrum of Planet Earth]. – Tashkent: NIGMI, 2010. –159 p. (in Russian)
- Kamalov B.A., Xusanova G. Otsenka reaksii temperaturi vozduxa v Ferganskoy doline na glabalnoe poteplenie [Assessment of Air Temperature Response to Global Warming in the Fergana Valley] / Sb. nauch. trudov Mejdunarodnoy konferensii «Innovatsionnie metodi i sredstva issledovaniy v oblasti fiziki atmosferi, gidrometeorologii, ekologii i izmeneniya klimata». Stavropol, 23-28 September 2013. – PP. 229-233. (in Russian)
- Kamalov B.A. Parnikoviy effekt – put k global'nomu resheniyu problemi opust'nivaniya [The Greenhouse Effect: A Pathway to a Global Solution for Desertification] / Sb. trudov Mejdunarodnoy nauchnoy konferensii s elementami nauchnoy shkoli «Innovatsionnie metodi i sredstva issledovaniy v oblasti fiziki atmosferi, gidrometeorologii, ekologii i izmeneniya klimata». Stavropol, 21-25 September 2015. – PP. 156-159. (in Russian)
- Kamalov B.A., Soliev I.R. Yer osti suvlari sathi ozgarishini statistik tahlil qilish usullari [Methods for Statistical Analysis of Groundwater Level Changes] / “Gidrogeologiya, injenerlik geologiyasi, geoekologiyalarning zamonaviy muammolari va ularni yechish yo'llari” xalqaro ilmiy-texnik konferensiya materiallari. – Toshkent, 2015. – PP. 314-317. (in Uzbek)
- Kamalov B.A., Soliev I.R. Global iqlim ilishi sharoitida Fargona vodiysida yog'in miqdoridagi ozgarishlar [Changes in Precipitation in the Fergana Valley under Global Warming Conditions] // Ozbekiston geografiya jamiyati axboroti. 49-jild. –Toshkent, 2017. – PP. 161-164. (in Uzbek)
- Kamalov B.A., Soliev E.A., Soliev I.R. Fargona vodiysi daryolari suvi oqimini iqlim ozgarishi sharoitida baholash [Assessment of River Water Flow in the Fergana Valley under Climate Change Conditions]. – Namangan: Namangan nashriyoti, 2017. – 146 p. (in Uzbek)
- Ososkova T.A., Spektorman T.Yu. Chub V.Ye. Izmenenie klimata [Climate Change]. – Tashkent: Uzgidromet, 2008. – 154 p. (in Russian)
- Ososkova T.A., Hikmatov F.X., Chub V.Ye. Iqlim ozgarishi [Climate Change]. – Tashkent: Uzgidromet, 2005. – 54 p. (in Uzbek)
- Khikmatov F.X., Yunusov G.X. Tog daryolari oqimi miqdorini meteorologik omillarga bogliq holda baholash masalalari [Issues in Assessing Mountain River Flow Quantities in Relation to Meteorological Factors] // Ozbekiston geografiya jamiyati axboroti. 50-jild. – Toshkent, 2017. – PP. 193-197. (in Uzbek)
- Khikmatov F.X., Turgunov D.M. Tog daryolarida kam suvli yillar, ularning meyori va kam suvlilikning chuqurlashuvi masalalari [Low Water Years in Mountain Rivers, Their Standards, and Issues of Deepening Water Scarcity] // OzMU xabarlari. № 3/1-tabiiy fanlar, Toshkent, 2017. – PP. 330-334. (in Uzbek)
- Khikmatov F., Ziyaev R.R., Xaydarov S.A., Saidova D.A., Ganiev Sh.R. Orta Zarafshon havzasida meteorologik kattaliklarning iqlim ilishi sharoitidagi ozgarishlarini baholash [Assessment of Changes in Meteorological Parameters in the Zarafshan Basin under Global Warming Conditions] // Gidrometeorologiya va atrof-muhit monitoringi ilmiy jurnal. 1-son. –Toshkent, 2024. – PP. 38-47. (in Uzbek)

Khakimova Z.F. Chirchiq-Ohangaron havzasida havo harorati va atmosfera yog‘inlarining iqlim ilishi sharoitidagi o‘zgarishlarini baholash [Assessment of Air Temperature and Atmospheric Precipitation Changes under Climate Warming Conditions in the Chirchiq-Ohangaron Basin] // Ozbekiston Geografiya jamiyati axboroti. 63-jild. – Toshkent, 2023. – PP. 76-81. (in Uzbek)

Petrov Y.V., Egamberdiyev H.T., Alautdinov M., Xolmatjanov B.M. Iqlimshunoslik [Climatology]. – Toshkent: Noshir, 2010. – 168 p. (in Uzbek)

Petrov Yu.V., Egamberdiyev X.T., Xolmatjanov B.M. Meteorologiya i klimatologiya [Meteorology and climatology]. – Tashkent: NUUz, 2005. – 333 p (in Russian)

Chub V.Ye. Izmenenie klimata i yego vliyanie na gidrometeorologicheskie protsessi, agroklimaticheskie i vodnie resursi Respubliki Uzbekistan [Climate Change and Its Impact on Hydrometeorological Processes, Agroclimatic, and Water Resources of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent: «Voris nashriyot» MChJ, 2007. – 133 p. (in Russian)

УДК: 556:333.9+502.36

КОЛЛЕКТОР-ЗОВУР СУВЛАРИДАН ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИК ЭКИНЛАРИНИ СУГОРИШ ВА ШЎР ЮВИШДА ФОЙДАЛАНИШ (БУХОРО ВИЛОЯТИ МИСОЛИДА)

Н.А. ТОШБЕКОВ¹

¹ Бухоро давлат педагогика институти, nurbekahmadovich@gmail.com

Аннотация. Мақолада Бухоро вилоятида коллектор-зовур сувларидан сугориладиган ерларни сугории ва улардан шўр ювишида фойдаланиши масалалари ёритилган. Шу мақсадда Аму-Бухоро ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси ҳузуридаги мелиоратив экспедиция маълумотларидан фойдаланилди. Уибу маълумотлар асосида 2020-2024 йилларда вилоятга сугоришига олинган сувлар ва сугориладиган ерлардан шаклланган коллектор сувларининг миқдорий қийматлари таҳлил қилинган. Жумладан, вилоятидаги туманлараро Марказий Бухоро, Шимолий, Оёқогитма коллектор-зовур сувларидан қўшимча сув ресурслари сифатида қишлоқ хўжалигида фойдаланиши имкониятлари мавжудлиги кўрсатиб ўтилган.

Калит сўзлар: коллектор-зовур оқими, сув миқдори, сугории, қишлоқ хўжалик, иккиламчи фойдаланиши, сугориладиган майдонлар, шўр ювии.

Кириш. Дунёнинг кўпгина ривожланган давлатларида сугориш сувларининг сифатини, сугориладиган майдонларда ҳосил бўладиган коллектор-зовур сувларинининг минераллашув даражасини ва ҳосил бўлиши аниқлаш бўйича илмий тадқиқот ишлари олиб борилган. Коллектор-зовур сувларининг ҳосил бўлиши, миқдор ва сифат ўзгаришларини республикада В.А.Духовний, С.И.Харченко, Э.И.Чембарисов, Ф.Х.Хикматов, Ш.А.Мурадов ва В.И. Соколовларнинг илмий тадқиқот ишларида ўз аксини топган.

Республикамиз мустақилликка эришгандан сўнг, суғорма сувлардан фойдаланиши ва уларнинг гидрологик тавсифи, ҳозирги аҳволи, мавжуд сув ресурсларидан самарали фойдаланиш орқали аҳолининг озиқ-овқат хавфсизлигини таъминлаш, сугорища тежамкор сугориш усулларини жорий қилиш ҳамда коллектор-зовур сувларидан қўшимча ресурс сифатида фойдаланиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Сугориш сувларининг йилдан-йилга камайиб қайтариб бўлмайдиган даражада ўсиб бораётганини ҳисобга олган ҳолда, қишлоқ хўжалигида коллектор-зовур сувларидан қайта

¹ Масъул муаллиф: nurbekahmadovich@gmail.com, тел.: +998 93 684-45-12

фойдаланиш (дарё суви билан аралаштириб ёки 1/1 ва 1/2 нисбатда) муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш бўйича 2022-2026 йилларга мўлжаллаган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида “Сув ресурсларини бошқариш тизимини тубдан ислоҳ қилиш ва сув ресурсларидан самарали фойдаланиш ҳисобига 7 миллиард куб метр сувни иқтисод қилиш” иккиласмчи сув ресурсларидан самарали фойдаланиш масалалари назарда тутилган.

Ўзбекистон Республикаси аҳоли сони 2030 йилда тахминан 40 млн. кишига етиши, ҳозирда мавжуд сув ресурсларининг $7-8 \text{ km}^3$ га қисқаришини келтириб чиқариши ҳисобга олинса, сувга бўлган талаб даражаси 13-14% дан 44-46% гача ошиши мумкин. Бу эса қишлоқ ҳўжалиги ва саноатининг ривожланишига салбий таъсир қилади. Суғориш сувларининг камайиб бораётганлигини ҳисобга олиб, қишлоқ ҳўжалигига суғориш учун коллектор-зовур сувларининг минераллашув даражасини пасайтириб ёки дарё суви билан аралаштириб қайта фойдаланиш мумкин [Мурадов, 2003].

Ишнинг мақсади ва вазифалари. Ушбу тадқиқот ишининг асосий **мақсади коллектор-зовур сувларининг минераллашув даражаси ва гидрологик хусусиятларини ўрганиш**, миқдор ва сифат кўрсаткичларини аниқлаш ва улардан қўшимча сув ресурслари сифатида фойдаланиш масалаларини ёритишдан иборат. Ишда белгиланган мақсадларни амалга оширишда Аму-Бухоро Ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси мелиоратив экспедицияси маълумотларидан ва коллектор-зовур сувларидан олинган тажриба натижаларидан фойдаланилди.

Тадқиқот обьекти ва предмети. Ишда тадқиқот обьекти сифатида Бухоро вилоятининг туманлараро (Марказий Бухоро, Шимолий, Оёқоғитма) ва ҳўжаликлараро ва ҳўжалик ички коллектор-зовурлари танлаб олинди. Коллектор-зовур сувларининг шаклланиши, улардан қўшимча сув манбай сифатида фойдаланиш тадқиқотнинг предмети ҳисобланади.

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуслари. Ишни бажариш жараёнида, туманлараро коллектор-зовур сувларидан олинган сувнинг натижалари ва Аму-Бухоро Ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси мелиоратив экспедиция маълумотларидан фойдаланилди. Тадқиқотда коллектор-зовурларнинг гидрологик кўрсаткичлари, кузатиш, дала-тадқиқот ва географик умумлаштириш усуслари қўлланилди.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Коллектор-зовур тармоғининг сув ийфувчи қисмидан келаётган сувни қабул қилиб, суғориладиган майдондан чиқариб юбориладиган очиқ канал ёки дренаж қувури ҳисобланади. Коллектор туманлараро, ҳўжаликлараро ва ҳўжалик ички турларига бўлинади. Одатда, коллекторлар пастликлардан ва қишлоқ ҳўжалик экинлари экиладиган худуд чегаралари бўйлаб ўтказилади.

Коллектор-зовурларни ташкил этишда тупроқ таркиби ҳам эътиборга олинади. Сизот сувларнинг чуқурлиги 2-3 метр бўлган худудларда коллектор-зовурларни қазиша оғир механик таркибли тупроқларда уларнинг оралиғи 250-300 метргача, ўртача механик таркибли тупроқлара 300-400 метр гача, енгил механик таркибли тупроқларда эса 400-600 метргача бўлиши керак. Коллектор-зовурларнинг кўп учрайдиган турлари куйидагича:

- ҳўжалик ички коллекторнинг чуқурлиги 3,0-6,6 м, кенглиги 1,0-1,5 м, сув юзасининг кенглиги 40-80 м дан иборат.

- ҳўжаликлараро коллектор чуқурлиги 4,5-8,0 м, кенглиги 1,0-3,0 м, сув юзасининг кенглиги 80-140 м атрофида бўлади.

Коллектор-зовурлар қанча чуқур бўлса сизот сувлар сатҳи ҳам шунча пасаяди ва зовурларнинг таъсир доираси яхши бўлади [Духовный, 1993].

Вилоятда сугориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини яхшилаш мақсадида коллектор-зовур тармоқлари яратилган бўлиб уларнинг аксарияти очиқ зовурлар ҳисобланади. Сугоришида минераллашганлиги 5-6 г/л гача бўлган сувлардан жаҳоннинг кўплаб мамлакатларида – АҚШ, Эрон, Жазоир ва бошқаларда кенг миқёсда фойдаланиб келинмоқда. Марказий Осиё давлатларида минераллашган коллектор-зовур сувларидан фўза, полиз экинлари ва токзорларни сугоришида фойдаланилмоқда.

Сугориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини яхшилашда коллектор-зовур тармоқларисиз тасаввур этиб бўлмайди. Бухоро вилоятида ҳам сугориладиган майдонларни мелиоратив ҳолатини яхшилаш мақсадида коллектор-зовурлардан фойдаланилади [Тошбеков, 2024].

1-жадвал

Туманлараро коллектор-зовурлар хақида маълумот

Таблица 1

Информация о межрайонных коллекторах

Table 1

Information about inter-district collectors

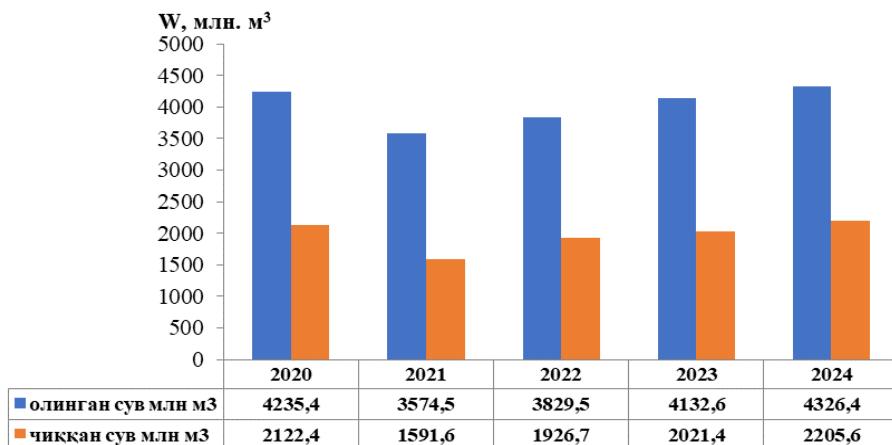
т/р	Коллектор номи	Ишга тушган йили	Узунлиги, L, км	Сув сарфи, Q, м ³ /с	Сув тўплайдиган туманлар
1	Марказий Бухоро	1955	95,2	81	Вобкент Бухоро, Жондор, Ромитан
2	Шимолий	1948	139,9	56,5	Фиждувон, Шофирикон, Ромитан, Пешку
3	Оғитма	1969	68,7	100	Шофирикон, Фиждувон
4	Порсонкўл	1974	62	15	Олот, Қоракўл, Бухоро, Жондор, Ромитан
5	Денгизкўл	1956	126,4	70	Когон, Бухоро, Жондор, Олот, Қоракўл
6	Ғарбий Ромитан	1966	60,1	8	Ромитан, Жондор
7	Бош сув тўплаш тракти (ГБСТ)	1991	155	74	Жондор, Когон, Қоровулбозор, Олот, Қоракўл

Жадвалдан маълумки, Бухоро вилоятида 10 дан ортиқ туманлараро коллектор-зовур тармоқлар ишга туширилган бўлиб, бу коллектор-зовур сувларидан қишлоқ хўжалик экинларини сугоришида фойдаланиш учун уларнинг таркибидаги тузларнинг рухсат этилган миқдорларини билиш муҳим омил ҳисобланади. Бунда сувнинг минераллашув даражаси, тупроқ таркибидаги туз миқдори ҳамда сугориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолати эътиборга олиниши керак [Тошбеков, Жамшидов, 2024].

Хозирги кунда Бухоро вилоятининг умумий ер майдони 40,3 минг км² ни ташкил қилади. Шундан, 274,63 минг гектари сугориладиган майдонлар ҳисобланади. Тадқиқот давомида тўплаган маълумотлар ва уларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, Бухоро вилоятига 2020-2024 йиллар оралиғида сугориладиган майдонларга 4235,4 млн.м³ дан 4325,4 млн.м³ гача сув олинган бўлса, коллектор-зовур тармоқлари орқали эса сугориладиган майдонлардан 1591,6 млн.м³ дан 2205,6 млн.м³ миқдордаги сув чиқарилиб юборилган (1-расм).

Ушбу графикда келтирилган маълумотлардан кўриниб турибдики, 2020-2024 йиллар оралиғида вилоятнинг сугориладиган майдонларига ўртача 4019,7 млн м³ миқдорда сув

олинган. Шу йилларда сугориладиган майдонлардан коллектор-зовурлар орқали ўртacha 1973,5 млн м³ миқдорда сув ташлама кўлларга чиқарилиб юборилган. Бошқача қилиб айтганда сугоришга олинган сув миқдорининг 49% қайтарма оқимни ташкил этган. Иқлим ўзгариши натижасида дарё суви танқислиги кузатила бошланган даврда коллектор-зовур сувларининг минераллашув даражасини пасайтириб ёки дарё суви билан аралаштириб қишлоқ хўжалик экинларини сугоришда ва шўр ювиш мавсумида фойдаланса бўлади.

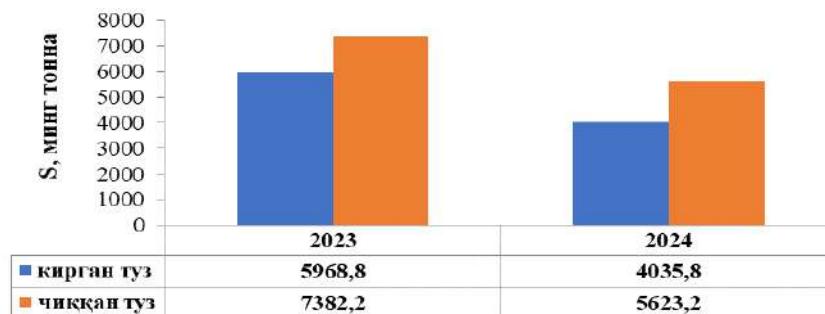


1-расм. Сугориладиган майдонларга олинган ва коллектор-зовур орқали чиқариб юборилган сув миқдорлари (млн. м³)

Рис. 1. Количество объема воды, подаваемой на орошаевые площади и отводимой через коллекторно-дренажных систем (млн. м³)

Fig. 1. The amount of water supplied to irrigated areas and drained through collector-drainage systems (million m³)

Тадқиқотнинг мақсадидан келиб чиқсан ҳолда, ишнинг кейинги босқичида охирги икки йил, яъни 2023-2024 йиллар оралиғида сугориш суви сугориладиган майдонларга кириб келган ва коллектор-зовур орқали чиқиб кетган тузлар миқдори таҳлил қилинди (2-расм).



2-расм. Сугориладиган майдонларга 2023-2024 йилларда сугориш суви билан кирган ҳамда коллектор-зовур тармоқлари орқали чиқариб юборилган тузлар миқдори (минг тонна)

Рис. 2. Количество солей, поступивших на орошаевые площади с оросительной водой и выведенных через коллекторно-дренажных сетях в 2023–2024 годах (тыс. тонн)

Fig. 2. The amount of salts supplied to irrigated areas with irrigation water and removed through collector and drainage networks in 2023–2024 (thousand tons)

Таҳлил натижаларига кўра, Бухоро вилоятига 2023 йилда суғориладиган майдонларга 5968,8 тонна туз кириб келган бўлса 7382,2 тонна туз коллектор-зовур тармоқлари орқали чиқариб юборилган. 2024 йилда эса 4035,8 тонна туз кириб келган бўлса, 5623,2 тонна туз чиқариб юборилган.

Хулоса. Тадқиқот давомида олинган натижалар ва уларнинг таҳлилига асосланиб, қуидаги хулосаларни қайд этиш мумкин.

1. Бухоро вилоятида суғориладиган майдонларнинг шўрланиш даражасини камайтириш, ер ости сувларини пасайтириш ва тупроқ унумдорлигини ошириш учун Марказий Бухоро, Оғитма, Шимолий, Денгизкўл, Порсонкўл, Бош сув тўплаш тракти (ГБСТ) ва Денгизкўл коллектор-зовур тармоқлари ишга туширилган. 2023 йилда коллектор-зовур тармоқлари умумий узунлиги 8743,04 км ни ташкил қилган бўлса, 2024 йилда бу кўрсаткич 8851,60 км ни ташкил қилди. Туманлар кесимида Жондор, Когон туманларида суғориладиган майдонларнинг мелиоратив ҳолатини яхшилаш учун 2024 йилда коллектор-зовурларнинг салмоғи ошиб борди.

2. Бутун дунёда иқлим ўзгариши натижасида сувга бўлган талабнинг ортиши, сув ресурсларидан оқилона ва самарали фойдаланиш муҳим аҳамият касб этади. Суғорища дарё суви билан коллектор-зовур сувларини 50/50 нисбатда фойдаланиш суғорма сувларнинг иқтисод қилишга олиб келади.

3. Ҳозирги кунда вилоятда жами суғориладиган майдонлар 274,63 минг гектар бўлиб, асосан Амударёдан Аму-Бухоро машина канали орқали ва қисман Зарафшон дарёсидан 4,1-4,3 млрд m^3 сув олади. Суғориладиган майдонлардан ҳар йили коллектор-зовурлар орқали 1,9-2,1 млрд m^3 сув коллектор-зовурлар орқали ташлама кўлларга ташланади. Сув танқис бўлган вақтларда коллектор-зовур сувларини дарё сувлари билан қўшиб қишлоқ хўжалик экинларини суғорища фойдаланиш сув танқислигининг салбий оқибатларини олиш мумкин.

4. Минераллашган коллектор-зовур сувларидан фойдаланилганда суғориладиган ерларнинг табиий шароитга боғлиқ ҳолда табакали ёндашиш зарур, керак бўлса мелиоратив тадбирларни ҳам амалга ошириш мақсадга мувофиқдир. Бухоро вилоятининг суғориладиган майдонларида шўр ювиш ва суғорма дехқончиликда минераллашув даражаси 2 г/л гача бўлган коллектор-зовур сувлари билан суғориш (чучук сув аралаштирасдан) мумкин.

Миннатдорчилик. Муаллиф ушбу мақолани тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган Бухоро вилояти Ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси ҳамда Бухоро давлат педагогика институти География кафедраси мудири Х.Р.Ташовга чукур миннатдорчилик изҳор этади.

АДАБИЁТЛАР

Духовный В.А. Мелиорация и водное хозяйство засушливой зоны. – Ташкент, 1993. – С. 298-300.

Мурадов Ш.О. Водные ресурсы и их рациональное использование в сельском хозяйстве юга Узбекистана. // Водное хозяйство России. – Екатеринбург, 2003. № 4. Том 5. – С. 325–330.

Соколов В.И. Справочник по управлению водными ресурсами в Узбекистане. – Ташкент: GIZ, 2018. – 218 с.

Тошибеков Н.А., Жамишидов Д.Р. Бухоро вилоят сув ресурсларидан самарали фойдаланишнинг илмий асослари // Экономика и социум, 2024. – №5(120). – С. 48-56.

Тошибеков Н.А. Иқлим ўзгариши шароитида коллектор-зовур сувларидан фойдаланиш масалалари / “Иқлим ўзгариши ва унинг атроф-муҳитига таъсири: муаммолар ва уларнинг

ечимлари” мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2024. – Б. 201-204.

Тошибеков Н.А., Жамишидов Д.Р. Kollektor-zovur suvlaridan foydalanishning ekologik muammolari (Buxoro viloyati misolida) / Орол денгизи ҳавзасида глобал иқлим ўзгаришлари шароитида халқ хўжалиги соҳаларини ривожлантириш истиқболлари мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Нукус, 2024. – Б. 149-153.

Назаров И.Қ., Ташов Х.Р. Чўл ландшафтларини таснифлашнинг асосий тамойиллари (Бухоро вилояти мисолида) // Ўзбекистон География жамияти ахбороти. 32-жилд. – Тошкент, 2008. – Б. 265-267.

Чембарисов Э.И., Бахритдинов Б.А. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии. – Ташкент: «Укитувчи», 1989. – 226 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПРОМЫВКЕ СОЛИ (НА ПРИМЕРЕ БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н.А. ТОШБЕКОВ¹

¹ Бухарский государственный педагогический институт, nurbekahmadovich@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования коллекторно-дренажных вод для орошения и промывки засолёных земель в Бухарской области. С этой целью использованы данные мелиоративной экспедиции при Аму-Бухарском бассейновом управлении ирригационных систем. На основе этих данных проведён анализ количественных показателей воды, поступившей на орошение, и объёмов коллекторно-дренажных вод, сформировавшихся на орошаемых землях области в 2020-2024 годах. В частности, показано, что имеются возможности использования межрайонных Центрально-Бухарской, Северной и Аякагитминской коллекторно-дренажных вод региона в качестве дополнительных водных ресурсов в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: коллекторно-дренажный сток, объём воды, орошение, сельское хозяйство, вторичное использование, орошаемые площади, промывка засоленных земель.

USE OF COLLECTOR WATER FOR IRRIGATION OF AGRICULTURAL CROPS AND WASHING OF SALT (ON THE EXAMPLE OF BUKHARA REGION)

N.A. TOSHBEKOV¹

¹ Bukhara State Pedagogical Institute, nurbekahmadovich@gmail.com

Abstract. The article discusses the use of collector-drainage waters for irrigation and leaching of saline lands in the Bukhara region. For this purpose, the data of the melioration expedition under the Amu-Bukhara basin administration of irrigation systems were used. Based on these data, an analysis was made of the quantitative indicators of water supplied for irrigation and the volumes of collector-drainage waters formed on the irrigated lands of the region in 2020-2024. In particular, it is shown that there are opportunities to use inter-district Central Bukhara, Northern and Ayakagitma collector-drainage waters of the region as additional water resources in agriculture.

Keywords: collector-drainage flow, water volume, irrigation, agriculture, secondary use, irrigated areas, leaching of saline lands.

REFERENCES

Duxovniy V.A. Meliorasiya i vodnoe khozyaystvo zasushlivoy zoni [Melioration and water management zasushlivoy zone]. – Tashkent, 1993. – PP. 298-300. (in Russian)

Muradov Sh.O. Vodnie resursi i ix rasionalnoe ispolzovanie v selskom xozyaystve yuga Uzbekistana [Vodnie resource i ix rationalnoe ispolzovanie v selskom hozyyastve yuga to Uzbekistan] // Vodnoe xozyaystvo Rossii. – Yekaterinburg, 2003. № 4.Tom 5. – PP. 325–330. (in Russian)

Sokolov V.I. Handbook on water resources management in Uzbekistan. – Tashkent: GIZ, 2018. – 218 p. (in Russian)

Toshbekov N.A, Jamshidov D.R. Buxoro viloyat suv resurslaridan samarali foydalanis'hning ilmiy asoslari [Scientific basis of effective use of water resources of Bukhara region] // Ekonomika i sotsuim, 2024. – №5(120). – PP. 48-56. (in Russian)

Toshbekov N.A. Iqlim ozgarishi sharoitida kollektor-zovur suvlaridan foydalanish masalalari. [Issues of the use of collector water in the context of climate change] / “Iqlim ozgarishi va uning atrof-muhitga tasiri: muammolar va ularning yechimlari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konfrensiya materiallari. – Toshkent, 2024. – PP. 201-204. (in Uzbek)

Toshbekov N.A., Jamshidov D.R. Kollektor-zovur suvlaridan foydalanishning ekologik muammolari (Buxoro viloyati misolida) [Environmental problems of using collector-sewage waters (on the example of Bukhara region)] / Orol dengizi havzasida global iqlim ozgarishlari sharoitida xalq xojaligi sohalarini rivojlantirish istiqbollari mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konfrensiya materiallari. – Nukus, 2024. – B. 149-153. (in Uzbek)

Nazarov I.Q., Tashov X.R. Chol landshaftlarini tasniflashning asosiy tamoyillari (Buxoro viloyat misolida) [The main principles for the classification of desert landscapes (on the example of the Bukhara region)] // Ozbekiston Geografiya jamiyati axboroti. 32-jild. – Toshkent, 2008. – PP. 265-267. (in Uzbek)

Chembarisov E.I., Baxritdinov B.A. Gidroximiya rechnix i drenajnix vod Sredney Azii [Hydrochemistry of river and drainage waters of Central Asia]. – Tashkent: «Ukituvchi», 1989. – 226 p. (in Russian)

АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ / МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ / ENVIRONMENTAL MONITORING

УДК: 556.55+556.5

ЭЛЕКТРОННЫЙ КАТАЛОГ И БАЗА ДАННЫХ «ВЫСОКОГОРНЫЕ ОЗЕРА УЗБЕКИСТАНА»

И.В. ДЕРГАЧЕВА¹*, С.С. МЯГКОВ¹, С.В. МЯГКОВ¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, dergacheva_iv@mail.ru

Аннотация. Представлен электронный каталог озёр Узбекистана, разработанный на основе *GIS MapWindow* и состоящий из самостоятельных блоков: базы данных по озерам, слоёв геоинформационной системы (ГИС), картографической платформы *Bing Maps*, объединённых в единую систему по поиску и информационной обработке данных. Структура каталога содержит раздел ГИС, позволяющий наглядно представлять пространственные картографические данные. Система содержит векторные и растровые геоинформационные слои. Электронный каталог высокогорных озер и база данных служат для хранения и обработки данных в интерактивном режиме, который позволяет с высокой надёжностью выполнять автоматизированный диагноз с элементами интерактивного режима и географической привязки по опорным точкам данных спутниковых снимков.

Ключевые слова: озера, геоинформационная система, ГИС, база данных, мониторинг, картография.

Введение. Мониторинг озер на современном этапе должен основываться на реализации автоматизированных технологий с использованием данных дистанционного зондирования (спутниковых данных).

Информационная система реализована с помощью компонента *GIS MapWindow*, который включает в себя географическую информационную систему (ГИС) с открытой расширяемой архитектурой плагинов, элементом управления *ActiveX GIS* и библиотекой *C# GIS* под названием *DotSpatial*. Элемент управления *ActiveX MapWinGIS.ocx* используется для обеспечения функциональности ГИС-картирования для пользовательских приложений на базе *Windows Forms*. Код может быть написан на *Visual Basic 6*, *VB.NET* или *C#* и может быть, как коммерческим, так и открытым исходным кодом.

Раздел ГИС ИСУ обладает основными функциональными возможностями подобных систем (изменение масштаба, перетаскивание области просмотра, слоев, просмотр легенды, масштабная линейка, координаты под указателем).

Цель работы. В данной статье представлены этапы реализации автоматизированной интерактивной карты и электронного каталога “Высокогорные озёра Узбекистана” как основы для развития комплексного экологического мониторинга лимнических систем с применением современных геоинформационных систем. Цель

* Ответственный автор: dergacheva_iv@mail.ru, тел.: +998 99 328-37-39

работы соответствует мировым приоритетам в области лимнологических исследований и рационального использования озер [Перспективы, 2003].

Постановка задачи. Электронный каталог и база данных «Высокогорные озера Узбекистана» являются частью, создаваемых в настоящее время электронной карты и каталога «Озёра Узбекистана». Целесообразность создания электронной карты и каталога «Озёра Узбекистана» продиктована необходимостью обеспечения потребителей комплексной информацией по современному состоянию озер и принятия решений по рациональному использованию водных ресурсов Узбекистана в условиях изменения климата.

Объект и предмет исследования, исходные данные и методы исследования. Объектом исследований являются высокогорные озёра Узбекистана и трансграничных территорий. Предметом исследования является создание электронного каталога и базы данных по высокогорным озёрам Узбекистана.

При определении основных характеристик озёр и климатических факторов, влияющих на их состояние, использованы методы дистанционного зондирования и ГИС технологий, архивные тематические карты, спутниковые снимки, материалы наземных экспедиционных исследований, проводимых в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте и Узгидромете. При установлении закономерностей распространения озер использованы методы математической статистики – корреляционный и многофакторный анализ, объективный метод выравнивания и нормализации корреляционных связей.

Для создания цифровых моделей рельефа и батиграфических компьютерных карт использован метод построения цифровой модели рельефа с использованием современных компьютерных технологий.

Основные результаты и их обсуждение. В марте 2022 года на 5-й сессии Ассамблеи ООН по окружающей среде (UNEAS.2) в Найроби (Кения) принята Резолюция об устойчивом управлении озерами [Резолюция, 2022]. Развитие информационных и Интернет-технологий неизбежно ведет к созданию региональных и всемирных систем, которые могут обеспечивать доступ заинтересованных лиц и организаций к данным мониторинга окружающей среды любого уровня детализации. Электронный каталог «Озёра Узбекистана» станет национальным продуктом, поддерживающим мировые тенденции в области лимнических систем.

В электронном каталоге используется комплексное картографирование, одно из достоинств которого - возможность многоуровневого совмещения и анализа. Совмещая тематические данные различного содержания и анализируя результаты, можем получить новую информацию и провести комплексный анализ широкого набора данных.

Совокупность инструментов ГИС и стандартной базы данных, является основой комплексного картографирования, которое используется как анализирующая система. Она обеспечивает возможность комплексного анализа данных, рельефа, результатов экспедиционных и научных исследований. Анализ можно проводить на разных масштабных и временных уровнях. Основой для комплексного картографирования является цифровая модель рельефа, представляющая собой GRID с пространственным разрешением 30 м на 30 м, данные цифровой аэросъёмки, топографические карты 1:100000, 1:200000 и 1:500000. Эти материалы явились базой для создания тематической серии - геоморфологических, почвенных, физико-географических карт разного масштаба.

Набор программ ArcView предназначен для просмотра всей имеющейся картографической информации, её разработки и корректировки. Основой проектов ArcView, является цифровая модель рельефа, включающая в себя: полигональные темы –

замкнутые контуры (чаши озер, бассейны рек, населенные пункты); линейные темы – векторные (реки, дороги, каналы, ЛЭП); точечные темы (отдельные точки с указанием высот, метеорологические станции, гидрологические посты). На рис. 1 представлен пример визуализации объектов, на примере озёр бассейна реки Ихначсай. Предусмотрена возможность просмотреть информацию по каждому интересующему объекту – озеру.

С помощью средств ArcView можно удобно и быстро производить расчеты выделенных площадей, например, площади водосборов того или иного бассейна, длины рек, уклонов и т.д. Данные цифровые модели использовались для построения карт зон возможного затопления при прорыве высокогорных озер. Компьютерные карты, построенные на основе цифровых моделей, внедрены в базу данных для наглядного представления картографического материала. Но работа с картами может выполняться только в ArcView, ArcGIS или ArcMap.

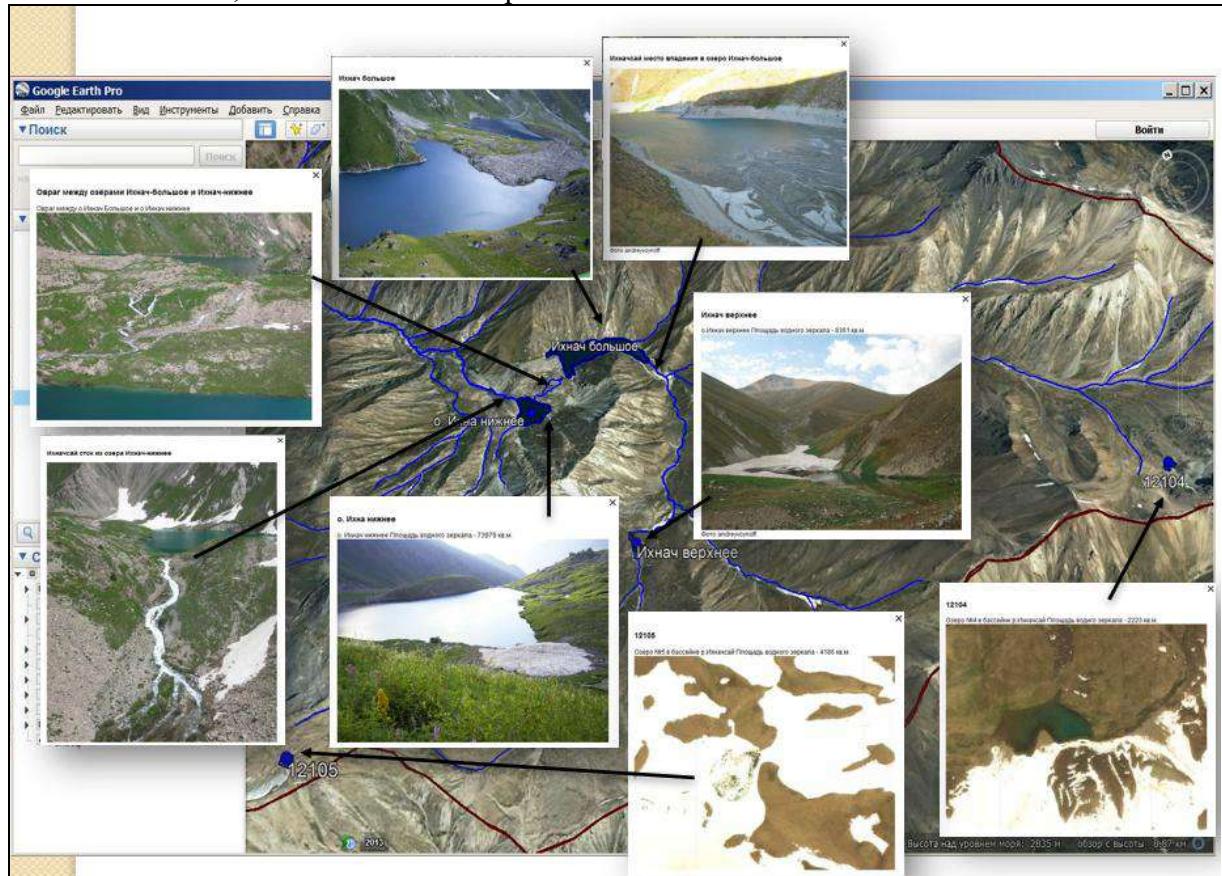


Рис. 1. Пример визуализации информации на интерактивной карте озёр Узбекистана

Fig. 1. An example of visualization of information on an interactive map of lakes in Uzbekistan

Назначение создаваемой базы данных – хранение и оперативный доступ к имеющейся информации по морфометрическим характеристикам озер. База данных позволяет накапливать и обрабатывать гидрологическую, метеорологическую информацию, а также фактические данные, полученные в результате экспедиционных и аэровизуальных обследований озер, данные о состоянии завалов и т.д.

Основой базы данных являются таблицы, в которых хранится информация. По таблицам для более удобного внесения, корректировки и просмотра разнотипной

информации, в том числе и готовой картографической информации, разработаны формы, а также строятся запросы с учетом требований к итоговому материалу.

В базе данных используется многоуровневая структура территориального распределения озер [Дергачева и др., 2023].

Первый уровень – области Узбекистана. Учитываются не только области, на территории которых расположены озера, но и области, на территорию которых стекают трансграничные реки, в бассейне которых расположены озера (рис. 2).

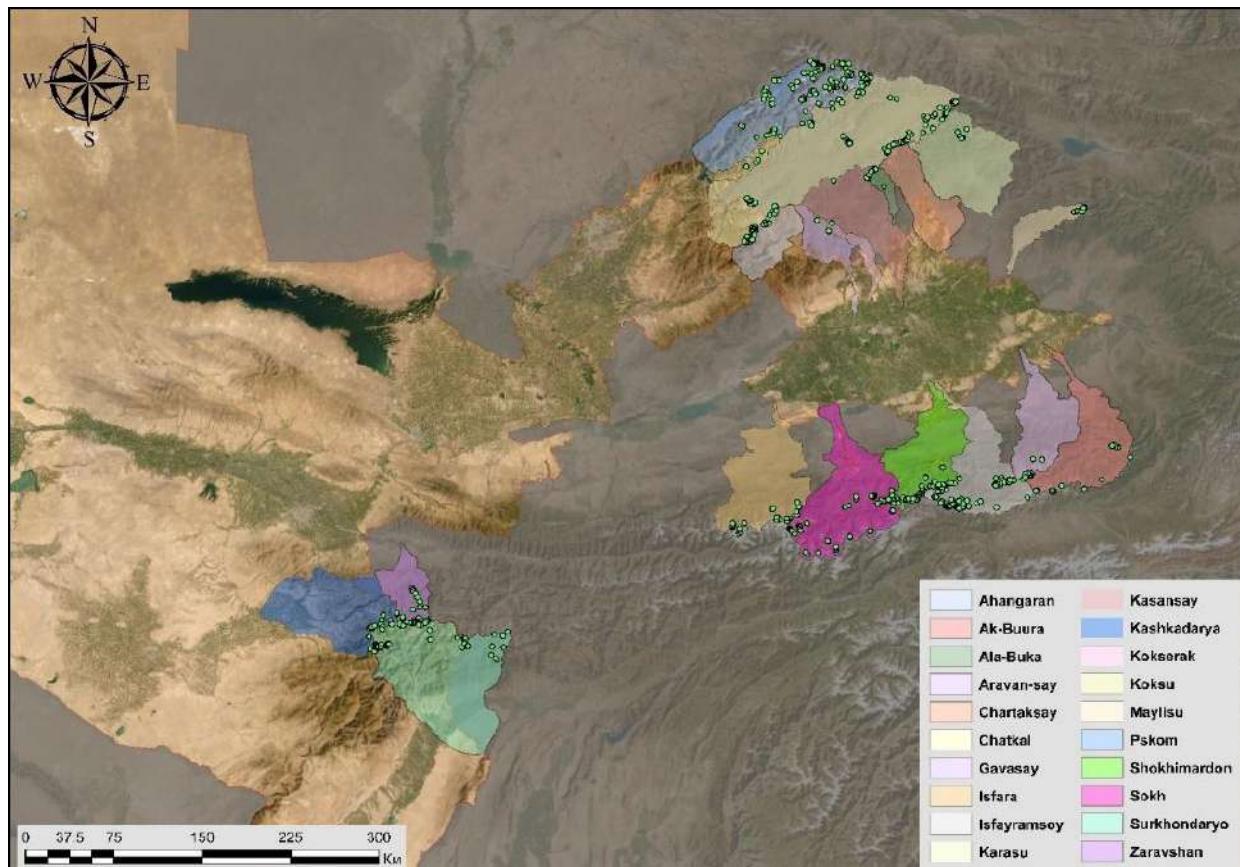


Рис. 2. Карта расположения бассейнов рек и озёр в базе данных

Fig. 2. Map of the location of river and lake basins in the database

Второй уровень – бассейны рек. По характеру расположения водоемов, на данном этапе это высокогорные озёра, по территории выделено 20 зон их концентрации по речным бассейнам; это бассейны рек Пскем, Коксу, Чаткал, Ахангаран, Гавасай, Коксарек, Кассансай, Алабука, Чортоксай, Карасу, Майлису, Ак-Буура, Араван-сай, Исфайрамсай, Шахимардан, Сох, Исфара, Зарафшан, Кашкадарья, Сурхандарья (рис. 3).

Третий уровень – подбассейны рек. На территории вышеуказанных бассейнов выделен 121 подбассейн рек, весь список которых приводится в базе данных по высокогорным озерам.

Четвертый уровень - непосредственно сами озера.

На основе данного принципа территориального распределения озер на территории Республики Узбекистан и сопредельных территорий разработана кодировка объектов для базы данных и произведено поэтапное построение цифровых моделей бассейнов, подбассейнов.

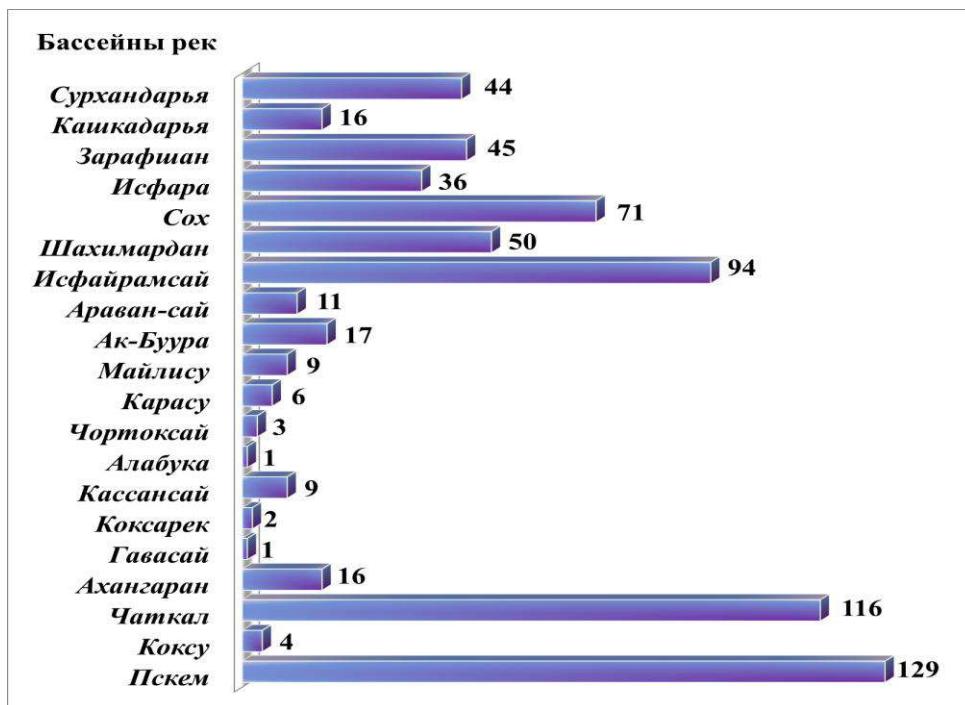


Рис. 3. Распределение высокогорных озер Узбекистана и сопредельных государств по речным бассейнам

Fig. 3. Distribution of high-mountain lakes of Uzbekistan and neighboring countries by river basins

Основная функциональная задача, разработанной базы данных — это структурирование, хранение, обработка, по текущим запросам и пополнение данных различного типа. Для выполнения этой задачи созданы пользовательские проекты, сформированные из перечня таблиц. Используя встроенные редактор таблиц при необходимости внесения неучтеноной дополнительной информации, может создавать новые поля данных и модифицировать уже существующие таблицы.

Для быстрого поиска необходимой информации сформированы SQL — запросы, которые позволяют: конструировать базы данных; обрабатывать — удалять или добавлять, суммировать данные; обновлять базы данных; выбирать записи по сложным разработанным критериям; сортировать набор данных по любому полю, в том числе не индексированному.

Основой базы данных являются таблицы с информацией о кодах, присвоенных областям, бассейнам рек, подбассейнам рек, и озерам.

Для связи таблиц в базе данных, а также для совместного использования данных, хранящихся в БД, и электронного картографического материала разработана уникальная кодировка. За основу кодирования принята структура территориального распределения озер. Код озера включает в себя: код области, код бассейна основной реки, код подбассейна и номер озера (рис. 4).

Данная кодировка более проста и допускает дополнительное внесение объектов, что особенно актуально для временных и недолговечных озер ледникового и моренного типа без использования кодов гидрологической изученности. В таблицы внесена информация о реках, на которых расположены эти озера, а также их географическом местоположении.

В основу расчета морфометрических характеристик легли экспедиционные материалы промеров, выполненные лабораторией озер и водохранилищ НИГМИ в различные годы для большинства крупных и средних озер [Никитин, 1987].

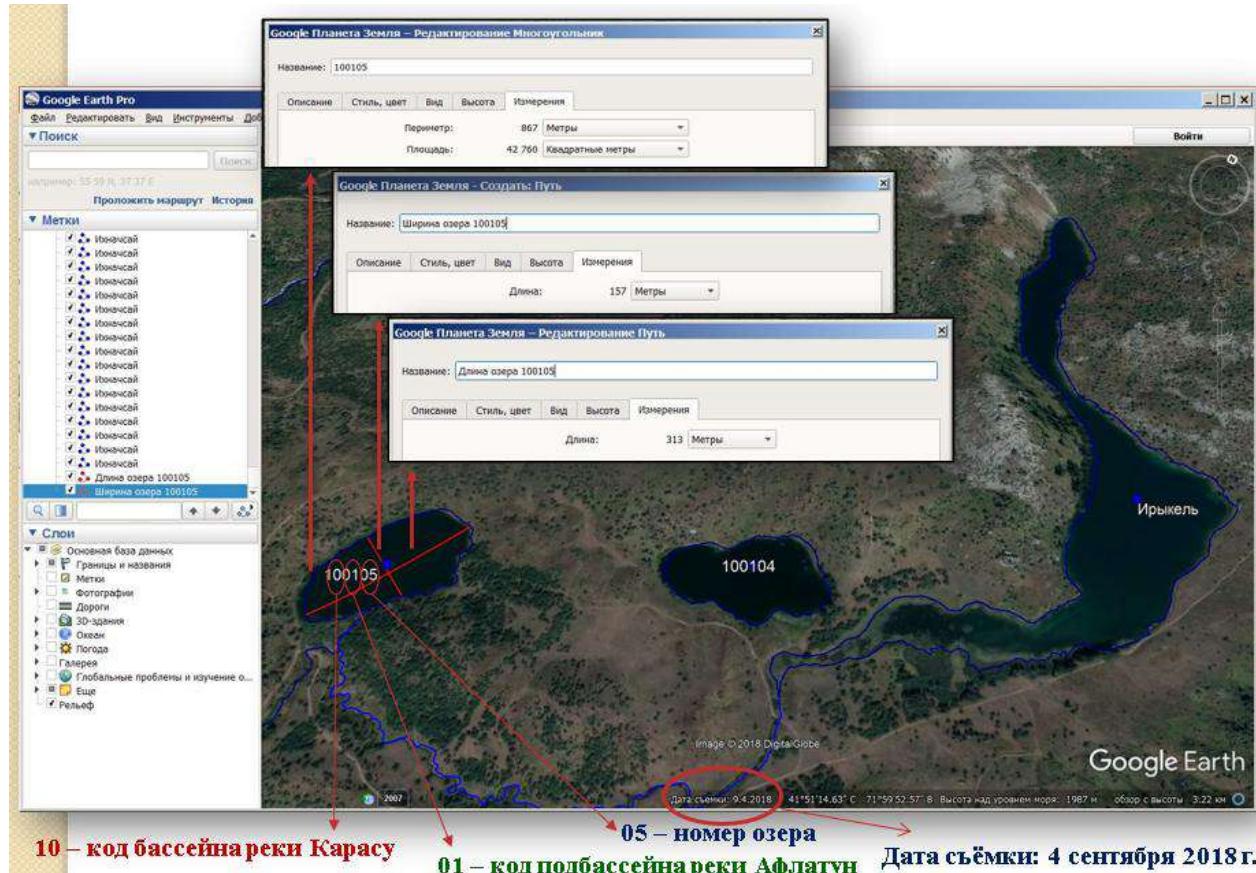


Рис. 4. Пример кодировки озёр Узбекистана

Fig. 4. Example of encoding of lakes of Uzbekistan

Одной из основных морфометрических характеристик озёр является площадь водной поверхности. В 1948 году П.В.Иванов разработал классификацию озер мира по величине их площадей, располагая классы водоемов в геометрической прогрессии со знаменателем, равным десяти. Эта классификация дает возможность объективно оценить озера по их величине [Иванов, 1949]. Озера горной территории различаются и по конфигурации озерных котловин. В работах [Никитин и Шарабаев, 1982; Рейзвих и др., 1972] авторы подразделяют озёра Средней Азии по конфигурации на две основные категории – простые и сложные.

К простым относятся озёра блюдцеобразной и каплевидной формы, как правило, это озёра малых форм – ледниковые, моренные и малые завальные озера. К озёрам второй категории относятся озёра, отличающиеся сложной конфигурацией, в случае высокогорных озёр – это в большинстве завальные озёра.

При проведении исследований высокогорных озер главными методами получения информации являются экспедиционные наблюдения, маршрутное геоморфологическое и геологическое картографирование. Результаты, полученные в ходе полевых и камеральных исследований – количественные характеристики потенциально опасных озёр:

морфометрические показатели, состояние завалов озёр и их объёмы, состояние ледников и морен при обследовании моренных и ледниковых озер, наиболее важны. Но на практике, с доступностью озер, особенно высокогорной и трансграничной зоны для производства экспедиционных детальных гидрологических, геоморфологических, геологических и других видов исследований и построения, на основе съемок, соответствующих карт крупного масштаба существуют определённые проблемы.

В работе [Васьков, 2016] описан метод дистанционного картографирования на основе интернет-ресурса Google Earth. Исследование Васькова показало высокую сходимость результатов определения морфометрических характеристик по геологической карте с топографической основой М 1:10000 и по топографо-морфологической схеме, составленной на базе интернет-ресурса Google Earth. Этот метод использован при картографировании высокогорных озёр Узбекистана и составления электронного каталога.

В исследовании по определению ледниковых озер [Agrit et all, 2016] использовались различные контролируемые и неконтролируемые методы классификации, в том числе и NDWI (нормализованный индекс воды), наиболее подходящий для картографирования водных объектов. Значение NDWI для типичных поверхностей озера составляет от 0,60 до 0,85 [Huggel et all, 2012]. Использование всех методов дало переоценку количества озер. Основные проблемы использования подхода NDWI заключаются в следующем: тени были классифицированы как озера, из-за Рэлеевского рассеяния в синей полосе и каждая водная поверхность (талая вода на ледниках) и даже богатая водой почва были отражены в виде озер. Для идентификации озер проводился сравнительный анализ снимков доступных в OpenStreetMap - спутниковые снимки Bing, MapBox, DigitalGlobe, ASTER, OrbView-3 и интернет-ресурса Google earth.

Выводы. Комплексность мониторинга должна проявляться в оптимальном сочетании измерительных и информационных технологий. Традиционные методы картографирования не успевают фиксировать динамику водных объектов, поэтому в последние годы широкое развитие получили исследования ресурсов озер с использованием методов дистанционного зондирования.

Привлечение дистанционных методов открывает принципиально новые возможности при изучении динамики озер. Космические методы дали возможность иметь важную информацию об этих объектах благодаря генерализации, интегральному охвату больших территорий, высокой информативности и разрешающей способности, ускоренным срокам проведения исследований по сравнению с традиционными методами. Этот вид мониторинга значительно дешевле, чем проведение непосредственных наблюдений.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта ALM-202403110252 «Моделирование гидрологического режима естественных озёр Узбекистана с применением современных геоинформационных систем».

Авторский вклад. И.В. Дергачева: построение структуры каталога и базы данных, информационное насыщение. С.С. Мягков: построение ГИС основы для каталога и базы данных. С.В. Мягков: теоретические гидрологические вопросы насыщения информационной системы. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Васьков И.М. К вопросу о методологии и методах изучения гляциальных селей и их генезиса / Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV Международной конференции России. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы. – СО РАН, 2016. – С. 28-36.

Дергачева И.В., Мягков С.С., Дергачев К.В. Каталогизация высокогорных озер Узбекистана и трансграничных речных бассейнов как мера предупреждения селей прорывного генезиса // ГЕОРИСК, Международный научный журнал. – Том 17. № 4. 2023. – С. 28-40.

Иванов П.В. Классификация озёр мира по величине и средней глубине // Бюлл. ЛГУ, 1949. № 21. – С. 29-37.

Никитин А.М., Шарабаев В.А. К вопросу о распространении и генезисе озёр Памира // Труды САНИИ, 1982. – Вып. 87(168). – С. 67 – 71.

Никитин А.М. Озёра Средней Азии. Гидрометеорологический режим озёр и водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 106 с.

Рейзых В.Н., Никитин А.М., Абраменков Н.М. Водные ресурсы озер Средней Азии // Труды САРНИГМИ, 1972. – Вып. 62(77). – С. 17-29.

Arpit Aggarwaly, Sanjay K. Jainz, Anil K. Lohaniz and Neha Jainz Glacial lake outburst flood risk assessment using combined approaches of remote sensing, GIS and dam break modeling // Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2016. Vol. 7, No. 1 – PP. 18–36.

Huggel C., Kaab A., Haeberli W., Teyssiere P., Paul F. Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. Canadian // Geotechnical Journal. 2012, V.39. № 2. – PP.316–330.

Электронные ресурсы:

Международный комитет озер и Природоохранная Программа Организации Объединенных Наций «Перспективы мировых озёр: Призыв к Действию», ЮНЕП, 2003 г. URL: <http://www.ilec.or.jp/wwf/eng>

Резолюция об устойчивом управлении озерами. URL: <https://www.ilec.or.jp/en/un-cooperation/mainstreaminglakes>

«ЎЗБЕКИСТОН БАЛАНД ТОҒ КЎЛЛАРИ» ЭЛЕКТРОН КАТАЛОГИ ВА МАЪЛУМОТЛАР БАЗАСИ

И.В. ДЕРГАЧЕВА¹, С.С. МЯГКОВ¹, С.В. МЯГКОВ¹

¹ Гидрометеорология илмий тадқиқот институти, dergacheva_iv@mail.ru

Аннотация. Ўзбекистон кўлларининг ГИС харитаси асосида ишилаб чиқилган электрон каталоги тақдим этилган ва у мустақил блоклардан иборат: кўллар маълумотлар базаси, географик ахборот тизими (ГИС) қатламлари, Бинг Манс картографик платформаси маълумотларни қидириши ва маълумотларни қайта ишишнинг ягона тизимига бирлаштирилган. Каталог таркибида фазовий картографик маълумотларни визуал равишда намойиш этишига имкон берадиган ГИС бўлими мавжуд. Тизимда вектор ва растр геоинформация қатламлари мавжуд. Кўлларнинг электрон каталоги ва маълумотлар базаси маълумотларни интерактив режимда сақлаш ва қайта ишиш учун ишилатилади, бу интерактив режим элементлари ва сунъий ўйлдош тасвирлари маълумотлари асосида географик маълумот билан юқори даражада ишончли автоматлаштирилган диагностика қилиши имконини беради.

Калит сўзлар: кўллар, геоахборот тизими, ГИС, маълумотлар базаси, мониторинг, картография.

ELECTRONIC CATALOGUE AND DATABASE «HIGH-MOUNTAIN LAKES OF UZBEKISTAN»

I.V. DERGACHEVA¹, S.S. MYAGKOV¹, S.V. MYAGKOV¹

¹ Hydrometeorological Research Institute, dergacheva_iv@mail.ru

Abstract. The article presents an electronic catalog of lakes in Uzbekistan developed on the basis of GIS MapWindow and consists of independent blocks: a database of lakes, layers of the geographic information system (GIS), the Bing Maps cartographic platform, combined into a single system for searching and information processing of data. The catalog structure contains a GIS section that allows for a visual representation of spatial cartographic data. The system contains vector and raster geographic information layers. The electronic catalog of lakes and the database are used to store and process data in an interactive mode, which allows for highly reliable automated diagnosis with elements of an interactive mode and georeferencing using reference points of satellite imagery data.

Keywords: lakes, geographic information system, GIS, database, monitoring, cartography.

REFERENCES

Vaskov I.M. K voprosu o metodologii i metodah izucheniya gleyacialnih selei i ih genezisa [On the issue of methodology and methods of studying glacial mudflows and their genesis] / Selevie potoki: katastrofi, risk, prognoz, zashita: Materiali IV mejdunarodnoi konferencii Rossii. – Irkutsk: Izdatelstvo Instituta geografii im. V.B. Sochavi. – SO RAN, 2016. – PP. 28-36. (in Russian)

Dergacheva I.V., Myagkov S.S., Dergachev K.V. Katalogizaciya visokogornih ozer Uzbekistana kak mera predupredeniya selei prorivnogo genezisa [Cataloguing high-mountain lakes of Uzbekistan and transboundary river basins as a measure to prevent mudflows of breakthrough genesis] // GEORISK, Mejdunarodniy nauchniy jurnal. – Tom 17. № 4. 2023. – PP. 28-40. (in Russian)

Ivanov P.V. Klassificaciya ozer mira po velicine i srednei glubine [Classification of lakes of the world by size and average depth] / Bull. LGU, 1949. – № 21. – PP. 29-37. (in Russian)

Nikitin A.M., Sharabaev V.A. K voprosu o rasprostranenii i genezise ozer Pamira [On the question of the distribution and genesis of the Pamir lakes] // Trudi SANII, 1982. – Vip. 87(168). – PP. 67-71. (in Russian)

Nikitin A.M. Ozera Srednei Azii [Lakes of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 106 p. (in Russian)

Reizvih V.N., Nikitin A.V., Abramov N.M. Vodnii resursi ozer Srednei Azii [Water resources of lakes of Central Asia] // Trudi SARNIGM, 1972. – Vip. 62(77). – PP. 17-29. (in Russian)

Electronic resources:

Mezhdunarodnyy komitet ozer i Prirodoohhrannaya Programma Organizatsii Obyedinennykh Natsiy «Perspektivny mirovykh ozer: Prizyv k Deystviyu» [International Committee on Lakes and the United Nations Environment Programme, “World Lakes Outlook: A Call to Action”], UNEP, 2003. URL: <http://www.ilec.or.jp/wwf/eng>

Rezolyutsiya ob ustoychivom upravlenii ozerami [Resolution on sustainable lake management]. URL: <https://www.ilec.or.jp/en/un-cooperation/mainstreaminglakes>

