

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

№3
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

**№ 3
2025**

Тошкент

ТАҲРИР КЕНГАШИ

Таҳрир кенгаши раиси:

Ҳабибуллаев Шерзод
Ҳабибуллаҳўжаевич

Масъул котиб:

Рўзиева Малоҳат Бахтиёровна

Таҳрир кенгаши аъзолари:

Тажиев Баҳодир Саъдуллаевич
Алихонов Борий Ботирович
Абдурахманов Иброҳим Юлчиевич
Ҳамраев Шавкат Раҳимович
Нишонов Баҳриддин Эркинович

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

Бош муҳаррир:

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

Бош муҳаррир ўринбосари:

Ҳикматов Фазлиддин,
г.ф.д., проф.

Таҳрир ҳайъати аъзолари:

Абдулахатов Эркин Икромович, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич, ф.-м.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Аденбаев Бахтиёр Ембергенович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Агзамов Файзулла Саидқабарович, и.ф.н. (Ўзбекистон); Азизова Раъно Гаффаровна, к.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Арушанов Михаил Львович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Аҳмедова Тамара Абдурахимовна, тех.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Бабушкин Олег Леонидович, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Верещагина Наталья Григорьевна, к.ф.н. (Ўзбекистон); Гафуров Акмал Акрамович, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Гуния Гарри Сергеевич, г.ф.д., проф. (Грузия); Гушина Дарья Юрьевна, г.ф.д. (Россия); Дергачёва Ирина Викторовна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Карандаева Лидия Михайловна, тех.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Кадиров Бахтиёр Шарафиддинович, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Мамаджанова Гавхар Аҳматхоновна, ф.-м.ф.д. (Буюк Британия); Мурадов Шухрат Одилович, тех.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Мягков Сергей Владимирович, тех.ф.д., к.и.х. (Ўзбекистон); Нишонов Мухтор Мадаминович, ф.-м.ф.н., доц. (Ўзбекистон); Рахимов Эргашали Юлдашевич, т.ф.ф.д., к.и.х. (Ўзбекистон); Раҳмонов Комилжон Раджабович, г.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Рафиқов Ваҳоб Асомович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Тилляходжаева Зухраҳон Джаҳангирова, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Тлеумуратова Бибигуль Сариевна, ф.-м.ф.д. (Ўзбекистон); Тургунов Данияр Маннапжанович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Умирзақов 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 Маъмуржон Жанузакович, 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. (Қозғоғистон); Эгамбердиев Ҳамракул Турсункулович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Юнусов Голиб Ходжаевич, 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. Таҳририят тақриздан ўтмаган мақолаларни қайтариш мажбуриятини олмага.

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

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

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

Таъсисчи: Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги

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

ISSN 2181-1261

© Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги, 2025

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель редакционного совета:

Хабибуллаев Шерзод
Хабибуллахужаевич

Члены редакционного совета:

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

Ответственный секретарь:

Рузиева Малохат 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.г.н. (Узбекистан); Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич, д.ф.-м.н., проф. (Узбекистан); Аденбаев Бахтиёр Ембергенович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Агзамов Файзулла Саидакбарович, 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); Гушина Дарья Юрьевна, д.г.н. (Россия); Дергачёва Ирина Викторовна, д.ф.г.н. (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 Шухрат 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); Рахимов Эргашали Юлдашевич, д.ф.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Рахмонов Комилжон Раджабович, д.ф.г.н., доц. (Узбекистан); Рафиков Вахоб Асомович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Тилляходжаева Зухраhon Джахангировна, д.ф.г.н. (Узбекистан); Тлеумуратова Бибигуль Сариевна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Тургунов Данияр Маннапжанович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Умирзаков Гуломжон Унгарбаевич, 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 Рахматджанович, д.т.н., доц. (Таджикистан); Фролова Наталья Леонидовна, д.г.н., проф. (Россия); Чембарисов Эльмир Исмаилович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Чередниченко Александр Владимирович, д.г.н., проф. (Казахстан); Эгамбердиев Хамракул Турсункулович, д.г.н., проф. (Узбекистан); Юнусов Голиб Ходжаевич, д.г.н., доц. (Узбекистан); Якубов Мурод Адилевич, 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@nigmi.uz

ISSN 2181-1261

© Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, 2025

EDITORIAL COUNCIL

Chairman of the Editorial Council:

Sherzod Khabibullakhujaevich
Khabibullaev

Assistant Editor:

Ruzieva Malokhat Bakhtiyorovna

Members of the Editorial Council:

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

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Bakhtiyar 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)*; Bakhtiyor Fayzievich Abdurakhimov, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; Bakhtiyor Embergenovich Adenbaev, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; Fayzulla Saydakbarovich Agzamov, *Ph.D. in Econ. Sci. (Uzbekistan)*; 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)*; Lidiya Mikhaylovna Karandaeva, *Ph.D. in Tech. Sci. (Uzbekistan)*; Bakhtiyor Sharafiddinovich Kadirov, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; Gavkhar Akhmatkhonovna Mamadjanova, *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)*; Ergashali Yuldashevich Rakhimov, *Ph.D. in Tech. (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 Kholmiraev, *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@nigmi.uz

ISSN 2181-1261

© Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, 2025

МУНДАРИЖА

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Б.М. Холматжанов, З.Ш. Ўсаров

Чирчиқ дарёси ҳавзасида ёғинлар режимидаги ўзгаришлар 8

Б.Ш. Кадиров, М.Н. БобохоноваЭль-Ниньо – Жанубий тебраниш ҳодисаси ва унинг Ўзбекистонда
ёғингарчилик режимида таъсири 16**Д.В. Булгакова, Ю.А. Тиллаев, А.В. Соловейчик**Ўзбекистонда астрономик кузатишларни олиб боришга таъсир этувчи
метеорологик параметрларнинг замонавий таҳлили 25

ГИДРОЛОГИЯ

Д.Ў. Ярашев, Ғ.Ў. Умирзоқов, А.А. ГафуровМасофадан зондлаш асосида Амударё ҳавзасида қор қоплами ўзгаришларини
мониторинг қилиш (2001-2025 йй.)..... 35**Г.У. Жумабаева, Л.Ғ. Алимардонов, Ф. Хикматов**Тоғ дарёлари муаллақ окизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш
усулининг вариантлари ҳақида 48**Ў.А. Балхиев, К.Ф. Ғофуржонов, Д.М. Турғунов**Писком дарёси оқимини турли прогнозлаш моделлари асосида баҳолашнинг
илмий асослари 57

АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

М.Л. Арушанов, Х.У. Умеров

NOAA/AVHRR маълумотлари бўйича ўсимлик қоплами мониторинги 68

ШАРҲЛАР

Б.Ш. Кадиров, Д.М. ТурғуновОб-ҳавога фаол таъсир этиш соҳасидаги замонавий ютуқлар (2010-2025 йй.):
халқаро тажриба ва Ўзбекистон учун мослаштириш масалалари 79**Б.Э. Нишонов, И.А. Каримов, М.А. Плоцен, Л.Н. Гранкина**

Ўзбекистонда 2024 йилда атмосфера ҳавосининг сифати 83

ХОТИРА ВА ЮБИЛЕЙЛАР

Камалов Баҳодир Асомовичнинг ёрқин хотирасига бағишланади! 94

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Б.М. Холматжанов, З.Ш. Усаров

Изменение режима осадков в бассейне реки Чирчик 8

Б.Ш. Кадилов, М.Н. Бобохонова

Явление Эль-Ниньо – Южное колебание и его влияние на режим осадков в Узбекистане 16

Д.В. Булгакова, Ю.А. Тиллаев, А.В. Соловейчик

Современный анализ метеорологических параметров, влияющих на проведение астрономических наблюдений в Узбекистане 25

ГИДРОЛОГИЯ

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

Мониторинг изменений снежного покрова в бассейне реки Амударья на основе данных дистанционного зондирования (2001-2025 гг.) 35

Г.У. Жумабаева, Л.Г. Алимардонов, Ф. Хикматов

О вариантах метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек 48

У.А. Балхиев, К.Ф. Гофуржонов, Д.М. Тургунов

Научные основы оценки стока реки Пскем на основе различных моделей прогнозирования 57

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М.Л. Арушанов, Х.У. Умеров

Мониторинг растительного покрова по данным NOAA/AVHRR 68

ОБЗОРЫ

Б.Ш. Кадыров, Д.М. Тургунов

Современные достижения в области активных воздействий на погоду (2010–2025 гг.): международный опыт и вопросы адаптации для Узбекистана 79

Б.Э. Нишонов, И.А. Каримов, М.А. Плоцен, Л.Н. Гранкина

Качество атмосферного воздуха в Узбекистане в 2024 году 83

ХРОНИКА И ЮБИЛЕИ

Посвящается светлой памяти Камалова Бахадыра Асомовича! 94

CONTENTS

METEOROLOGY

B.M. Kholmatjanov, Z.Sh. Usarov

Changes in precipitation regime in the Chirchik river basin 8

B.Sh. Kadirov, M.N. BobokhonovaThe El Niño – Southern oscillation phenomenon and its influence
on the precipitation regime in Uzbekistan 16**D.V. Bulgakova, Yu.A. Tillaev, A.V. Soloveychik**Modern analysis of meteorological parameters affecting astronomical observations
in Uzbekistan 25

HYDROLOGY

D.U. Yarashev, G.U. Umirzoqov, A.A. GafurovMonitoring snow cover changes in the Amudarya river basin using remote sensing
(2001-2025) 35**G.U. Jumabayeva, L.G. Alimardonov, F. Khikmatov**On options of the genetic analysis method of the suspended sediments runoff
of mountain rivers 48**U.A. Balkhiev, K.F. Gofurjonov, D.M. Turgunov**Scientific basis for assessing the Pskem river flow based on various forecasting
models 57

ENVIRONMENTAL MONITORING

M.L. Arushanov, Kh.U. Umerov

Vegetation cover monitoring based on NOAA/AVHRR data 68

REVIEWS

B.Sh. Kadyrov, D.M. TurgunovModern achievements in the field of weather modification (2010-2025):
international experience and adaptation issues for Uzbekistan 79**B.E. Nishonov, I.A. Karimov, M.A. Plotsen, L.N. Grankina**

Atmospheric air quality in Uzbekistan in 2024 83

CHRONICLE AND ANNIVERSARIE

Dedicated to the memory of Kamalov Bakhadir Asomovich! 94

МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY

УДК: 551.582

ЧИРЧИҚ ДАРЁСИ ҲАВЗАСИДА ЁГИНЛАР РЕЖИМИДАГИ ЎЗГАРИШЛАР**Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2*}, З.Ш. ЎСАРОВ¹**¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, usarovzohid94@gmail.com² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz

Аннотация. Мақолада Тошкент вилояти ҳудудида жойлашган 5 та метеорология станцияларининг 32 йиллик маълумотлари асосида ёгинлар миқдорлари қаторлари статистик таҳлил қилинган. Тадқиқ этилган давр мобайнида Чирчиқ дарёси ҳавзасида ёгинлар миқдорининг кучсиз камайиб бориши билан бирга кучли ёгинли кунлар сони ортиб бораётганлиги аниқланган. Бунинг оқибатида ҳавзада сел-сув тошқинлари эҳтимоллиги ортиши мумкин.

Калит сўзлар: Чирчиқ дарёси ҳавзаси, атмосфера ёгинлари, ёгинлар режими, кучли ва жуда кучли ёмғир, кучли ва жуда кучли қор, Манн-Кендалл тести.

Кириш. Глобал иқлим ўзгариши шароитида дунёнинг турли минтақаларида ёгинлар режимида ҳам муайян ўзгаришлар содир бўлмоқда. Иқлим ўзгариши бўйича ҳукуматлараро экспертлар гуруҳининг Олтинчи баҳоловчи маърузасида “Қуруқликдаги ўртача ёгингарчилик миқдори, эҳтимол, 1950 йилдан буён ошган, 1980 йиллардан буён эса тезроқ ортиш суръати (ўртача ишонччилик билан) кузатилмоқда” деб таъкидланган [МГЭИК, 2021]. Ҳозирги вақтда ёгингарчилар таркибида сел-сув тошқинларини вужудга келтирувчи жадал ёгинларни ўргантиш бўйича жаҳонда кўплаб тадқиқотлар бажарилмоқда. Сўнгги йилларда хорижлик олимлар томонидан дунёнинг турли минтақаларида кунлик ёгингарчилик миқдорининг ўзгариши, муссон тўлқинларининг юқори кенгликларга чиқиши ва сув тошқинларининг келиб чиқишини аниқлаш, сув тошқини мавсумида минтақавий кучли ёгингарчилик хусусиятлари, уларнинг оқибатлари ва прогнозига оид бир қатор илмий ишлар эълон қилинган [Gassabi et al., 2023; Sung et al., 2023; Xie et al., 2023; Zheng et al., 2024].

Ўзбекистон ҳудудида ёгинларнинг шаклланиши, тақсимоти ҳамда уларнинг минтақа устидаги атмосфера циркуляцияси шароитлари билан боғлиқлиги масалалари бир қатор ўзбекистонлик олимлар томонидан тадқиқ этилган [Инагамова, 1999; Курбаткин, Ушинцева, 2012; Холматжанов, 2019]. Сўнгги йилларда Ўзбекистонда ҳам иқлим ўзгаришининг таъсири кучайиб бораётгани кузатилмоқда. Ҳароратнинг йилдан йилга ортиб бориши билан бир қаторда сув тошқинлари ва сел ҳодисаларига сабаб бўлувчи жадал ёгингарчиликлар такрорланувчанлиги ва жадаллигининг ортиши минтақада хавфли гидрометеорологик ҳодисалар сонининг ортишига сабаб бўлмоқда [Дергачёва, Салимова, 2022]. Ўзбекистон ҳудудида кучли ёгинлар ва уларнинг тақсимоти бўйича 2071-2100 йилларни қамраб олувчи RCP 8.5 сценарийси бўйича CMIP5 иқлимий моделлари натижаларига кўра, йилнинг илиқ мавсумида Ўзбекистоннинг тоғли ҳудудларида сел оқимлари фаоллиги ортиб бориши кутилмоқда [Mamadjanova, Leskebusch, 2022].

Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари. Чирчиқ дарёси ҳавзасида кузатилган атмосфера ёгинлари режимидаги узоқ муддатли ўзгаришларнинг хусусиятларини таҳлил

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

килиш тадқиқотнинг **мақсади**, Тошкент вилояти ҳудудида танланган метеорология станцияларида қайд этилган кўп йиллик маълумотлар асосида кучли ва жуда кучли ёғинлар режимидаги ўзгаришларни статистик баҳолаш тадқиқотнинг **вазифаси** ҳисобланади.

Тадқиқот объекти ва предмети. Тадқиқот объектини Чирчиқ дарёси ҳавзасида атмосфера ёғинлари режими, унинг предмети эса ёғинлар режимидаги ўзгаришлар, кучли ва жуда кучли ёғинларнинг йил ичидаги тақсимооти, такрорланувчанлиги ва ўзгарувчанлигини тадқиқ этиш масалалари ташкил этади.

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усули. Тадқиқотда бирламчи манба сифатида Тошкент вилоятида жойлашган метеорология станцияларида 1991-2022 йилларда қайд этилган атмосфера ёғинлари маълумотларидан фойдаланилди (1-жадвал). Улар гидрометеорологик маълумотларни қайта ишлашда кенг қўлланилувчи статистик усуллар ёрдамида таҳлил қилинди. Ёғинлар режимидаги йиллараро ўзгарувчанлик нопараметрик Манн-Кендалл, ўзгариш суръатлари эса Тейл-Сен тести ёрдамида микдорий баҳоланди [Манн, 1945; Кендалл, 1975; Тейл, 1992; Сен, 1968].

1-жадвал

Тадқиқотда маълумотлари фойдаланилган метеорология станциялари ҳақида маълумот

Таблица 1

Сведения о метеорологических станциях, данные которых использованы в исследовании

Table 1

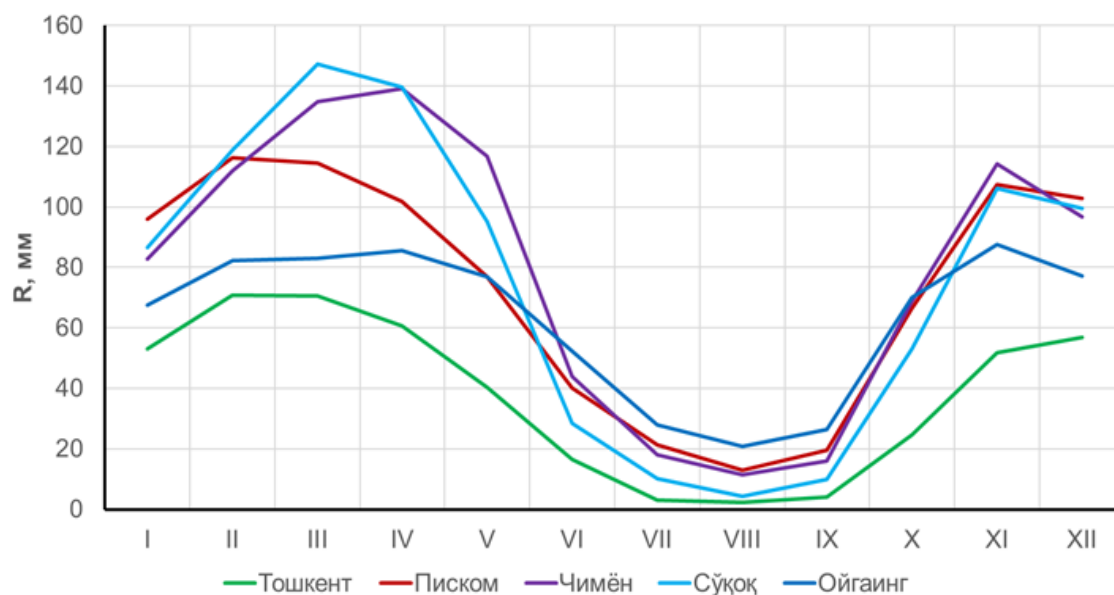
Information about the meteorological stations whose data were used in the study

№	Станция	Денгиз сатҳидан баландлиги, м	Географик координатаси		Ўртача йиллик ёғин миқдори, мм (1991-2020 йй.)	Ўртача йиллик ҳаво ҳарорати, °C (1991-2020 йй.)
			кенглик	узунлик		
1	Тошкент-обсерватория	477,4	41,20	69,18	458,0	15,1
2	Писком	1258,0	41,54	70,22	881,1	9,8
3	Сўқоқ	1351,0	41,10	69,40	900,9	11,6
4	Чимён	1670,0	41,33	70,01	956,9	8,9
5	Ойгаинг	2151,0	42,10	70,53	757,4	3,0

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Тадқиқ этилган метеорология станцияларида Ўрта Осиёнинг табиий географик шароитига мос равишда йил давомида ёғинлар мавсумий жиҳатдан нотекис тақсимоотга эга бўлиб, ёғинларнинг асосий қисми совуқ ярим йилликда кузатилади (1-расм). Тошкентда тадқиқ этилган 32 йиллик даврда кўп йиллик ўртача ёғинар миқдори 455,4 мм ни ташкил этиб, баландлик ортиши билан бу миқдор ортиб боради (Пискомда – 824,6 мм, Сўқоқда – 899,0 мм, Чимёнда – 955,0 мм). Бироқ 2000 м дан юқорида йиллик ёғинлар миқдори камая бошлайди – Ойгаингда 757,5 мм ни ташкил этади.

Ёғинлар миқдорининг йиллараро ўзгарувчанлиги таҳлили деярли барча станцияларда уларнинг кучсиз камайиш тамойили мавжудлигини кўрсатди. Фақат Чимён станцияси ҳудудида йиллик ёғинлар миқдорининг ортиши қайд этилган (2-расм).

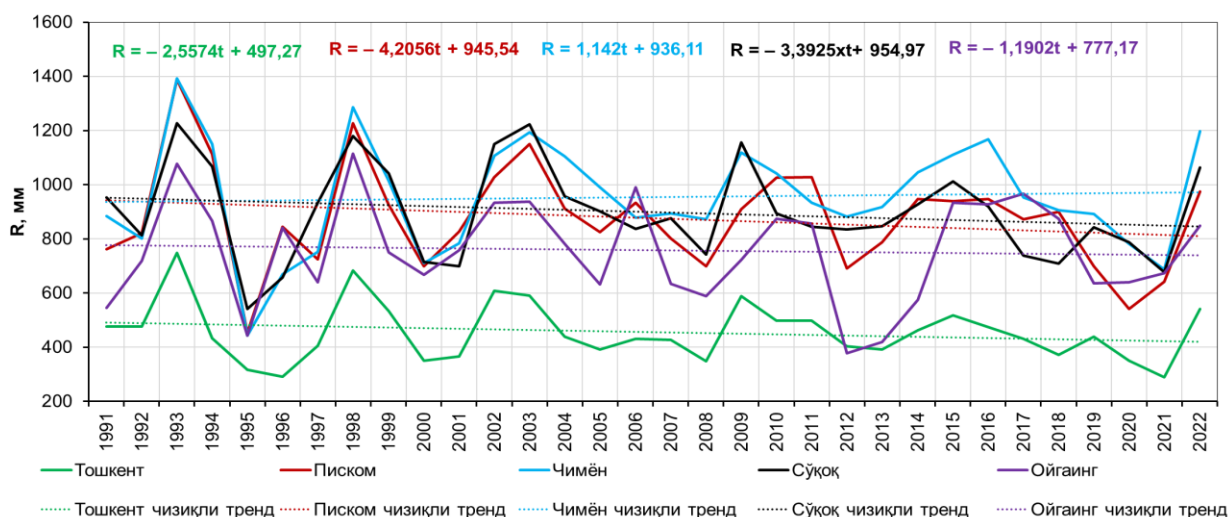
Манн-Кендалл тести қийматлари Тошкентда -0,89, Пискомда -0,76, Сўқоқда -1,25, Ойгаингда -0,08 ва ёғинлар миқдорининг ортиши кузатилаётган Чимёнда 0,31 ташкил этди (2-жадвал). Бу ўзгарувчанлик тамойиллари статистик аҳамиятсиз бўлиб, ўзгариш суръатлари мос равишда -22,83 мм/10 йил, -32,06 мм/10 йил, -47,99 мм/10 йил, -3,57 мм/10 йил ва 10,03 мм/10 йил га тенг.



1-расм. Тошкент вилоятида танланган метеорология станцияларида кўп йиллик ўртача ойлик ёғинлар миқдорининг йил ичидаги тақсимооти (1991-2022 йй.)

Рис. 1. Внутригодовое распределение многолетних средних месячных осадков на выбранных метеорологических станциях Ташкентской области (1991-2022 гг.)

Fig. 1. Intra-annual distribution of long-term monthly precipitation at selected meteorological stations in Tashkent Region (1991–2022)



2-расм. Тошкент вилоятида танланган метеорология станцияларида ёғинлар миқдорининг йиллараро ўзгарувчанлиги (1991-2022 йй.)

Рис. 2. Межгодовая изменчивости количества осадков на выбранных метеорологических станциях Ташкентской области (1991-2022 гг.)

Fig. 2. Interannual variability of precipitation at selected meteorological stations in Tashkent Region (1991–2022)

2-жадвал

Ёғинлар миқдори, кучли ёғинлар улуши, кучли ёмғир ва қорли кунлар сонининг Манн-Кендалл Zs тести қийматлари ва ўзгарувчанлик тамойиллари (1991–2022 йй.)

Таблица 2

Значения Zs теста Манн-Кендалла и тенденции изменчивости количества осадков, доли сильных осадков, числа дней с сильным дождем и снегом (1991-2022 гг.)

Table 2

Mann-Kendall Zs test values and trends in precipitation amount, proportion of heavy precipitation, number of days with heavy rain and snow (1991–2022)

	Тошкент		Писком		Чимён		Сўқоқ		Ойгаинг	
	Zs	Сен қиялиги	Zs	Сен қиялиги	Zs	Сен қиялиги	Zs	Сен қиялиги	Zs	Сен қиялиги
Ёғинлар миқдори	-0,89	-22,83	-0,76	-32,06	0,31	10,03	-1,25	-47,99	-0,08	-3,57
Кучли ёғинлар улуши	2,38*	0,04	0,08	0,00	0,54	0,02	1,09	0,04	0,21	0,01
Кучли ёмғирли кунлар сони	1,10	0,54	-0,62	-0,85	0,05	0,00	-0,23	0,00	-1,12	-0,61
Кучли қорли кунлар сони	-1,18	-0,59	1,34	0,95	1,84+	1,46	-0,91	-0,82	0,33	0,56

Изоҳ. Синалган аҳамиятлилиқ даражалари: *** $p < 0,001$ учун, ** $p < 0,01$ учун, * $p < 0,05$ учун, + $p \geq 0,1$ учун.

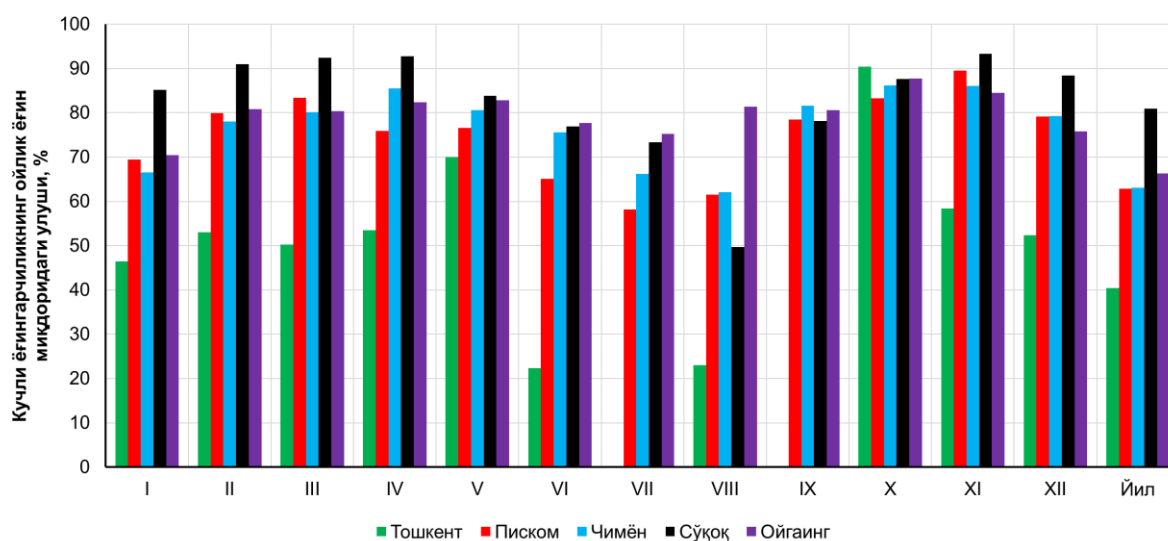
Примечание. Проверенные уровни значимости: *** для $p < 0,001$, ** для $p < 0,01$, * для $p < 0,05$, + для $p \geq 0,1$.

Note. Tested significance levels: *** for $p < 0,001$, ** for $p < 0,01$, * for $p < 0,05$, + for $p \geq 0,1$.

Тадқиқот ишида кучли ва жуда кучли ёғинларнинг умумий ёғингарчилик миқдоридаги улуши статистик таҳлил қилинди (3-расм). Йил давомида Тошкентда кучли ва жуда кучли ёғинларнинг ойлик ёғин миқдоридаги улуши деярли барча ойларда бошқа станцияларга нисбатан энг кичик (октябрь бундан мустасно) улушга эга бўлиб, ноябрь-апрель оралиғида 40-60%, майда 70%, июнь ва августда 20-25% оралиғида бўлса, июль ва сентябрда тадқиқ этилаётган даврда кучли ёғинлар қайд этилмаган. Октябрда Тошкентда қайд этилган барча ёғинларнинг 90% дан ортиқроғи кучли ва жуда кучли жадалликка эга бўлган. Тоғ станцияларининг барчасида кучли ва жуда кучли ёғинларнинг улуши деярли барча ойларда 50-90% оралиғидаги кўрсаткичларга эга. Августда биргина Сўқоқда бу кўрсаткич 26% ни ташкил этган.

Кучли ва жуда кучли ёғинлар улушининг вақт давомидаги ўзгарувчанлигини таҳлил қилиш натижалари унинг ортиб бораётганини кўрсатди (4-расм, 2-жадвал). Тадқиқ этилган барча станцияларда Ман-Кендалл тести мусбат қийматларга эга бўлиб, фақат Тошкентда р-қиймат ($Z_s = 2,38^*$) статистик аҳамиятли бўлиб чиқди. Ўзгарувчанлик тамойилининг Сен қиялиги ортиш тезлиги Чимёнда 0,02 %/10 йил, Тошкент ва Сўқоқда 0,04 %/10 йил, Пискомда эса ўзгаришсиз эканлигини кўрсатади.

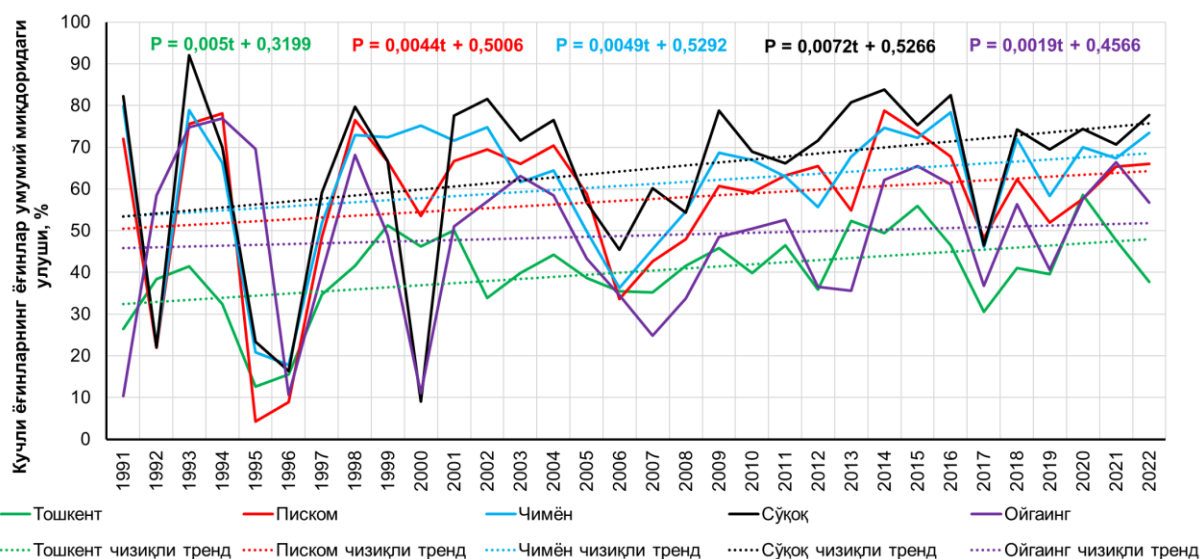
Кучли ва жуда кучли ёмғир кузатилган кунлар сони 1991-2022 йиллар оралиғида кескин ўзгаришларга учрамаган (5-расм, 2-жадвал). Олинган таҳлил натижалари йиллараро ўзгарувчанлик Манн-Кендалл тести Ойгаингда $Z_s = -1,12$, Пискомда $Z_s = -0,62$ ва Сўқоқда $Z_s = -0,23$, яъни статистик аҳамиятсиз камайиш, Тошкент ($Z_s = 1,10$) ва Чимёнда ($Z_s = 0,05$) эса ортиш тамойилига эга эканлигини кўрсатди.



3-расм. Тошкент вилоятида танланган метеорология станцияларида ёгинлар умумий миқдоридаги кучли ёгинлар (ёмғир, қор) улушининг йил ичидаги тақсимоти (1991–2022 йй.)

Рис. 3. Внутригодовое распределение доли сильных осадков (дождь, снег) в их общем количестве на выбранных метеорологических станциях Ташкентской области (1991–2022 гг.)

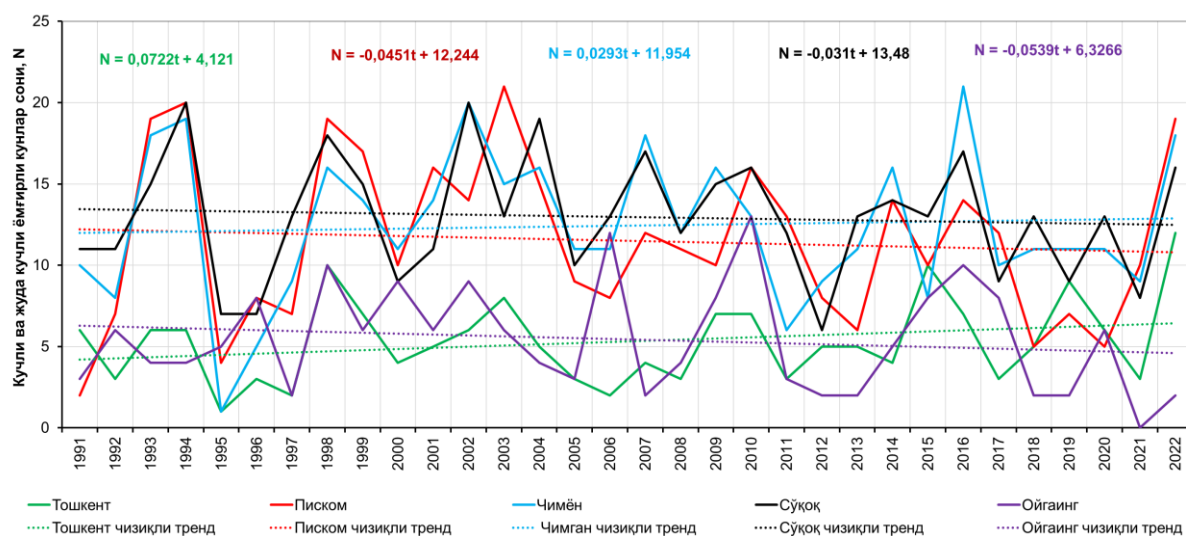
Fig. 3. Intraannual distribution of the proportion of heavy precipitation (rain, snow) in their total amount at selected meteorological stations in Tashkent Region (1991–2022)



4-расм. Тошкент вилоятида танланган метеорология станцияларида ёгинлар умумий миқдоридаги кучли ёгинлар (ёмғир, қор) улушининг йиллараро ўзгарувчанлиги

Рис.4. Межгодовая изменчивость доли сильных осадков (дождь, снег) в их общем количестве на выбранных метеостанциях Ташкентской области

Fig. 4. Interannual variability of the proportion of heavy precipitation (rain and snow) in total precipitation at selected meteorological stations in Tashkent Region

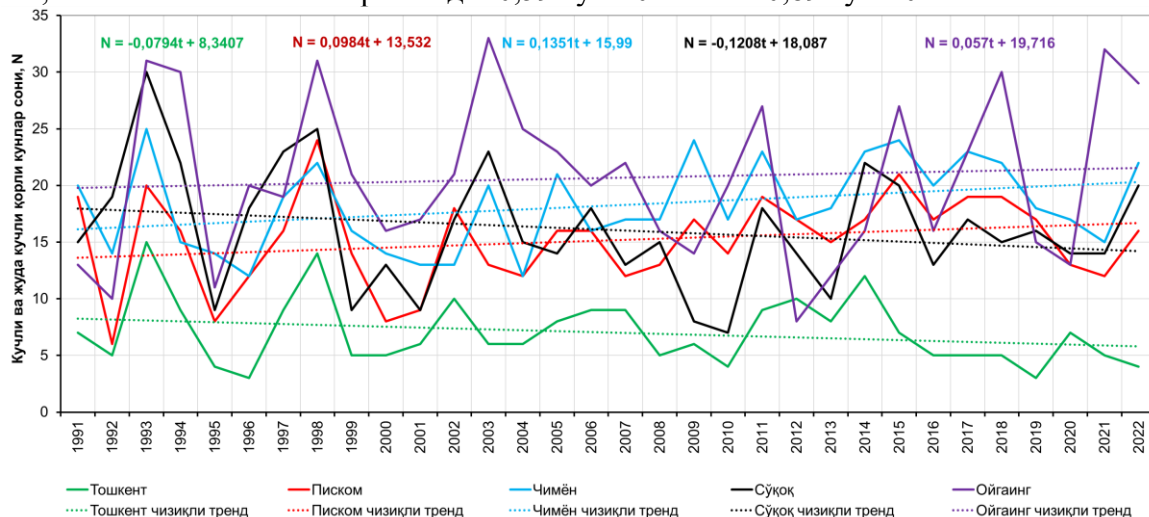


5-расм. Тошкент вилоятида танланган метеорология станцияларда кучли ва жуда кучли ёмғир кузатилган кунлар сонининг йиллараро ўзгарувчанлиги

Рис. 5. Межгодовая изменчивость числа дней с сильным и очень сильным дождем на выбранных метеорологических станциях Ташкентской области

Fig. 5. Interannual variability in the number of days with heavy and very heavy rainfall at selected meteorological stations in Tashkent Region

Тадқиқ этилган 32 йиллик даврда кучли ва жуда кучли қорли кунлар сони ҳам нотекис ўзгарувчанликка эга бўлган (6-расм, 2-жадвал). Тошкент ва Сўқоқда бундай кунлар сони статистик аҳамиятсиз камайиш тамойилига (мос равишда $Z_s = -1,18$ ва $Z_s = -2,23$) эга бўлиб, камайиш тезлиги мос равишда $-0,59$ кун/10 йил ва $-0,89$ кун/10 йилни ташкил этган.



6-расм. Тошкент вилоятида танланган метеорология станцияларида кучли ва жуда кучли қор кузатилган кунлар сонининг йиллараро ўзгарувчанлиги

Рис.6. Межгодовая изменчивость числа дней с сильным и очень сильным снегом на выбранных метеорологических станциях Ташкентской области

Fig. 6. Interannual variability in the number of days with heavy and very heavy snowfall at selected meteorological stations in Tashkent Region

Қолган станцияларда (Пискомда $Z_s = 1,34$, Ойгаингда $Z_s = 0,33$, Чимёнда $Z_s = 1,84+$) кучли ва жуда кучли қорли кунлар сонининг кучсиз ортиш тамойили кузатилган. Ортиш тезлиги бу станцияларда мос равишда 0,95 кун/10 йил, 0,56 кун/10 йил ва 1,46 кун/10 йил ни ташкил этган.

Хулоса. Давом этаётган иқлим ўзгариши шароитида тадқиқ этилган метеорология станцияларида ёғинлар режимида бир қатор ўзгаришлар содир бўлмоқда.

1. Чирчиқ дарёси ҳавзасида ёғинлар миқдорининг камаймоқда.

2. Иқлим исиши оқибатида кучли ва жуда кучли ёмғирли кунлар сонининг кучсиз ортиши ҳамда кучли ва жуда кучли қорли кунлар сонининг кучсиз камайиши фонида ёғинлар умумий миқдорида кучли ёғинлар улушининг ортмоқда.

3. Аниқланган ўзгариш тамойиллари ёғинлар миқдорининг камайишига қарамай кучли ва жуда кучли ёғинли кунлар сонининг ортиши сел-сув тошқинлари каби хавфли гидрометеорологик ҳодисалар эҳтимоллигини ошириши мумкин.

Миннатдорчилик. Ушбу тадқиқот иши Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтида Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш агентлиги томонидан молиялаштирилган АЛ-9124093586 “Турли даражадаги сув буғларининг ҳаракатини ўрганиш асосида Ўзбекистонда атмосфера дарёларининг ёғингарчиликларга таъсирини миқдорий баҳолаш дастурий маҳсулотини яратиш” амалий лойиҳаси доирасида бажарилган.

Муаллиф ҳиссаси. Б.М. Холматжанов: мақола ғояси, раҳбарлик. **З.Ш. Ўсаров:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, таҳлил қилиш, мақола матнини тайёрлаш. Муаллифлар мақоланинг нашрга тавсия этилган матнини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Дергачёва И.В., Салимова Б.Д. Исследование селевой активности в горных и предгорных районах Республики Узбекистан // Проблемы современной науки и образования, 2022. – 9 (178). – С. 48-52.

Инагамова С.И. Сильные осадки в Средней Азии. – Ташкент: САНИГМИ, 1999. – 481 с.

Курбаткин В.П., Ушинцева В.Ф. Атмосферные осадки источник водных ресурсов в Средней Азии. – Ташкент: НИГМИ, 2012. – 133 с.

МГЭИК, 2021: Резюме для политиков. В: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Массон-Дельмотт, М.П.Чжай, А. Пирани, С.Л.Коннорс, К.Пеан, С.Бергер, Н.Кауд, Ю. Чэнь, Л.Голдфарб, М.И.Гомис, М.Хуан, К.Лейтцелл, Э.Лонной, Дж. Б.Р.Мэтьюз, Т.К.Мэйкок, Т.Уотерфилд, О.Йелекчи, Р.Ю. и Б.Чжоу (ред.)]. Кембридж юниверсити пресс, 2021. – 41 с.

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

Gassabi Z., Karami C., Vazifex A., Habibi M. A study of the unprecedented penetration of the Indian monsoon into Iran in the summer of 2022 and an assessment of global and regional model forecasts // Dynamics of atmospheres and oceans, 2023. Vol. 103. – PP. 265-377.

Kendall M.G. Rank correlation measures. Charles Griffin. – London: 1975. – 202 p.

Mamadjanova G.A., Leckebusch G.C. Assessment of mudflow risk in Uzbekistan using CMIP5 models // Weather and Climate Extremes, 2022. Vol. 35, –PP. 23.

Mann H.B. Non-parametric tests against trend // Econometric, 1945. №13. – PP. 245-259.

Sen P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau // Journal of the American Statistical Association, 2012. Vol. 63, Iss. 324. – PP. 1379-1389.

Sung J.H., Kang D.H., Seo Y.-H., Kim B.S. Analysis of extreme rainfall characteristics in 2022 and projection of extreme rainfall based on climate change scenarios // Water, 2023. Vol. 15, Iss. 22. – PP. 3986.

Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics. Springer: Berlin. Germany, 1992. Vol. 12. – P. 18.

Xie J., Hsu P., Hu Y., Ye M., Yu J. Skillful extended-range forecast of rainfall and extreme events in East China based on Deep Learning // Weather and Forecasting, 2023. Vol. 38, Iss. 3. – PP. 467-486.

Zheng T., Zhen Z., Feng G., Zhao Y., Fan P. Characteristics of regional heavy rainfall in the pre-flood season in South China and prediction skill of NCEP S2S // Climate dynamics, 2024. – PP. 5863-5877.

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ОСАДКОВ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ЧИРЧИК

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2}, З.Ш. УСАРОВ¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, usarovzohid94@gmail.com

² Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, b.xolmatjanov@nuu.uz

Аннотация. В статье на основе 32-летних данных пяти метеорологических станций, расположенных на территории Ташкентской области, проведён статистический анализ рядов количества осадков. В исследуемый период выявлено незначительное уменьшение количества осадков в бассейне реки Чирчик, при этом количество дней с сильными осадками имеет тенденцию к увеличению. В результате этого вероятность возникновения селей и паводков в бассейне может возрасти.

Ключевые слова: бассейн реки Чирчик, атмосферные осадки, режим осадков, сильный и очень сильный дождь, сильный и очень сильный снег, тест Манна–Кендалла.

CHANGES IN PRECIPITATION REGIME IN THE CHIRCHIK RIVER BASIN

B.M. KHOLMATJANOV^{1,2}, Z.Sh. USAROV¹

¹ Hydrometeorological Research Institute, usarovzohid94@gmail.com

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, b.xolmatjanov@nuu.uz

Abstract. The article presents a statistical analysis of precipitation amount series based on 32 years of data from five meteorological stations located in the Tashkent region. During the study period, a slight decrease in precipitation was observed in the Chirchik River basin, while the number of days with heavy precipitation tended to increase. As a result, the probability of mudflows and floods in the basin may increase.

Keywords: Chirchik River basin, atmospheric precipitation, precipitation regime, heavy and very heavy rain, heavy and very heavy snow, Mann–Kendall test.

REFERENCES

Dergachyova I.V., Salimova B.D. Issledovanie selevoy aktivnosti v gornyx i predgornyx rayonakh Respubliki Uzbekistan [Study of Mudflow Activity in the Mountainous and Foothill Regions of the Republic of Uzbekistan] // Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya, 2022. – 9 (178). – S. 48-52. (in Russian)

Inagamova C.I. Silnie osadki v Sredney Azii [Heavy Precipitation in Central Asia]. – Tashkent: SANIGMI, 1999. – 481 s. (in Russian)

Kurbatkin V.P., Ushinseva V.F. Atmosfernye osadki istochnik vodnix resursov v Sredney Azii [Atmospheric precipitation as a source of water resources in Central Asia]. – Tashkent: NIGMI, 2012. – 133 s. (in Russian)

MGEIK, 2021: Rezyume dlya politikov. V: Izmenenie klimata, 2021 god: Fizicheskaya nauchnaya osnova. Vklad Rabochey gruppy i v Shestoy otsenochnyy doklad Mezhpripravitel'stvennoy gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata [Masson-Del'mott, M.P. Chzhay, A. Pirani, S.L. Connors, K. Pean, S. Berger, N. Kaud, Yu. Chen', L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Khuan, K. Leyttzell, E. Lonnoy, Dzh. B.R. Metuyuz, T.K. Meykok, T. Uoterfild, O. Yelekchi, R.Yu. i B. Chzhou (red.)]. Kembridj universiti press, 2021. – 41 s. (in Russian)

Xolmatjanov B.M. Regionalnaya sirkulyasiya atmosferi, osobennosti ee vliyaniya na izmenenie klimata Sredney Azii i zagryaznenie vozduxa v gornix rayonax Uzbekistana [Regional atmospheric circulation, features of its impact on climate change in Middle Asia and air pollution in the mountainous regions of Uzbekistan]. Diss na soisk. uchenoy stepeni dok. geograf. nauk. – Tashkent, 2019. – 299 s. (in Russian)

УДК 551.58.+551.588.16

ЭЛЬ-НИНЬО – ЖАНУБИЙ ТЕБРАНИШ ҲОДИСАСИ ВА УНИНГ ЎЗБЕКИСТОНДА ЁҒИНГАРЧИЛИК РЕЖИМИГА ТАЪСИРИ

Б.Ш. КАДИРОВ¹*, М.Н. БОБОХОНОВА¹

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bkadirov53@gmail.com

Аннотация: Мақолада 1963-2024 йиллар даврида кузатишган барча Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари давомида Ўзбекистондаги 50 та метеорология станцияларида кузатишган ёгингарчилик маълумотларидан фойдаланиб ENSO ҳодисасининг Ўзбекистон ҳудудидаги ёгинлар миқдорининг ўзгарувчанлигига таъсири баҳоланган. Олинган натижалар Эль-Ниньо ҳодисалари даврида барча метеостанцияларда мавсумий ёгингарчилик меъёрдан ортиқ, Ла-Нинья давларида эса, аксинча, кам бўлганини кўрсатди. Бу тамойил, айниқса, баландлик ортими билан яққол намоён бўлган.

Калит сўзлар: ENSO ҳодисаси, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, нейтрал фаза, ёгингарчилик, Ўзбекистон иқлими, атмосфера циркуляцияси.

Кириш. Иқлим тизимидаги табиий ўзгаришлар инсоният ҳаётига ва иқтисодий фаолиятга катта таъсир кўрсатади. Шундай глобал миқёсдаги табиий ҳодисалардан бири – Эль-Ниньо Жанубий Тебраниши (*El Nino-Southern Oscillation – ENSO*) бўлиб, у Тинч океанидаги ҳарорат ва атмосфера босими ўзгаришлари орқали бутун дунё иқлимига таъсир кўрсатади. Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари нафақат тропик ҳудудларда, балки Марказий Осиё, жумладан, Ўзбекистонда ҳам ёгингарчилик режимининг сезиларли ўзгаришига сабаб бўлади [Lenssen et al., 2020].

Хориж мамлакатларида Г.В.Груза, Э.Я.Ранькова, Л.К.Клещенко, Л.Н.Аристова, Д.Ю.Гущина, М.А.Петросянц, Е.В.Соколихина, К.Е.Тренберт каби кўплаб олимлар Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисаларининг пайдо бўлиши, уларни прогнозлаш, улар келтириб чиқарадиган салбий (ижобий) оқибатлар, океан ва атмосфера циркуляцияси ўртасидаги боғлиқликлар ҳамда бу жараёнларнинг турли ҳудудларга таъсирини ўрганган.

ENSO ҳодисаси замонавий метеорология ва иқлимшуносликнинг энг муҳим тадқиқот объектларидан бири ҳисобланади. Бу ҳодиса глобал миқёсда атмосфера ва океанларда кечаётган мураккаб, ўзаро боғлиқ жараёнларнинг мужассам намунасидир [Гущина, 2014; Кружкова, Панкратенко, 1991].

* Масъул муаллиф: bkadirov53@gmail.com, тел.: +998 90 174-85-86

Эль-Ниньо ва Ла-Нинья жараёнлари ривожланиши Тинч океанининг экваториал қисмида содир бўлса-да, у кўплаб ҳудудларга ўз таъсирини ўтказди. ENSO дунёнинг кўплаб ҳудудларида экстремал об-ҳаво, озиқ-овқат, ишлаб чиқариш, сув таъминоти ва ҳатто инсон саломатлигига ҳам таъсир кўрсатиши мумкин. Тарихий жиҳатдан олимлар Эль-Ниньо жадаллигини Тинч океанининг экваториал минтақасида океан юзаси ҳароратининг (ОЮХ) олдиндан танланган чегарадан ошиб кетган аномалиялари асосида таснифлаганлар. 1978 йилда W.H.Quinn ва бошқалар 1726 йилдан бошлаб 1 дан 4 гача бўлган (кучли, ўртача, заиф ва жуда заиф) Эль-Ниньо ҳодисалари рўйхатини ва ҳодисанинг жадаллиги ўлчовини тақдим этган [Trenberth, 1997].

Россия Федерацияси ҳудудида иқлим аномалияларининг ENSO ҳодисаси билан статистик алоқаларини тадқиқ этиш В.Г.Груза бошчилигидаги бир гуруҳ олимлар томонидан амалга оширилган. Бу тадқиқотлар собиқ иттифоқ ҳудудида мавсумий (ўртача 3 ойлик) иқлим аномалияларининг шаклланиши ENSO ҳодисаси билан статистик жиҳатдан боғлиқ ҳудудлар ва фасллар мавжуд эканлигини кўрсатган [Груза и др., 1991].

О.Л.Бабушкин ва С.И.Инагамовалар томонидан олиб борилган тадқиқот ишида Тинч океанидаги Эль-Ниньонинг Ўрта Осиё минтақасида синоптик жараёнларнинг ривожланишига таъсири ҳамда уларнинг статистик хусусиятлари – такрорланиш меъёри (ҳолатлар сони) ва умумий давомийлигидан (кунлар сони) четланишлар баҳоланган [Бабушкин, Инагамова, 2019]. ENSO ҳодисасининг Ўзбекистондаги об-ҳаво шароитига таъсирини аниқлаш бўйича тадқиқотлар Л.Е. Скрипникова томонидан ҳам олиб борилган. Тадқиқот натижаларига кўра, ёмғир ҳодисаларининг 70% Эль-Ниньо даврига тўғри келган. Ла-Нинья билан боғлиқ 85% ҳолларда Ўзбекистон ҳудудида ёғингарчилик танқислиги даври кузатилган [Скрипникова, 2006].

Мазкур тадқиқотда, юқоридаги тадқиқот ишларидан фарқи равишда, ENSO ҳодисасининг жорий босқичи ва «ёши» (яъни, ҳодиса бир жараён сифатида бошланиши, максимал ривожланиши, тугаши, жадаллиги, давомийлиги ва ҳ.к.) ҳисобга олинган.

Тадқиқотнинг **объекти** Ўзбекистон ҳудудидаги ёғингарчилик режими ва унинг Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари билан боғлиқ ўзгаришлари, **предмети** эса Эль-Ниньо ва Ла-Нинья фазалари даврида ёғингарчилик миқдори ва динамикасининг Ўзбекистоннинг турли ҳудудларидаги ўзгариш хусусиятларидан иборат.

Тадқиқотнинг **мақсади** ENSO ҳодисасининг Ўзбекистон иқлимига, хусусан, ёғингарчилик режимига таъсирини статистик баҳолаш ва таҳлил қилишдан иборат. Ушбу мақсадни амалга ошириш учун тадқиқотда қуйидаги **вазифалар** белгиланди: 1) 1963-2024 йиллар давомида Ўзбекистонда кузатилган ёғингарчилик аномалияларини таҳлил қилиш; 2) шу даврда рўй берган Эль-Ниньо, Ла-Нинья ва нейтрал фазаларни аниқлаш ҳамда уларнинг давомийлиги, жадаллиги ва даврийлигини ўрганиш; 3) ENSO ҳодисаси билан ёғингарчилик ўртасидаги боғлиқликни статистик усуллар ёрдамида баҳолаш.

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари. Ишни тайёрлашда Америка Қўшма Штатларининг National Centers for Environmental Information National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEI NOAA) ҳукумат веб-саҳифасидан ҳамда Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлигининг ойлик ёғингарчилик маълумотларидан фойдаланилган. Уларни қайта ишлаш, катталиклар орасидаги алоқадорликни баҳолаш ва таҳлил қилишда стандарт статистик усуллар қўлланилган.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Эль-Ниньо ҳар 3 ёки 8 йилда бир марта содир бўлиб, унинг давомийлиги ўртача 8-10 ойни ташкил этади. Ҳодиса кўпинча апрель-май ойларида бошланади ва декабрь-февраль ойларида максимал ривожланишга эришади. 1997-1998 йиллардаги Эль-Ниньо ўтган асрдаги энг кучли ҳодиса бўлиб, бутун

минтақада океан юзаси 29-30°C гача қизиган. Жаҳон метеорология ташкилоти (ЖМТ) маълумотларига кўра, бу ҳодиса жаҳон иқтисодиётига қарийб 100 млрд. АҚШ доллари миқдорида зарар етказган [World ..., 2020].

Ла-Нинья одатда 3 йилдан 7 йилгача бўлган даврда содир бўлиб, ўртача 5 ойдан 24 ойгача давом этади. У Эль-Ниньога нисбатан камроқ учрайди. Ҳодисанинг жадаллигига қараб, унинг давомийлиги қанча қисқа бўлса, у шунчалик кучли таъсир кўрсатади. Энг жиддий ва зарарли таъсирлар дастлабки 6 ойда содир бўлади. Ла-Нинья одатда йил ўрталарида бошланиб, йил охирида максимал жадалликка эришади ва кейинги йилнинг ўрталарида тўхтайди. 1954-1956 йиллардаги ҳодиса (24 ой) сўнгги 70 йил ичида энг қизгин ва узоқ давом этган ҳодиса бўлди.

Океан Ниньо индекси (ОНИ) NOAA томонидан Тинч океанининг шарқий тропик қисмидаги Эль-Ниньо (илик) ва Ла-Нинья (совук) ҳодисаларини таснифлаш учун қўлланиладиган асосий стандарт ҳисобланади. У Ниньо 3.4 минтақаси (яъни, 5°-5° ж.к., 120°-170° ғ.у.) учун 3 ойлик ўртача ОЮХ аномалиясини ифодалайди. ENSO ҳодисалари иссиқ ҳодисалар учун +0,5°C аномалияси ёки ундан юқори ва совук ҳодисалар учун -0,5°C аномалияси ёки ундан паст бўлган кетма-кет 5 та ўзаро 3 ойлик давр сифатида аниқланади. Ҳодисалар жадаллигини аниқлашда 1-жадвалда келтирилган таснифлаш тизимидан фойдаланилади.

1-жадвал

Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари жадаллиги таснифи

Таблица 1

Классификация интенсивности явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья

Table 1

Classification of intensity of El Niño and La Niña phenomena

Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари интенсивлиги индикаторлари	Океан юзаси ҳарорати аномалиялари қийматлари, °C
Жуда кучли Эль-Ниньо	>2,0
Кучли Эль-Ниньо	1,5 дан 1,9 гача
Ўртача Эль-Ниньо	1,0 дан 1,4 гача
Кучсиз Эль-Ниньо	0,5 дан 0,9 гача
Нейтрал	0 дан ±0,5 гача
Кучсиз Ла-Нинья	-0,5 дан -0,9 гача
Ўртача Ла-Нинья	-1,0 дан -1,4 гача
Кучли Ла-Нинья	-1,5 дан -1,9 гача

Юқоридаги жадвал маълумотларининг таҳлилига кўра, 1963 йилдан ҳозирги кунгача жами 22 марта Эль-Ниньо ҳодисалари кузатилган бўлиб, жадаллик бўйича уларнинг 8 таси “Кучсиз”, 6 таси “Ўртача”, 5 таси “Кучли” ва 3 таси “Энг кучли” деб баҳоланган. Шунингдек, жами кузатилган 23 та Ла-Нинья ҳодисаларидан 11 таси “Кучсиз”, 5 таси “Ўртача”, 7 таси “Кучли” ҳодисаларга тўғри келди (2-жадвал) [NOAA ..., 2025].

Жадвал маълумотларига кўра, Эль-Ниньо ҳодисаларида ҳам, Ла-Нинья ҳодисаларида ҳам, кучсиз ҳолатнинг такрорланувчанлиги юқори кўрсаткичга эга. Умумий Эль-Ниньо ҳодисаларининг 36,36 % ҳамда умумий Ла-Нинья ҳодисаларининг 47,83% кучсиз ҳолатларга тўғри келган (1-расм).

1-расмда келтирилган график икки хил иқлим ҳодисасининг турли жадаллик даражалари орасидаги фарқни яққол кўрсатади. Хусусан, “кучсиз” даражадаги ҳодисалар ҳам Эль-Ниньо, ҳам Ла-Нинья учун энг кўп учрайдиган ҳолат эканлиги кузатилган. Шу

билан бирга, “жуда кучли Эль-Ниньо” даражаси таҳлил қилинган барча ҳолатлар ичида энг кам учрайдиган ҳодиса ҳисобланади.

2-жадвал

1963-2024 йилларда кузатилган Эль-Ниньо ва Ла-Нинья жараёнлари таснифи

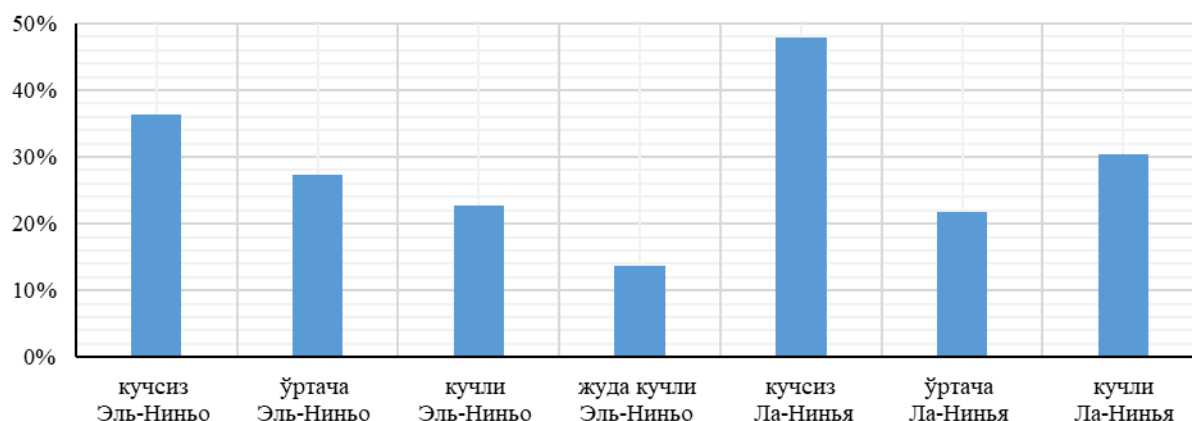
Таблица 2

Классификация процессов Эль-Ниньо и Ла-Нинья, наблюдавшихся в 1963-2024 гг.

Table 2

El Niño and La Niña process classification, observed in 1963-2024

Эль-Ниньо ҳодисаси (22 та)				Ла-Нинья ҳодисаси (23 та)			
Ҳодисалар классификацияси	№	Ҳодиса даври, йил/ой	L (ой)	Ҳодисалар классификацияси	№	Ҳодиса даври, йил/ой	L (ой)
кучсиз (36,36 %)	1	1969/9-1970/2	6	кучсиз (47,83 %)	1	1964/6-1965/2	9
	2	1976/10-1977/3	6		2	1971/5-1972/2	10
	3	1977/10-1978/2	5		3	1974/11-1975/6	8
	4	1979/11-1980/3	5		4	1983/10-1984/2	5
	5	2004/8-2005/5	10		5	1984/11-1985/9	11
	6	2006/10-2007/2	6		6	2000/5-2001/3	11
	7	2014/11-2015/6	9		7	2005/12-2006/4	5
	8	2018/11-2019/6	8		8	2008/12-2009/4	5
ўртача (27,27 %)	1	1963/7-1964/3	9	ўртача (21,74 %)	9	2016/9-2017/1	5
	2	1968/11-1969/6	8		10	2017/11-2018/5	7
	3	1986/10-1987/7	10		11	2022/7-2023/2	8
	4	1994/10-1995/4	7		1	1970/8-1971/4	9
	5	2002/7-2003/3	9		2	1995/9-1996/4	8
	6	2009/9-2010/4	8		3	2011/9-2012/4	8
кучли (23 %)	1	1965/6-1966/5	12	кучли (30,43 %)	4	2020/9-2021/5	9
	2	1972/6-1973/4	11		5	2021/10-2022/6	9
	3	1987/8-1988/3	8		1	1973/6-1974/8	15
	4	1991/6-1992/7	14		2	1975/7-1976/5	11
	5	2023/7-2024/5	11		3	1988/6-1989/6	13
жуда кучли (13,64 %)	1	1982/5-1983/7	15		4	1998/8-1999/6	11
	2	1997/6-1998/6	13		5	1999/7-2000/4	10
	3	2015/7-2016/5	10		6	2007/8-2008/7	12
					7	2010/7-2011/6	12



1-расм. 1963-2024 йиллар даврида Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари турлари

Рис. 1. Типы явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья в период 1963-2024 гг.

Fig. 1. Types of El Niño and La Niña events in 1963-2024

Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисаларининг бошланиш ва тугаш муддатларида аниқ мавсумийлик мавжуд. Эль-Ниньо ҳодисаси асосан куз-қиш мавсумида (октябрь-ноябрь) бошланиб, баҳор-ёз ойларида (март-июнь) тугайди. Хусусан, бу ҳодисанинг 22,73% октябрда бошланиб, 22,73% мартда тугаган. Ла-Нинья ҳодисаси эса кўпроқ ёз-куз мавсумида (июль-сентябрь) бошланиб, кейинги йилнинг баҳор-ёз ойларида (апрель-июнь) тугаши маълум. Энг кўп тугаш ҳолати апрелга (26,09%) тўғри келган (3-жадвал).

3-жадвал

1963-2024 йилларда Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисаларининг бошланиш ва тугаш муддатлари

Таблица 3

Сроки начала и окончания событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья в период 1963-2024 гг.

Table 3

Timing of the beginning and end of the El Niño and La Niña events observed in 1963-2024

Ойлар	Эль-Ниньо ҳодисаси		Ла-Нинья ҳодисаси	
	Бошланиш вақти (% да)	Тугаш вақти (% да)	Бошланиш вақти (% да)	Тугаш вақти (% да)
I	-	-	-	4,35
II	-	13,64	-	17,39
III	-	22,73	-	4,35
IV	-	13,64	-	26,09
V	4,55	18,18	8,70	13,04
VI	18,18	18,18	13,04	21,74
VII	18,18	13,64	17,39	4,35
VIII	9,09	-	13,04	4,35
IX	9,09	-	17,39	4,35
X	22,73	-	8,70	-
XI	18,18	-	13,04	-
XII	-	-	8,70	-

ENSO ҳодисалари бир неча ой давом этади ва глобал иқлимга сезиларли таъсир кўрсатади. Шу сабабли, унинг таъсирини тушуниш учун қисқа муддатли эмас, балки ҳодиса бошланиши-тугаши давридаги ёғингарчилик йиғиндиларини таҳлил қилиш мақсадга мувофиқ. Ишда 1963-2024 йиллар даврида кузатишган барча Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари давомида Ўзбекистондаги 50 та метеорология станцияларида кузатишган ёғингарчилик маълумотларидан фойдаланган ҳолда ENSO ҳодисасининг Ўзбекистон ҳудудидаги ёғинлар миқдорининг ўзгарувчанлигига таъсири баҳоланди. Ҳодисалар ва Ўзбекистондаги ёғинлар миқдори ўртасидаги боғлиқликни таҳлил қилиш учун ҳодиса содир бўлган даврда қайд этилган ёғинлар ҳамда шу давр учун кўп йиллик ёғинлар меъёри қийматлари олиниб, улар орасидаги фарқ ҳисобланди. Сўнг барча Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисалари учун ҳисобланган қийматларнинг ўртача миқдори топилди (4-жадвал).

4-жадвал маълумотларининг таҳлили метеостанцияларнинг баландлиги ортиб бориши билан ENSO ҳодисасининг таъсири ҳам сезиларли даражада ортишини кўрсатди. Эль-Ниньо даврида барча 50 та метеостанция бўйича ёғинлар меъёрдан кўп, Ла-Нинья даврида эса меъёрдан кам кузатишган (2-расм).

Шундай қилиб, 1963-2024 йиллар даврида олиб борилган метеорологик кузатув маълумотлари таҳлили Эль-Ниньо ҳодисалари даврида кўплаб ҳудудларда мавсумий ёғингарчилик меъёрдан ортиқ, Ла-Нинья давларида эса, аксинча, кам бўлганини кўрсатди. Бу тамойил, айниқса, баландлик ортиши билан яққол намоён бўлган.

Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисаларининг таъсири нафақат ёгинлар миқдори, балки унинг фазовий тақсимоотида ҳам яққол сезилган. Айрим метеостанцияларда ёгинлар миқдорига катта фарқлар кузатилган бўлса, бошқаларида бундай ўзгаришлар нисбатан заиф. Бу ҳолат маҳаллий географик ва орографик омилларнинг таъсирини ҳам акс эттиради. Ҳодисалар бошланиш ва тугаш вақтларининг таҳлили Ўзбекистонда мавсумий иқлим ўзгаришлар глобал океан-атмосфера жараёнлари билан чамбарчас боғлиқ эканлигини яна бир бор тасдиқлайди.

4-жадвал

ENSO ҳодисалари даврида кузатилган ёгинлар ва шу давр учун кўп йиллик ёгинлар меъёри ўртасидаги фарқ

Таблица 4

Разница между осадками, наблюдаемыми во время событий ENSO, и многолетней нормой осадков за тот же период

Table 4

The difference between the precipitation observed during ENSO events and the multi-year precipitation norm for the same period

Т/р	Метеостанция номи	Координата		Баландлик, (м)	δ^+ ўрт. (мм)	σ	δ^- ўрт. (мм)	σ
		Кенглик	Узунлик					
1	Чимбой	42°57'	59°48'	65,7	7,07	36,95	-22,79	26,08
2	Нукус	42°29'	59°37'	76,6	6,93	26,4	-15,60	28,63
3	Тахياتош	42°21'	59°35'	77,8	8,69	32,85	-19,95	31,25
4	Жаслик	43°53'	57°31'	94,5	18,87	40,3	-16,60	40,05
5	Хива	41°22'	60°23'	94,8	8,48	28,75	-18,94	21,04
6	Бўзаубой	41°45'	62°28'	95,7	3,13	30,76	-20,49	24,19
7	Урганч	41°34'	60°38'	99,5	6,04	32,15	-6,98	38,39
8	Қорақўл	39°30'	63°51'	197,0	21,56	35,57	-26,68	28,64
9	Жонгелди	40°51'	63°20'	210,6	3,28	26,82	-16,59	31,00
10	Оёқоғитма	40°41'	64°29'	218,0	12,11	47,65	-33,11	31,60
11	Қорақалпоғистон	44°51'	56°20'	127,9	20,63	51,22	-13,46	38,94
12	Қўнғирот	43°05'	58°56'	130,0	12,05	33,66	-21,85	29,31
13	Томди	41°44'	64°37'	218,4	5,58	39,09	-24,87	24,64
14	Мошиқудук	41°03'	65°17'	222,4	16,20	49,98	-34,18	35,47
15	Бухоро	39°43'	64°37'	226,0	25,69	33,75	-27,62	34,21
16	Оқбайтал	43°09'	64°20'	230,2	16,28	41,54	-25,57	33,73
17	Лалмикор	39°0'	67°27'	248,6	30,19	69,27	-58,30	73,32
18	Сирдарё	40°49'	68°41'	263,5	33,07	81,35	-42,18	63,32
19	Термиз	37°17'	67°19'	302,3	17,13	38,18	-14,47	48,77
20	Далварзин	40°24'	69°17'	311,4	30,52	87,52	-42,17	68,27
21	Янгиер	40°17'	68°50'	315,7	22,98	82,76	-97,69	65,20
22	Янгийўл	41°05'	69°00'	339,5	39,69	85,19	-43,76	69,84
23	Навоий	40°08'	65°21'	341,5	30,14	60,11	-36,64	50,87
24	Қарши	38°45'	65°43'	378,0	38,32	60,39	-43,91	54,39
25	Қўрғонтепа	40°42'	72°50'	397,0	50,18	98,15	-42,93	66,12
26	Қўкорол	40°41'	69°12'	393,5	28,73	93,40	-48,83	82,93
27	Туябўғиз	40°56'	69°24'	410,2	32,93	84,83	-51,29	82,18
28	Қўқон	40°27'	70°59'	414,7	21,88	53,16	-17,06	33,14
29	Шеробод	37°40'	67°01'	417,1	24,23	65,53	-43,97	66,04
30	Бўз	40°41'	71°56'	428,0	27,13	75,73	-19,46	45,07
31	Поп	40°53'	71°07'	449,5	12,76	73,97	-24,08	48,57
32	Наманган	41°00'	71°35'	459,1	24,70	73,05	-19,47	51,50
33	Тошкент	41°20'	69°18'	467,7	44,37	103,04	-48,30	83,22
34	Андижон	40°44'	72°19'	476,0	36,35	85,25	-27,61	53,71
35	Кува	40°34'	72°04'	476,0	25,45	69,91	-21,13	46,67

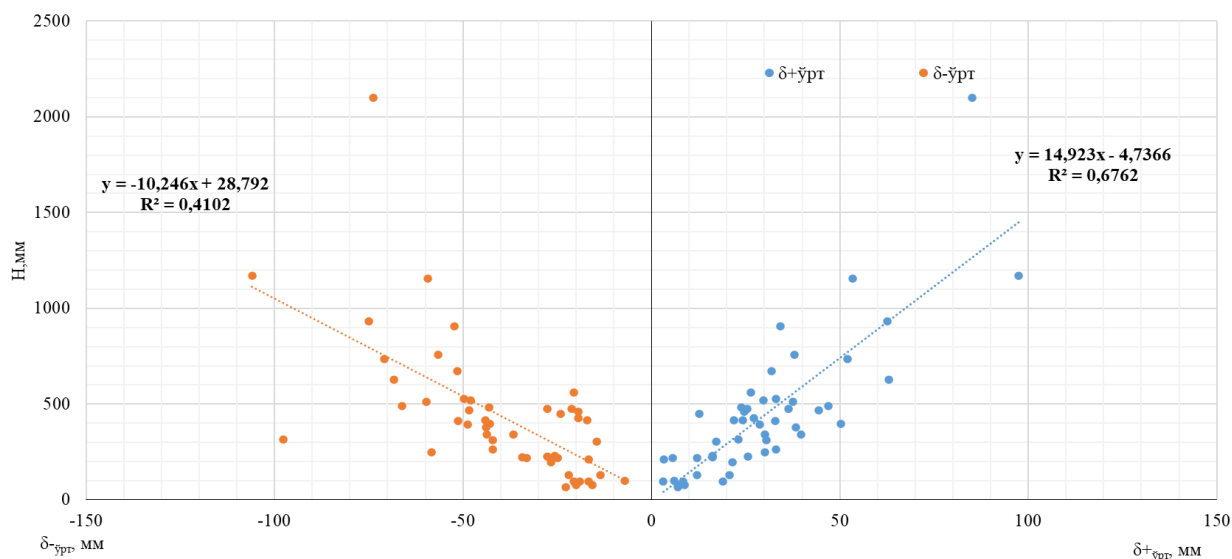
4-жадвалнинг давоми

Т/р	Метеостанция номи	Координата		Баландлик, (м)	$\delta^+_{\text{ўрт.}}$ (мм)	σ	$\delta^-_{\text{ўрт.}}$ (мм)	σ
		Кенглик	Узунлик					
36	Нурота	40°33'	65°41'	482,5	23,81	64,76	-43,08	57,84
37	Нуробод	39°36'	66°17'	489,9	46,91	84,18	-66,21	88,49
38	Вузор	38°37'	66°16'	513,9	37,53	79,81	-59,80	65,20
39	Денов	38°16'	67°54'	521,3	29,65	74,99	-48,03	84,73
40	Жиззах	40°07'	67°50'	525,6	33,07	110,66	-49,82	82,89
41	Фарғона	40°23'	71°45'	560,2	26,36	64,67	-20,50	38,28
42	Шаҳрисабз	39°15'	67°04'	628,6	62,96	109,12	-68,25	97,20
43	Самарканд	39°38'	66°57'	672,0	31,95	61,51	-51,54	72,64
44	Қўшрабод	40°14'	66°33'	735,8	52,01	106,41	-70,95	81,68
45	Ғаллаорол	40°02'	67°35'	758,0	37,97	72,07	-56,52	77,65
46	Дехқонобод	38°21'	66°30'	904,7	34,26	77,06	-52,30	67,98
47	Ангрен	41°00'	70°11'	931,6	62,51	140,74	-74,92	121,15
48	Бойсун	38°12'	67°12'	1156,2	53,34	109,95	-59,37	88,00
49	Писком	41°54'	70°22'	1169,4	97,47	225,47	-105,91	118,98
50	Ойгаинг	42°10'	70°53'	2100,0	85,13	153,78	-73,84	119,90

Изоҳ: $\delta^+_{\text{ўрт.}}$ ва $\delta^-_{\text{ўрт.}}$ – Эль-Ниньо ва Ла-Нинья жараёнларида ёгингарчиликнинг кўп йиллик ўртача меъёрга нисбатан четланиши, σ – стандарт четланиш.

Примечание: $\delta^+_{\text{ўрт.}}$ и $\delta^-_{\text{ўрт.}}$ – отклонение количества осадков от среднего многолетнего значения во время процессов Эль-Ниньо и Ла-Нинья, σ – стандартное отклонение.

Note: $\delta^+_{\text{ўрт.}}$ and $\delta^-_{\text{ўрт.}}$ – the deviation of precipitation from the long-term average during El Niño and La Niña processes, σ – the standard deviation.



2-расм. ENSO ҳодисалари даврида кузатилган ёгинлар миқдоридаги фарқнинг метеорология станцияси баландлигига боғлиқлиги

Рис. 2. Зависимость разницы количества осадков, наблюдаемых во время явлений ENSO, от высоты расположения метеорологической станции

Fig. 2. The dependence of the difference in the amount of precipitation observed during ENSO events on the altitude of the meteorological station

Тадқиқот натижалари амалиёт учун қуйидаги муҳим **хулосаларни** тақдим этади.

1. Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисаларини эрта аниқлаш орқали сув ресурсларини самарали бошқариш ва қишлоқ хўжалиги фаолиятини оқилона режалаштириш имконияти яратилади.

2. Метеорологик прогнозларни тузишда ENSO ҳодисалари ва уларнинг хусусиятларини инобатга олиш зарур.

3. Истиқболда ушбу тадқиқот йўналишини янада кенгайтириш, хусусан, Эль-Ниньо ва Ла-Нинья ҳодисаларининг жадаллик даражаларига кўра ёғинлар динамикасини моделлаш мақсадга мувофиқ.

Муаллифлар хиссаси. Б.Ш. Кадилов: мақола гоҳиси, раҳбарлик, натижалар таҳлили. **М.Н. Бобохонова:** маълумотлар базасини шакллантириш, маълумотларни қайта ишлаш ва таҳлил қилиш, мақола матнини тайёрлаш, мақолани расмийлаштириш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розилигини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Бабушкин О.Л., Инагамова С.И. Влияние Эль-Ниньо на синоптические процессы в Средней Азии // Проблемы освоения пустынь, 2019. – №3-4. – С. 17-23.

Гущина Д.Ю. Модификация Эль-Ниньо в условиях меняющегося климата: мониторинг, причины, удаленный отклик. Дисс. на соиск. ученой степени докт. географ. наук. – Москва, 2014. – С. 25-81.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо Южное колебание // Метеорология и гидрология, 1999. – №5. – С. 32-52.

Кружкова Т.С., Панкратенко Н.В. Особенности циркуляции атмосферы в тропической зоне Тихого океана и явление Эль-Ниньо // Труды ГМЦ, 1991. – Вып. 316. – С. 45-49.

Сидоренков Н.С. Характеристики явления Эль-Ниньо-Южное колебание // Труды ГМЦ, 1991. – Вып. 316. – С. 31-41.

Скрипникова Л.Е. Влияние Эль-Ниньо на погоду в Узбекистане // Труды НИГМИ, 2006. – Вып. 6(251). – С. 77-88.

Trenberth K. E. The Definition of El Niño // Bulletin of the American Meteorological Society, 1997. Vol. 78. – PP. 2771–2777.

Lenssen N.J.L., Goddard L., Simon M. Seasonal Forecast Skill of ENSO Teleconnection Maps. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0235.1>. PP. 2387–2406.

World Meteorological Organization (WMO). Reports on El Niño and La Niña Phenomena. – Geneva: WMO Publications, 2020.

Электрон ресурс:

NOAA Climate Prediction Center. El Niño and La Niña Years. URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov>

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМ ОСАДКОВ В УЗБЕКИСТАНЕ

Б.Ш. КАДИЛОВ¹, М.Н. БОБОХОНОВА¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bkadirov53@gmail.com

Аннотация. В статье оценивается влияние явления ENSO на изменчивость количества осадков на территории Узбекистана с использованием данных об осадках, зафиксированных на

50 метеорологических станциях Узбекистана во время всех явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья, наблюдавшихся в период с 1963 по 2024 год. Полученные результаты показали, что во время событий Эль-Ниньо сезонные осадки во всех метеостанциях превышали норму, а в периоды Ла-Нинья, наоборот, были ниже нормы. Эта закономерность особенно ярко проявляется с увеличением высоты местности.

Ключевые слова: явление ENSO, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, нейтральная фаза, осадки, климат Узбекистана, циркуляция атмосферы.

THE EL NIÑO – SOUTHERN OSCILLATION PHENOMENON AND ITS INFLUENCE ON THE PRECIPITATION REGIME IN UZBEKISTAN

B.Sh. KADIROV¹, M.N. BOBOKHONOVA¹

¹ Hydrometeorological Research Institute, bkadirov53@gmail.com

Abstract. *The article evaluates the impact of the ENSO phenomenon on precipitation variability across Uzbekistan using rainfall data from 50 meteorological stations during all El Niño and La Niña events observed between 1963 and 2024. The results showed that during El Niño periods seasonal precipitation in all meteostations exceeded normal levels, while during La Niña periods, it was below average. This pattern became particularly pronounced with increasing altitude.*

Keywords: *ENSO phenomenon, El Niño, La Niña, neutral phase, precipitation, climate of Uzbekistan, atmospheric circulation.*

REFERENCES

Babushkin O.L., Inagamova S.I. Vliyaniye El-Ninyo na sinopticheskiye protsessi v Sredney Azii [El Niño's influence on synoptic processes in Central Asia] // Problemi osvoyeniya pustin, 2019. – No 3-4. – S. 17-23. (in Russian)

Gushina D.Yu. Modifikatsiya El-Ninyo v usloviyax menyayushchegosya klimata: monitoring, prichini, udalenniy otklik [El Niño modification in a changing climate: monitoring, causes, and remote response]. – M.: 2014. – S. 25-81. (in Russian)

Gruza G.V., Rankova E.Ya., Kleshenko L.K., Aristova L.N. O svyazi klimaticheskix anomalii na territorii Rossii s yavleniyem El-Ninyo Yujnoye kolebaniye [On the relationship between climatic anomalies in Russia and the El Niño-Southern Oscillation Phenomenon] // Meteorologiya i gidrologiya, 1999. – No 5. – S. 32-52. (in Russian)

Krujkova T.S., Pankratenko N.V. Osobennosti sirkulyatsii atmosfery v tropicheskoy zone Tixogo okeana i yavleniye El-Ninyo. [Features of atmospheric circulation in the tropical Pacific Ocean and the El Niño Phenomenon] // Trudi GMS, 1991. – Vol. 316. – S. 45-49. (in Russian)

Sidorenkov N.S. Xarakteristiki yavleniya Yujnoye kolebaniye-El-Ninyo [Characteristics of the El Niño-Southern Oscillation Phenomenon] // Trudi GMS, 1991. – Vol. 316. – S. 31-45. (in Russian)

Skipnikova L.E. Vliyaniye El-Ninyo na pogodu v Uzbekistane [The Impact of El Niño on weather in Uzbekistan] // Trudi NIGMI, 2006. - Vol. 6(251). – S. 77-88. (in Russian)

Electronic resource:

NOAA Climate Prediction Center. El Niño and La Niña Years. URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov>

УДК: 551.5:520.1

**СОВРЕМЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ,
ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОВЕДЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В
УЗБЕКИСТАНЕ****Д.В. БУЛГАКОВА^{1*}, Ю.А. ТИЛЛАЕВ², А.В. СОЛОВЕЙЧИК¹**

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, diana_charme@mail.ru, alex.soloveychik@gmail.com

² Астрономический институт АН РУз, yusuf@astrin.uz

Аннотация: В статье исследован ряд метеорологических параметров, оказывающие влияние на проведение астрономических наблюдений на Майданакской астрономической обсерватории: количество ночного времени при ясной и малооблачной погоде в горной местности, скорость и направление ветра в приземном слое. По данным наземных наблюдений на метеорологических станциях Узгидромета проведен анализ динамики этих метеорологических параметров за многолетний период (1981-2020 гг.) и выполнено их сравнение с другими пунктами Узбекистана. Тенденции изменений временных рядов отношения ясной и малооблачной погоды в ночное время к общему количеству ночного времени исследованы с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла.

Ключевые слова: метеорологические параметры, атмосфера, наблюдательная сеть, астрономические наблюдения, горные объекты, облачность, скорость ветра, Майданакская астрономическая обсерватория.

Введение. Повышение глобальной приземной температуры привело к изменению количества атмосферных осадков и влажности атмосферы, так как произошли изменения в атмосферной циркуляции, стал более активным гидрологический цикл, повысилась способность атмосферы удерживать воду [Climate ..., 2001].

Во второй половине XX столетия в средних и высоких широтах северного полушария частота возникновения явлений с очень сильными осадками возросла на 2-4% [IPCC, 2013].

Узбекистан – одна из стран, наиболее уязвимых к изменению климата. Темпы повышения температуры воздуха значительно превышают средние темпы, наблюдаемые в глобальном масштабе. С начала 1950-х годов средние темпы роста температуры воздуха на всей территории Узбекистана составляли 0,29°C за каждые десять лет, что в 2 раза превышает темпы глобального потепления [Национальный ..., 2013; Чуб, Спекторман, 2016].

Кроме того, Узбекистан оказался перед лицом одной из самых сложных проблем для региона Центральной Азии – экологической катастрофой Аральского моря. Это фактически одна из крупнейших экологических катастроф в новейшей истории [Третье ..., 2016; Новикова, 2019].

В начале 60-х годов XX века стало очевидным, что эффективность крупных телескопов зависит от качества атмосферы в месте установки телескопа. С этого времени во всем мире начались исследования астроклимата – совокупности погодных условий в данной местности, определяющих качество астрономических наблюдений (число ясных дней и ночей, прозрачность воздуха, его запыленность и однородность, яркость фона неба,

* Ответственный автор: diana_charme@mail.ru, тел: +99890 9928211

сила ветра, устойчивость оптических характеристик атмосферы, а также их сезонные вариации) [Ильясов, 2011].

Для астрономических наблюдений в первую очередь рассматривается количество ясного времени в данной местности, поскольку этот параметр астроклимата пропорционален количеству информации, обеспечиваемой наземным оптическим телескопом.

В статье [Тиллаев и др., 2020] был исследован период с 2007 года по 2020 год и отмечено, что значения отношения количества часов ясной и малооблачной (до 3-х баллов) погоды в ночное время суток к общему количеству ночного времени, а также повторяемости ветра (до 3-х м/с) при ясной или малооблачной (до 3-х баллов) погоде на метеорологических станциях Мингчукур, Куль, Чимган, Ойгаинг, Камчик практически не изменились за 14-летний период. Для более полной оценки и сравнения времени ясной и малооблачной погоды и повторяемости ветра, требуется анализ непрерывного ряда метеорологических данных по исследуемым пунктам продолжительностью не менее 30-40 лет.

В работе [Холматжанов и др., 2020] представлены многолетние средние месячные значения ночных часов с общей облачностью 2 и 3 баллов и менее на метеорологической станции Мингчукур, рассчитанные на основе рядов наблюдений за 1991-2017 гг.

Оценка динамики значений метеорологических параметров, способных оказывать влияние на астрономические исследования, на основе многолетних данных и выявление тенденций их изменения, являются показателями **актуальности** поставленной задачи.

Целью исследования является изучение динамики некоторых метеорологических параметров на Майданакской астрономической обсерватории на основе многолетних данных (1981-2020 гг.), оценка динамики и сравнение количества часов ясной и малооблачной (до 3-х баллов) погоды в ночное время суток, а также повторяемости ветра (до 3-х м/с) при ясной или малооблачной (до 3-х баллов) погоде с данными метеорологических наблюдений на других высокогорных станциях наблюдательной сети Узгидромета.

Объектом исследования является время при ясной погоде (ВПП) ночью, которое рассчитывалось как доля (в %) времени с ясной и малооблачной (до 3-х баллов) погодой от общей продолжительности ночного времени и повторяемости ветров для исследуемых пунктов, **предметом исследования** – динамика исследуемых параметров в течение 40-летнего периода.

Исходные данные и методы исследования. Для оценки динамики количества ВПП в ночное время и повторяемости скоростей ветра, не превышающих 3 м/с при ясной и малооблачной погоде, для Майданакской астрономической обсерватории (38°40' с.ш. 66°53' в.д.), в работе были использованы архивные данные наблюдений на метеорологической станции Мингчукур, расположенной на расстоянии 1,5 км на высоте 2650 м н.у.м. и для сравнения были выбраны архивные данные наблюдений следующих высокогорных метеорологических станций наблюдательной сети Узгидромета: Чимган – высота н.у.м. 1653 м (41°29' с.ш. 70°01' в.д.), Ойгаинг – высота н.у.м. 2246 м (42°10' с.ш. 70°52' в.д.), Камчик – высота н.у.м. 2156 м (41°05' с.ш. 70°32' в.д.), Куль – высота н.у.м. 2890 м (39°06' с.ш. 67°38' в.д.). Основными критериями выбранных метеорологических станций стали схожесть в физико-географическом положении и наличие архивных данных метеорологических наблюдений за исследуемый период.

Отметим, выбранные метеорологические станции (МС) являются высокогорными объектами, расположенными в западных отрогах Тянь-Шаньской (МС Чимган, МС Ойгаинг, МС Камчик) и Гиссаро-Алайской (МС Мингчукур, МС Куль) горных систем

на высотах более 1500 м над уровнем моря и располагают необходимым многолетним архивом метеорологических наблюдений (рис. 1).

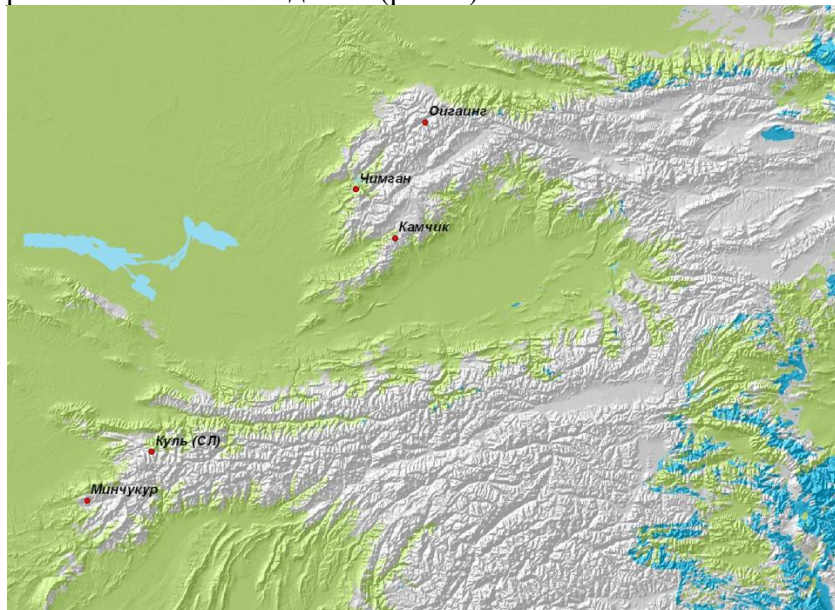


Рис. 1. Карта-схема географического расположения исследуемых метеорологических пунктов наблюдения

Fig. 1. Map-scheme of the geographical location of the studied meteorological observation points

Согласно регламентам Всемирной метеорологической организации, наблюдения на метеорологических станциях производятся 8 раз в сутки [Всемирная ..., 2023]. Для проведения астрономических наблюдений, подсчета и сравнения ВПП выбраны архивные данные наземных наблюдений за состоянием атмосферы по пяти заявленным пунктам за 15, 18, 21 и 00 UTC сроки наблюдения, что соответствует 20, 23, 02 и 05 часам ташкентского времени.

Анализ архивных данных метеорологических наблюдений (количество ВПП и повторяемость скорости ветра до 3-х м/с при облачности, не превышающей 3 балла) за период с 1981 по 2020 года в ночное время, позволяет оценить динамику изменчивости параметров атмосферы, оказывающих влияние на астрономические наблюдения.

Методом исследования является статистическая оценка доли времени при ясной и малооблачной (до 3-х баллов) погоде, выраженная в процентах, и динамика повторяемости ветров, скорость которых не превышает 3 м/с.

Основные результаты и их обсуждение. Учитывая сезонные изменения продолжительности темного времени суток, пригодного для проведения астрономических наблюдений, для более точного подсчета ВПП, сроки наблюдений выбраны следующим образом: с января по март и с октября по декабрь - 4 срока наблюдения (20, 23, 02, 05 ч.), с апреля по май и с августа по сентябрь - 3 срока (20, 23, 02 ч.), с июня по июль - 2 срока (23, 02 ч.). Однако, учитывая сезонные метеорологические особенности местности, многолетние наблюдения для летних месяцев, количество ВПП было увеличено и рассчитано путем добавления дополнительно 2-х часов (1 час до срока наблюдения 23 ч. и 1 час после срока 02 ч.) для каждого суток, при условии соблюдения заявленных требований. Таким образом, количество ВПП в летние месяцы оценивалось из расчета с 22 ч. до 03 ч.

Тенденции повторяемости количества ВПП (в %) для теплого и холодного периодов года за 1981–2020 гг. по метеорологическим станциям Мингчукур, Куль, Чимган, Ойгаинг, Камчик представлены на рис. 2.

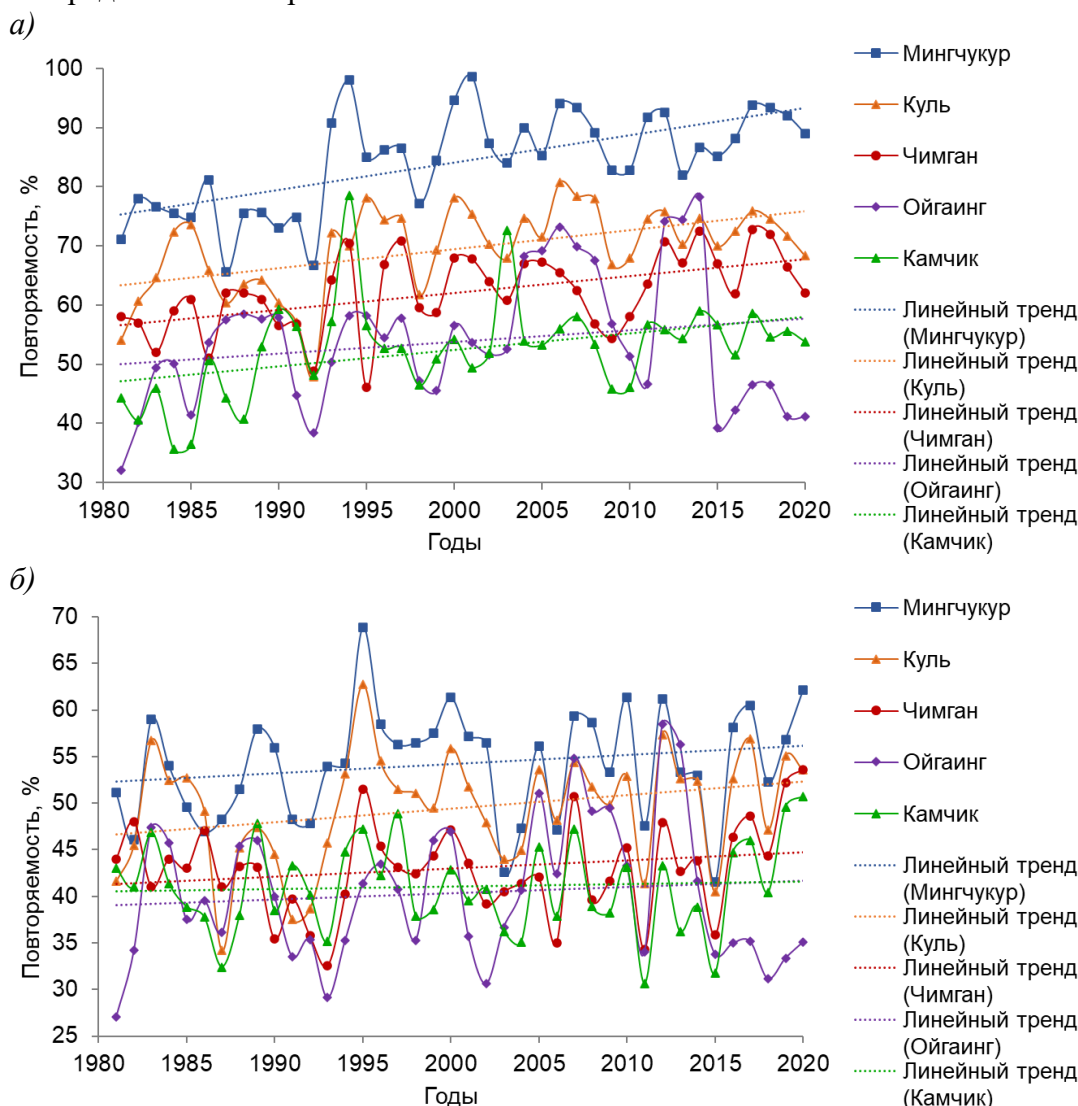


Рис. 2. Тенденции повторяемости условий ясного/малооблачного неба в ночное время (в %), (1981–2020 гг.)

а) тёплый период б) холодный период

Fig. 2. Tendencies in the frequency of clear/partly cloudy skies at night (in %), (1981–2020)
a) warm period b) cold period

Из рис. 2 видно, что в течение 40-летнего периода наилучшими по количеству ВПП в ночное время являются метеорологические станции Мингчукур (среднее количество ВПП 82–87% в теплый период и 52–57% в холодный период года) и Куль (68–73% и 47–52%), расположенные в южной части Узбекистана в западных отрогах Гиссаро-Алайской горной системы, а метеорологические станции Чимган (60–65% и 41–46%), Ойгаинг (52–57% и 38–43%), Камчик (51–56% и 39–44%), расположенные в западных отрогах Тянь-Шаньской горной системы, значительно уступают по количеству ВПП в ночное время в течение всего года. Однако, отношение количества ВПП к общему количеству ночного времени на

метеорологической станции Мингчукур превосходит значения на метеорологической станции Куль как в теплый, так и в холодный периоды года.

Для исследования тенденций во временных рядах количества ВПП в ночное время суток в теплый и холодный периоды года был использован статистический непараметрический тест Манна-Кендалла [Mann, 1945; Alimkulov et al., 2025; Махмудов и др., 2025]. Тестовая статистика Z_s используется как мера значимости тренда. Для количественной оценки величины (наклона) и значимости трендов во временных рядах был применен непараметрический метод Тейла-Сена [Sen, 1968; Theil, 1992; Махмудов и др., 2025].

Сводные результаты теста Манна-Кендалла и оценка наклона Сена для анализа количества ВПП в ночное время для летнего и зимнего периодов года представлены в табл. 1. Положительное значение Z_s указывает на тенденцию роста. Статистически значимая тенденция на уровнях значимости 0,1, 0,05 и 0,01 существует, когда $|Z_s| > 1,64$, $|Z_s| > 1,96$ и $|Z_s| > 2,58$, соответственно [Alimkulov et al., 2025].

Статистика Z_s теста Манна-Кендалла по данным сезонной изменчивости количества ВПП в ночное время за период 1981-2020 гг. показала возрастающую тенденцию в летний сезон года для всех горных метеорологических станций.

Таблица 1

Значения Z теста Манна-Кендалла для количества ВПП в ночное время для теплого и холодного периодов года (1981-2020гг.)

Table 1

Mann-Kendall Z test values for the amount of TWCS at night for warm and cold periods of the year (1981-2020)

	Мингчукур		Куль		Чимган		Ойгаинг		Камчик	
	Z_s	наклон Сена	Z_s	наклон Сена	Z_s	наклон Сена	Z_s	наклон Сена	Z_s	наклон Сена
Теплый период года	3,81***	0,432	2,84**	0,281	3,05**	0,292	0,94	0,159	3,05**	0,265
Холодный период года	1,61	0,149	1,76+	0,146	1,08	0,074	0,15	0,027	0,41	0,027

Примечание: Проверенные уровни значимости: *** для $p < 0,001$, ** для $p < 0,01$, * для $p < 0,05$, + для $p \geq 0,1$.

Note: Tested significance levels: *** for $p < 0.001$, ** for $p < 0.01$, * for $p < 0.05$, + for $p \geq 0.1$.

В представленной табл. 1 приведены результаты статистического анализа для метеорологических станций Мингчукур, Куль, Чимган, Ойгаинг и Камчик. В тёплый период года на всех метеостанциях, кроме Ойгаинга, наблюдается достоверный (положительный) тренд, наиболее выраженный в Мингчукуре.

В холодный период только для метеостанции Куль отмечается слабая значимость положительного наклона, тогда как остальные коэффициенты статистически неотличимы от нуля.

Одним из определяющих метеорологических параметров, оказывающих влияние на астрономические наблюдения, является скорость ветра, от которой зависит качество изображения.

Анализ, проведенный в работе [Ильсов, 2011] показал, что при малых скоростях ветра (до 3-х м/с) качество изображения не зависит от его скорости. Лишь при полном отсутствии ветра наблюдается некоторое незначительное ухудшение качества

изображения. При значениях скорости ветра превышающих 3 м/с, наблюдается ухудшение качества изображения.

В данном исследовании проведена оценка повторяемости ветров по следующим градациям скорости: штиль (0 м/с), <3 м/с и >3 м/с для исследуемых метеорологических станций в течение теплого и холодного сезонов года за период с 1981 по 2020 годы (рис.3).

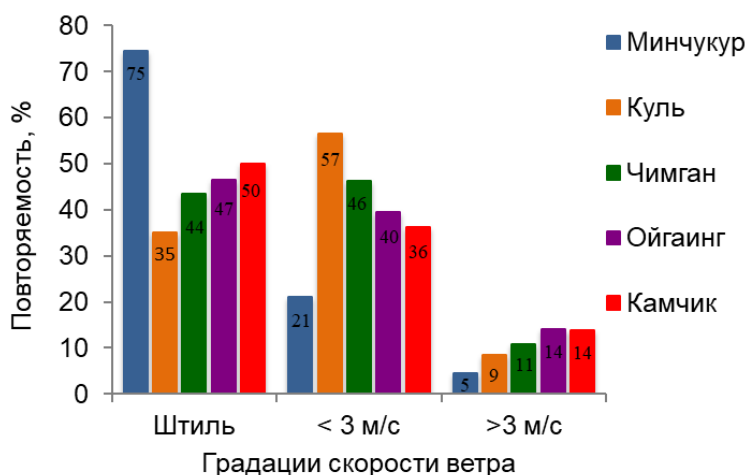


Рис. 3. Повторяемость (в %) значений скорости ветра при ясной/малооблачной погоде

Fig. 3. Repeatability (in %) of wind speed values in clear/partly cloudy weather

Данные рис.3 показывают, что наибольшая повторяемость значений скорости ветра при ясной и малооблачной (не более 3-х баллов) погоде приходится на штиль и скорость ветра до 3-х м/с в теплый и холодный периоды года в течение периода с 1981 по 2020 гг.

Проведен анализ динамики повторяемости скорости ветра (штиля и до 3-х м/с) в разрезе десятилетий (рис. 4).

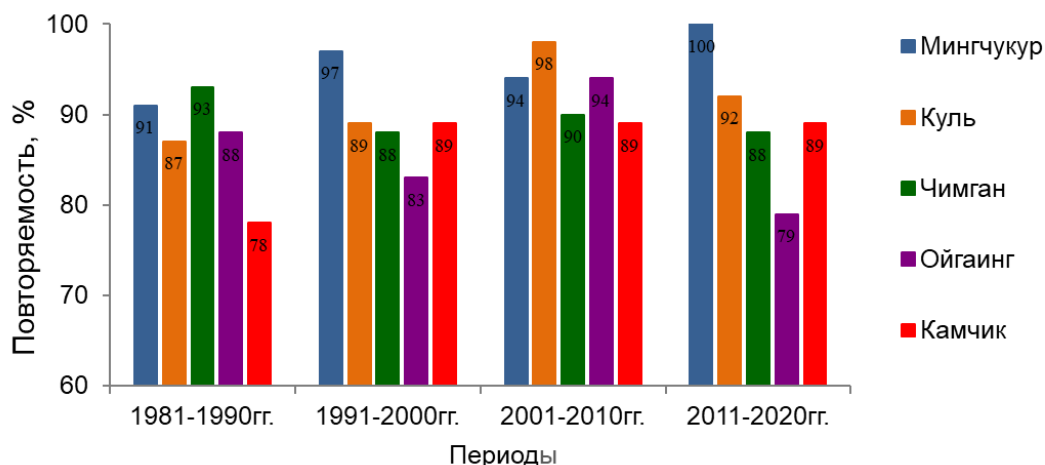


Рис. 4. Повторяемость (в %) случаев штиля и скорости ветра до 3-х м/с при ясной/малооблачной погоде

Fig. 4. Frequency (in %) of winds up to 3 m/s in clear/partly cloudy weather

Данные рис. 4 свидетельствуют об изменчивости повторяемости случаев значений скорости ветра в ясную и малооблачную погоду в разрезе десятилетий исследуемого периода. Так, например, на метеорологической станции Мингчукур процентное отношение повторяемости случаев штиля и скорости ветра до 3-х м/с к общему количеству случаев при ясной и малооблачной (не более 3-х баллов) погоде, пригодного для проведения астрономических наблюдений на Майданакской астрономической обсерватории. Среднее количество ВПП на метеорологической станции Мингчукур составляет в теплый период 82-87% и в холодный период 52-57% от общего количества ночного времени.

Выводы. По данным метеостанций Мингчукур, Куль, Чимган, Ойгаинг и Камчик выявлено наибольшее количество ночного времени при ясной и малооблачной (до 3-х баллов) погоде, пригодного для проведения астрономических наблюдений на Майданакской астрономической обсерватории. Среднее количество ВПП на метеорологической станции Мингчукур составляет в теплый период 82-87% и в холодный период 52-57% от общего количества ночного времени.

Выявлено, что в тёплый период года на всех метеостанциях, кроме Ойгаинга, наблюдается достоверный (положительный) тренд ВПП, наиболее выраженный в Мингчукуре.

В холодный период только для метеостанции Куль имеется слабая значимость положительного наклона, тогда как остальные коэффициенты статистически неотличимы от нуля.

На метеорологических станциях Чимган, Камчик, Ойгаинг явных тенденций к увеличению или уменьшению повторяемости значений скорости ветра при ясном небе и облачности, не превышающей 3 балла в исследуемых градациях, не отмечается, тенденция скорее имеет «волнообразный» характер изменения.

Западная часть Гиссаро-Алайской горной системы и расположенные на ней высокогорная астрономическая обсерватория Майданак и метеорологические станции Мингчукур и Куль являются наиболее благоприятными по количеству ВПП в ночное время в течение исследуемого 40-летнего периода и в теплый, и в холодный периоды года.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта прикладных исследований № ФА-Атех-2018-392 по теме: «Исследование астроклимата горы Майданак с целью оптимизации программ наблюдений для 4-х метрового адаптивного телескопа».

Вклад авторов. Д.В. Булгакова: сбор и обработка данных, систематизация материала, написание текста. Ю.А. Тиллаев: обоснование актуальности исследования, постановка задачи, общее руководство. А.В. Соловейчик: обработка данных, расчеты, анализ результатов, написание текста. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Всемирная метеорологическая организация. Интегрированная глобальная система наблюдения (ИГСН) / ВМО № 1160. – Женева: ВМО, 2023. – 161 с.

Ильясов С.П. Комплексное исследование астроклимата Майданакской обсерватории. Автореф. дисс. на соис. уч. степ. докт. физ.-мат. наук. – Ташкент: 2011. – 37 с.

Махмудов И.М., Бегматов С.У., Сафаров Ф.Б., Абанников В.Н., Бабушкин О.Л., Усманова З.С., Холматжанов Б.М. Термодинамические характеристики атмосферной засухи и циркуляционные условия ее формирования на юге Узбекистана // Гидрометеорология и экология, 2025. № 80. – С. 430-451. doi: 10.33933/2713-3001-2025-80-430-451.

Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан (2008-2011 гг.) / Под ред. Н.М.Умарова; Государственный комитет Республики Узбекистан по охране природы. – Ташкент: Chinor ENK, 2013. – 260 с.

Новикова Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Ч. 1. Развитие Аральской проблемы, её изучение, оценка и разработка мероприятий // Экосистемы: экология и динамика, 2019. – Т. 3. № 1. – С. 5-66.

Тиллаев Ю., Соловейчик А., Булгакова Д., Семакова Э. Оценка вертикального профиля некоторых метеорологических параметров над Майданакской астрономической обсерваторией // Узбекский физический журнал, 2020. – 22(5) – С. 264–274. <https://doi.org/10.52304/v22i5.190>

Третье национальное сообщение Республики Узбекистан по РКИК ООН. – Ташкент, 2016. – 220 с.

Холматжанов Б.М., Петров Ю.В., Тиллаев Ю.А., Ражабов Ё.И. Режим облачности в районе астрономической обсерватории Майданак и влияющие на него региональные циркуляционные факторы // Известия географического общества Узбекистана, 2020. – Т. 57. – С. 218-225.

Чуб В.Е., Спекторман Т.Ю. Климатические тренды по территории Узбекистана // Изменение климата, причины, последствия и меры реагирования. – Ташкент, 2016. Бюл. 10. – С. 5-16.

Alimkulov S., Makhmudova L., Talipova E. et al. Assessment of the impacts of climate change on drought intensity and frequency using SPI and SPEI in the Southern Pre-Balkash region, Kazakhstan // Watershed Ecology and the Environment. 2025. – Vol. 7. – P. 11-22. doi.org/10.1016/j.wsee.2024.12.001.

Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. // Cambridge: University Press, 2001. – 881 p.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, NY, USA, 1535 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

Mann H. B. Nonparametric tests against trend // Econometrica. 1945. –Vol. 13. No. 3. – PP. 245-259. doi.org/10.2307/1907187.

Sen P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. // Journal of the American Statistical Association. 1968. Vol. 63. – P.1379-1389.

Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In: Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics. Berlin: Springer. 1992. – P. 345-381.

ЎЗБЕКИСТОНДА АСТРОНОМИК КУЗАТИШЛАРНИ ОЛИБ БОРИШГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ МЕТЕОРОЛОГИК ПАРАМЕТРЛАРНИНГ ЗАМОНАВИЙ ТАҲЛИЛИ

Д.В. БУЛГАКОВА¹, Ю.А. ТИЛЛАЕВ², А.В. СОЛОВЕЙЧИК¹

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, diana_charme@mail.ru,
alex.soloveychik@gmail.com

² ЎзР ФА Астрономия институти, yusuf@astrin.uz

Аннотация: Мақолада Майданак астрономия обсерваториясида астрономик кузатишларни ўтказишга таъсир кўрсатадиган бир қатор метеорологик параметрлар: тоғли ҳудудда очиқ ва кам булутли тунги вақт, ер усти қатламидаги шамол тезлиги ва йўналиши ўрганилган. Ўзгидромет метеорология станцияларида ўтказилган метеорологик кузатув маълумотлари асосида метеорологик параметрларнинг узоқ муддатли (1981-2020 йй.) динамикаси таҳлил қилинган ва бу кўрсаткичлар Ўзбекистоннинг бошқа пунктлари билан солиштирилган. Тунги вақтда очиқ ва кам булутли вақтнинг умумий тун давомийлигига нисбати бўйича вақт қаторларининг ўзгариши тенденциялари Манн-Кендалл нопараметрик тести асосида аниқланган.

Калит сўзлар: метеорологик параметрлар, атмосфера, кузатув тармоғи, астрономик кузатувлар, тоғ объектлари, булутлилик, шамол тезлиги, Майданак астрономия обсерваторияси.

MODERN ANALYSIS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS AFFECTING ASTRONOMICAL OBSERVATIONS IN UZBEKISTAN

D.V. BULGAKOVA^{1*}, Yu.A. TILLAEV², A.V. SOLOVEYCHIK¹

¹ Hydrometeorological Research Institute, diana_charme@mail.ru, alex.soloveychik@gmail.com

² Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, yusuf@astrin.uz

Abstract: *This article examines several meteorological parameters that influence astronomical observations at Maidanak astronomical observatory: the amount of nighttime with clear and partly cloudy weather in mountainous areas, and the speed and direction of wind in the surface layer. Based on ground-based observations at Uzhydromet meteorological stations, an analysis of the dynamics of meteorological parameters over a long period (1981-2020) was conducted and a comparison of these values with other locations in Uzbekistan. Trends in time series changes in the ratio of clear and partly cloudy weather at night to the total amount of nighttime were examined using the statistical nonparametric Mann-Kendall test.*

Keywords: *meteorological parameters, atmosphere, observation network, astronomical observations, mountain objects, cloudiness, wind speed, Maydanak astronomical observatory.*

REFERENCES

Chub V.E., Spektorman T.Yu. Klimaticheskie trendi po territorii Uzbekistana [Climatic Trends in the Territory of Uzbekistan] // *Izmenenie klimata, prichiny, posledstviya i mery reagirovaniya*. – Tashkent, 2016. Byul. 10. – S 5-16. (in Russian)

Ilyasov S.P. Kompleksnoe issledovaniye astroklimata Maidanaskoy observatorii. [Comprehensive study of the astroclimate of the Maidanak Observatory]. Avtoreferat diss. na sois. uch. step. dokt. fiz.-mat. nauk. – Tashkent, 2011. – 37 s. (in Russian)

Kholmatjanov B.M., Petrov Yu.V., Tillaev Yu.A., Razhabov E.I. Rejim oblachnosti v rayone astronomicheskoy observatorii Maydanak i vliyayushchie na nego regionalnie tsirkulyatsionnie faktori. [Cloudiness regime in the area of the Maidanak astronomical observatory and regional circulation factors influencing it] // *Izvestiya geograficheskogo obschestva Uzbekistana*, 2020. – T. 57. – S. 218-225. (in Russian)

Makhmudov I.M., Begmatov S.U., Safarov F.B., Abannikov V.N., Babushkin O.L., Usmanova Z.S., Kholmatzhanov B.M. Termodinamicheskiye kharakteristiki atmosfery zasuhi i tsirkulyatsionnie protsessi yeyo formirovaniya na yuge Uzbekistana [Thermodynamic characteristics of atmospheric drought and circulation conditions of its formation in the south of Uzbekistan] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2025. No. 80. – S. 430-451. doi: 10.33933/2713-3001-2025-80-430-451. (in Russian)

Natsionalniy doklad o sostoyanii okrujayushey sredi i ispolzovanii prirodnix resursov Respubliki Uzbekistan (2008-2011) [National Report on the state of the Environment and use of natural resources in the Republic of Uzbekistan (2008-2011)] / Pod red. N. M. Umarova. Gosudarstvennyy komitet Respubliki Uzbekistan po okhrane prirody. – Tashkent: Chinor ENK, 2013. – 260 s. (in Russian)

Novikova N.M. Ekologo-geograficheskii aspekt Aralskogo krizisa. Chast 1. Razvitie Aralskoy problemi, eyo izuchenie, otsenka i razrabotka meropriyatiy [Ecological-Geographical aspect of the Aral Crisis. Part 1. Development of the Aral Problem, Its Study, Assessment and Development of Measures] // *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019. – T. 3. No. 1. – S. 5-66. (in Russian)

Tillaev Yu., Soloveychik A., Bulgakova D., Semakova E. Otsenka vertikalnogo profilya nekotorykh meteorologicheskix parametrov nad Maydanaskoy astronomicheskoy observatoriyey [Assessment of the vertical profile of some meteorological parameters over the Maidanak Astronomical Observatory] //

Uzbekskiy fizicheskiy zhurnal, 2020. – 22(5). – S.264–274. <https://doi.org/10.52304/.v22i5.190> (in Russian)

Tretye natsionalnoe soobschenie ob izmenenii klimata Respubliki Uzbekistan po RKIK OON [Third National Communication of the Republic of Uzbekistan to the UN FCCC]. – Tashkent, 2016. – 220 s. (in Russian)

Vsemirnaya meteorologicheskaya organizatsiya. Integrirovannaya globalnaya sistema nablyudeniya (IGSN) [World Meteorological Organization. Integrated Global Observing System (WIGOS)] No. 1160. / Geneva: WMO, 2023. – 161 s. (in Russian)

ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY

УДК: 556.53:622.693:004

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

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

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

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

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

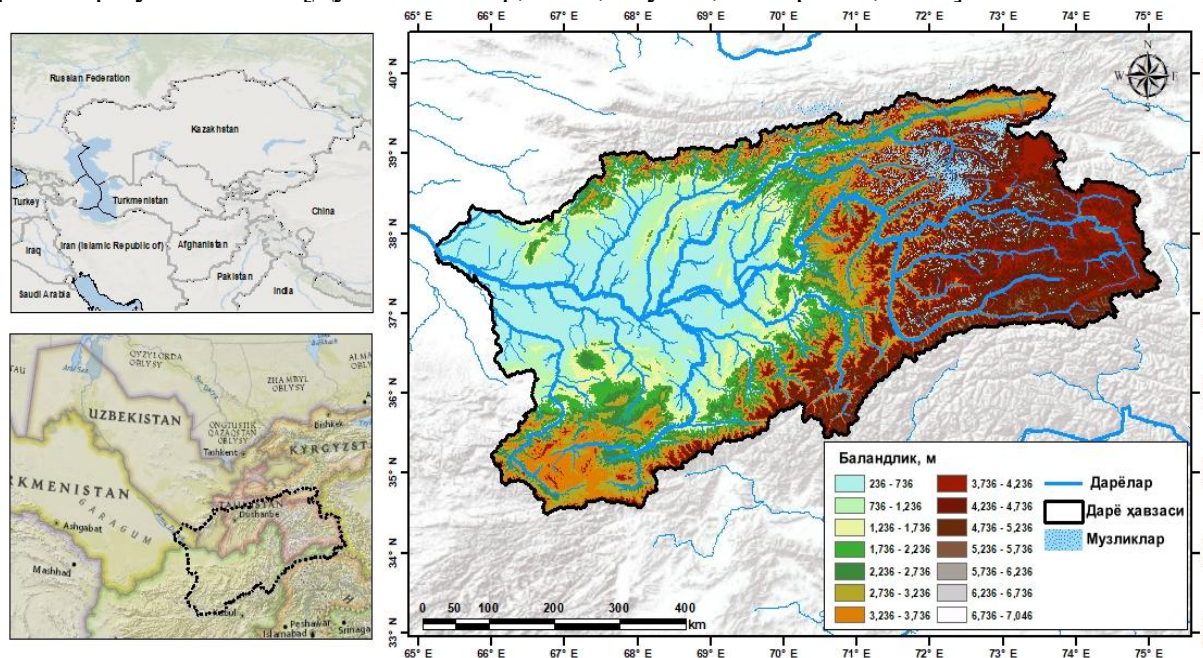
Қор қоплами мониторингида MODIS, Landsat, Sentinel, GOES16-17, VIIRS каби бир қатор сунъий йўлдош манбаларидан фойдаланиш мумкин. Улар бир-биридан фазовий аниқлиги, кузатув оралиғи каби хусусиятлари билан фарқ қилади. Ҳар бир сунъий йўлдош тизими маълум бир устунлик ва чекловларга эга бўлиб, тадқиқот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

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

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

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

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

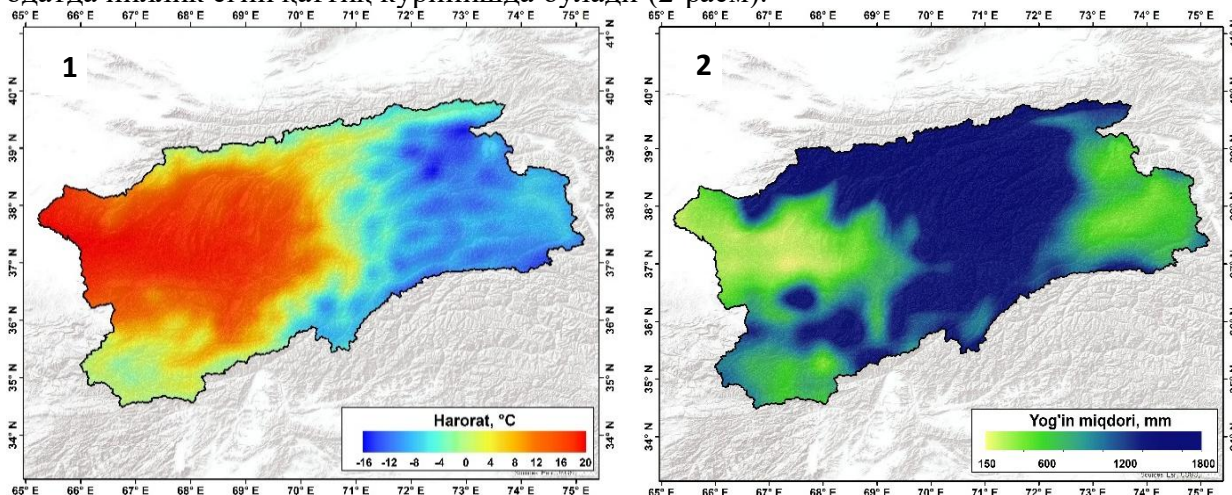


1-расм. Тадқиқот объектининг географик жойлашуви

Рис. 1. Географическое положение объекта исследования

Fig. 1. Geographical location of the study area

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



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

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

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

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

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

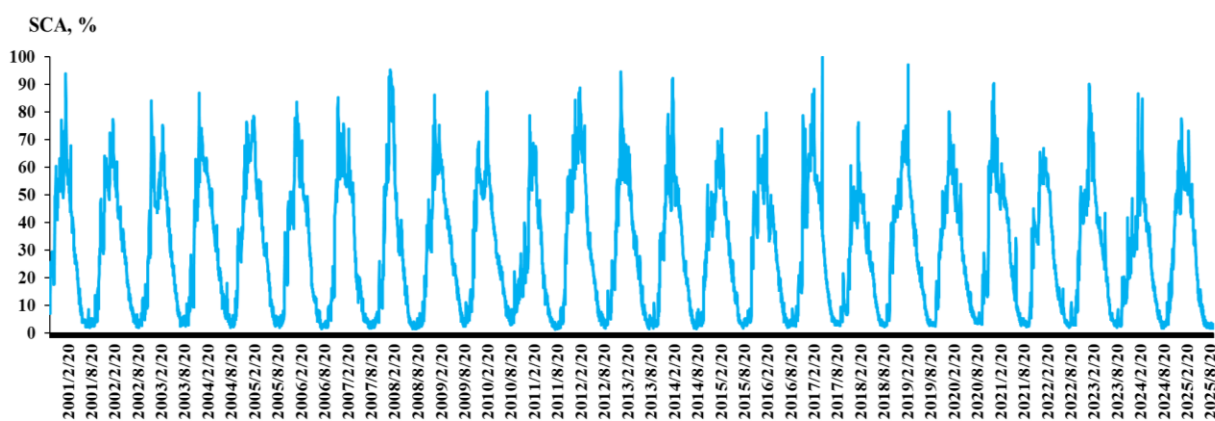
Ушбу муаммони бартараф этиш ва қор қопламининг булутлардан холи, юқори аниқликдаги маълумотларини оператив тарзда олиш мақсадида MODSNOW дастури ишлаб чиқилган [Gafurov et al., 2016]. Ушбу дастур MODIS маълумотларини қайта ишлаш, булутлардан тозалаш ва кунлик қор қопламининг фазовий-статистик таҳлилин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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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



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

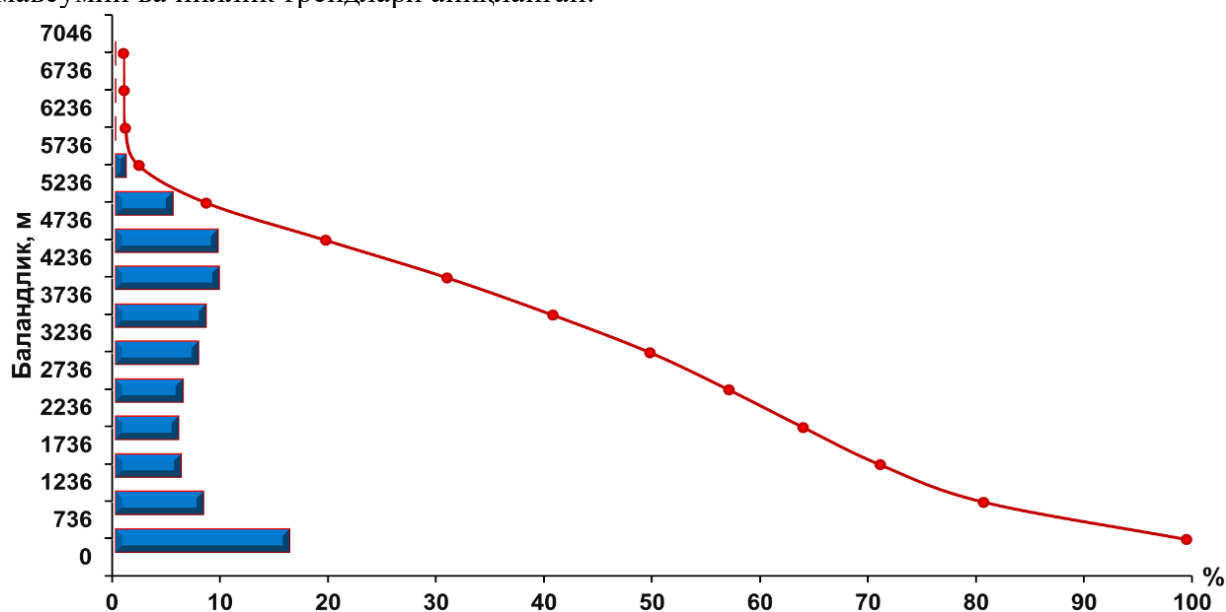
Рис. 4. Изменение снежного покрова в экстремальные годы в бассейне реки Амударья

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

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

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

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



5-расм. Амударё ҳавзаси майдонининг баландлик зоналари бўйича тақсимооти (гипсографик эгри чизик)

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

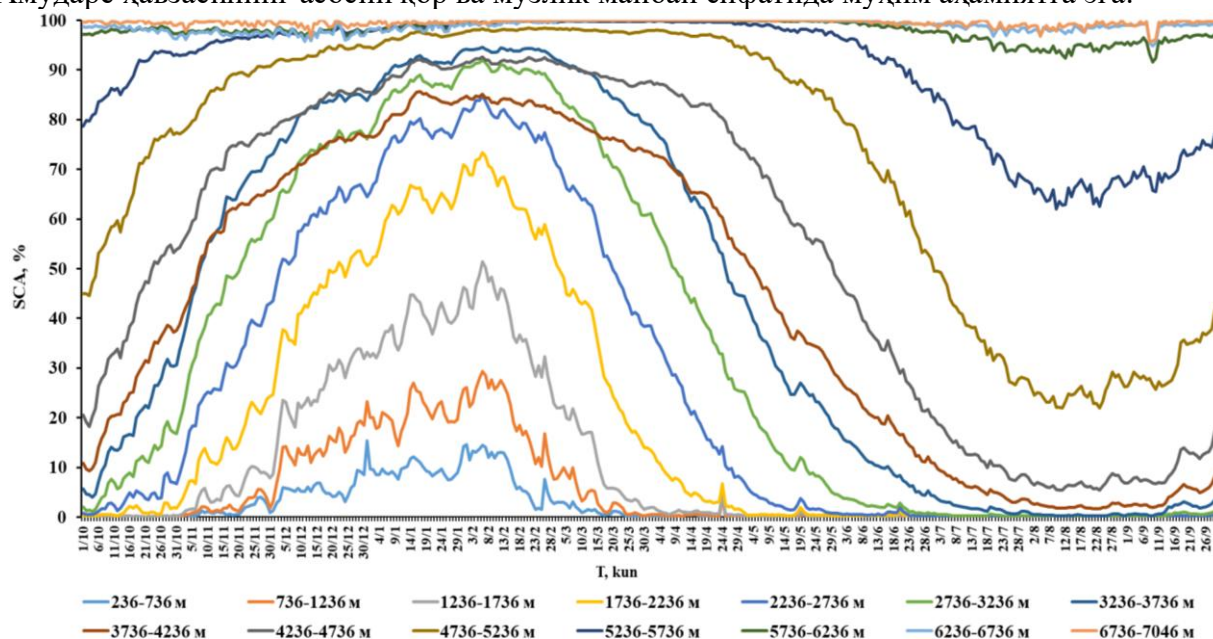
Fig. 5. Distribution of the Amu Darya river basin area by elevation zones (hypsographic curve)

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

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

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

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



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

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

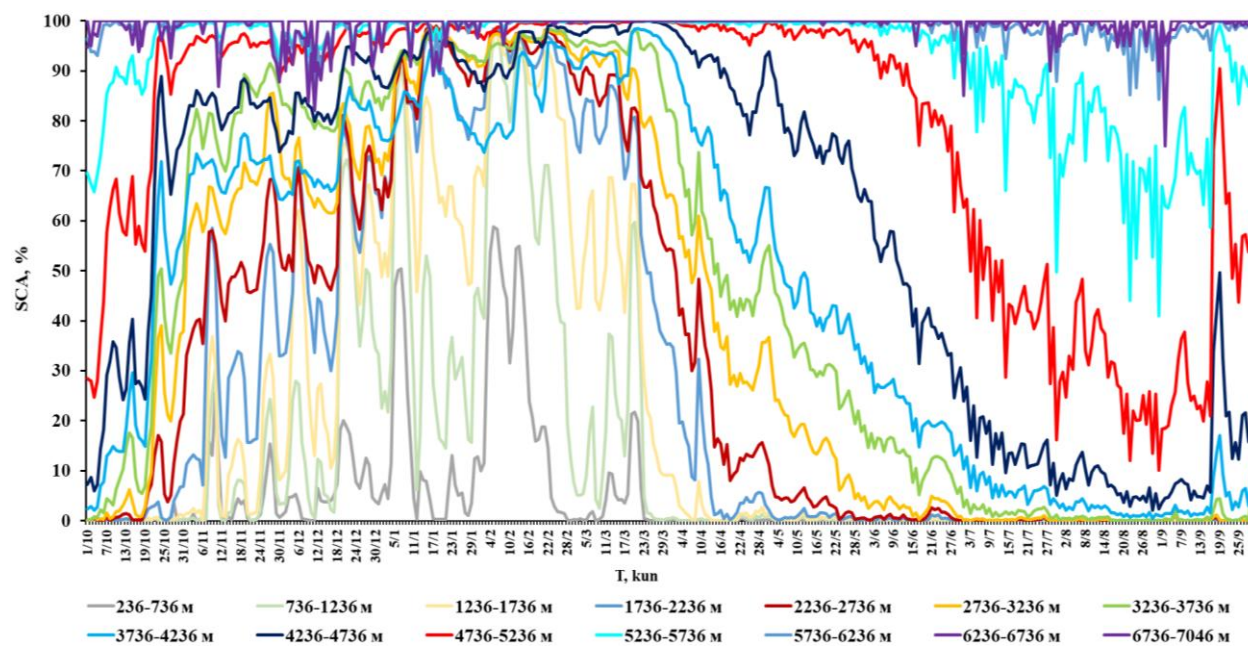
Fig. 6. Mean multi-year variation of snow cover in different elevation zones of the Amu Darya river basin (2021-2025)

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

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

қор 5-6 ой давомида эримай турган, бу даврда қор майдони 70-90% атрофида бўлган. Юқори тоғли ҳудудларда (3736-7046 м) қор қоплами йил давомида деярли узлуксиз ($SCA > 90\%$) сақланган (7-расм).

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



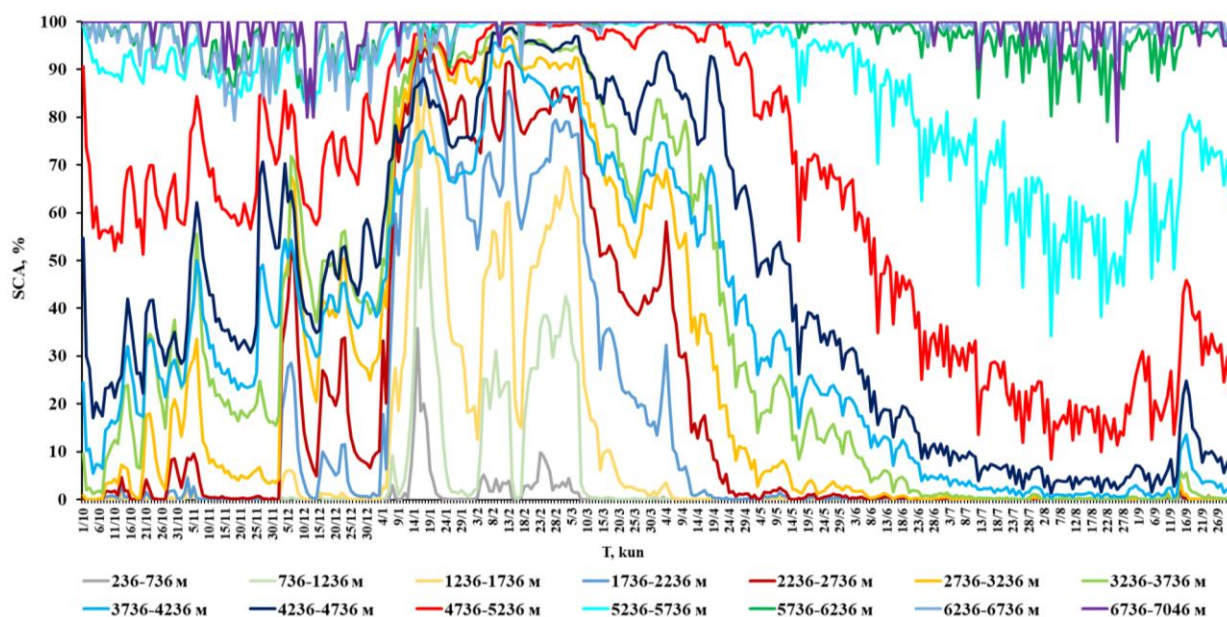
7-расм. Амударё ҳавзасида қор қопламининг баландлик бўйича тақсимоти (2012 йил – максимал)

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1-жадвал

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

Таблица 1

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

Table 1

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

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

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

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

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

2-жадвал

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

Таблица 2

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

Table 2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АДАБИЁТЛАР

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹ Hydrometeorological Research Institute, darkhonyarashev@gmail.com

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

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

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

REFERENCES

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

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

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

УДК: 556.535.6+556.048

ТОҒ ДАРЁЛАРИ МУАЛЛАҚ ОҚИЗИҚЛАРИНИ ГЕНЕЗИСИ БЎЙИЧА ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ УСУЛИНИНГ ВАРИАНТЛАРИ ҲАҚИДА

Г.У. ЖУМАБАЕВА^{1*}, Л.Ғ. АЛИМАРДОНОВ¹, Ф. ХИКМАТОВ¹

¹Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, jumabayeva.g@mail.ru

Аннотация. Мақолада тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг вариантлари, жумладан, дарёлар суви лойқалиги хронологик графигини бўлакларга ажратиш, дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини термик таҳлил этиш, дарёлар муаллақ оқизиклари оқими билан табиий омиллар орасидаги кўпхадли боғланишларни статистик баҳолаш кабилар кўриб чиқилган. Уларнинг моҳияти, гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўлланиш соҳалари тавсифланган.

Калит сўзлар: дарё, лойқалик, муаллақ оқизиклар, генетик таҳлил, вариантлар, хронологик график, термик таҳлил, кўпхадли боғланиш, қўлланиш соҳалари.

Кириш. Тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини келиб чиқиши, яъни генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг турли вариантларини ишлаб чиқиш, уларни такомиллаштириш ҳамда уларни гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш масалалари катта илмий ва амалий аҳамиятга эга. Масаланинг **илмий аҳамияти** шундаки, дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини ўрганиш натижалари улар ҳавзаларида кечадиган сув эрозияси жараёни жадаллигини баҳолаш, уларнинг натижалари асосида эса тоғли ҳудудлар рельефини реконструкция қилиш имкониятлари яратилади. Ушбу йўналишдаги тадқиқотларнинг **амалий аҳамияти** ҳам жуда катта. Жумладан, муаллақ оқизиклар оқими кўп жиҳатдан дарёлар ўзанининг шаклланишига, сув омборларининг лойқа оқизиклар

* Масъул муаллиф: jumabayeva.g@mail.ru, тел.: +998 94 225 55 70

билан тўлиб бориши жадаллигига ва гидротехник иншоотларнинг ишлаш режимига салбий таъсир кўрсатади. Шунингдек, тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усули вариантларини қиёсий ўрганиш натижалари, уларни келажакда янада такомиллаштиришга замин яратади ва бу ҳолат мақолада кўрилатган масаланинг **долзарблигидан** дарак беради.

Мазкур муаммонинг ўрганилиши тарихи Б.В.Поляков [Поляков, 1935], К.С.Кабанова [Кабанова, 1952], Г.В.Лопатин [Лопатин, 1958], Г.И.Шамов [Шамов, 1959], В.Л.Шульц [Шульц, 1965], Ю.Н.Иванов [Иванов, 1967], О.П.Щеглова [Щеглова, 1972; 1984], А.В.Караушев [Караушев, 1977] ва бошқалар томонидан турли йилларда амалга оширилган тадқиқотлар билан ҳамда уларда олинган натижалар боғлиқдир. Кейинчалик мавзу доирасидаги изланишлар С.Р.Саидова [Саидова, 1977], Х.К.Ташметов [Ташметов, 1987], Н.И.Алексеевский [Алексеевский, Михинов, 1991], А.Р.Расулов [Расулов, 1997], З.С.Сирлибаева [Сирлибаева, 2003], Ф.Х.Ҳикматов [Ҳикматов, 1984; 2011] ҳамда бошқалар томонидан изчил давом эттирилмоқда.

Тадқиқот ишининг асосий **мақсади** тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усули турли вариантларини ўзаро қиёсий таҳлил қилиш ва бу борада келажакда амалга ошириладиган тадқиқотларга замин яратишдан иборат. Ушбу мақсадни амалга ошириш учун мақолада қуйидаги **вазифалар** белгиланди ва тадқиқот жараёнида ўз ечимини топди: 1) дарёлар муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг мавжуд вариантларини аниқлаш; 2) уларнинг мазмуни, моҳияти ва амалиётда қўлланишида замин яратадиган бирламчи гидрометеорологик маълумотларни тавсифлаш; 3) ҳар бир вариантни гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш имкониятларини баҳолаш.

Тадқиқот объекти сифатида тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг мавжуд вариантлари танлаб олинди. Ушбу вариантларни қиёсий солиштириш, уларни гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш имкониятларини баҳолаш ва механизмларини ёритиш масалалари **тадқиқотнинг предметини** белгилайди.

Мақолада Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги (Ўзгидромет) тизимидаги метеорология станциялари ва гидрология постларида ягона усулда амалга оширилган стандарт гидрометеорологик кузатиш маълумотларидан **бирламчи манба** сифатида фойдаланилган. Ушбу маълумотларни қайта ишлашда гидрологияда умумқабул қилинган тадқиқот усуллари, жумладан, замонавий гидрологик ҳисоблашлар, математик статистика, гидрологик ўхшашлик ва қиёслаш усуллари қўлланилган.

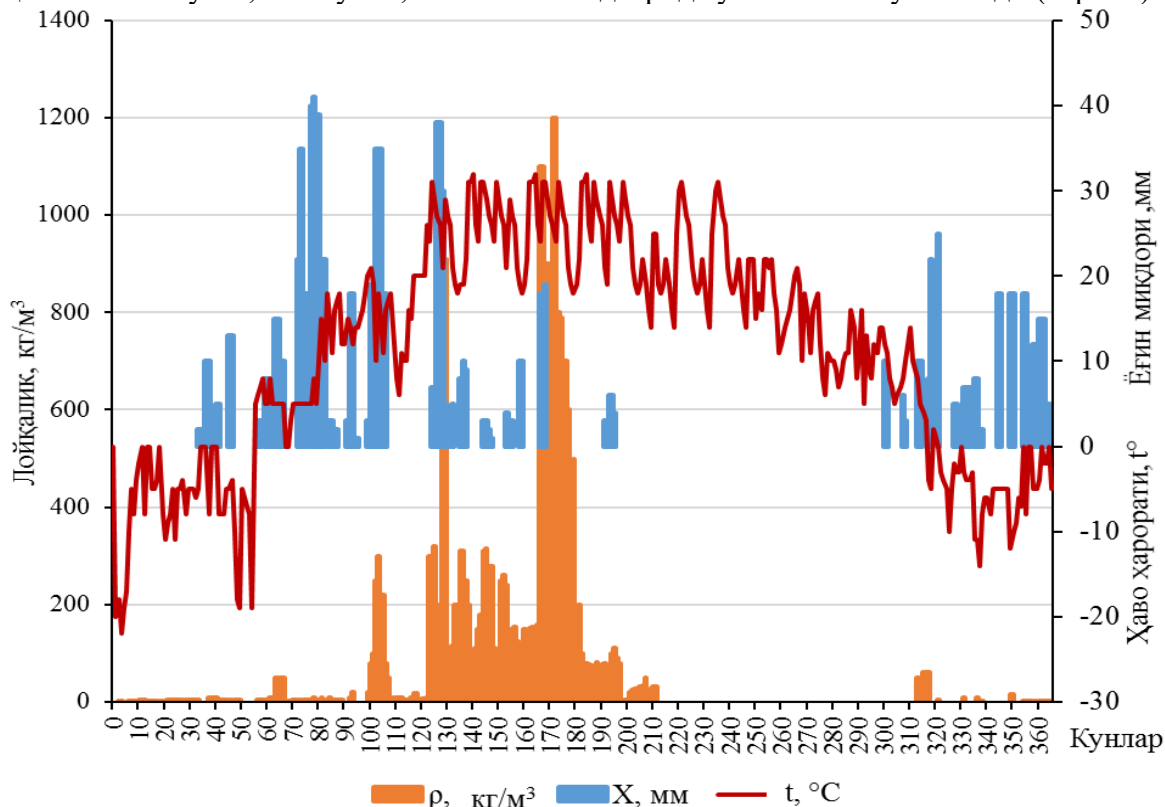
Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Маълумки, Ўзбекистон ва унга туташ ҳудудлардаги тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг О.П.Щеглова [Щеглова, 1972; 1984] ва олиманинг шогирдлари – С.Р.Саидова [Саидова, 1977], Х.К.Ташметов [Ташметов, 1987] ва А.Р.Расулов [Расулов, 1997] билан ҳамкорликда ишлаб чиқилган қуйидаги вариантлари мавжуд:

- 1) дарёлар суви лойқалиги хронологик графигини бўлакларга ажратиш;
- 2) дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини термик таҳлил қилиш;
- 3) дарёлар муаллақ оқизиклари билан табиий омиллар орасидаги боғланишларни статистик баҳолаш.

Қуйида уларнинг ҳар бири устида алоҳида-алоҳида тўхталиб ўтамиз.

Дарёлар суви лойқалиги хронологик графигини бўлакларга ажратиш. Тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг мазкур варианты О.П.Щеглова [Щеглова, 1972] томонидан ишлаб чиқилган ва кейинчалик уни А.Р.Расулов [Расулов, 1997] такомиллаштирган. Бу вариантни гидрологик ҳисоблашлар

амалиётида қўллашда асосий бирламчи манбалар сифатида дарёлар суви лойқалиги, ҳаво ҳарорати ва атмосфера ёғинларининг кундалик ўлчанган маълумотларидан фойдаланилади. Улар асосида ўрганилаётган дарё суви лойқалиги (ρ , г/л), ҳаво ҳарорати (t , °C) ва атмосфера ёғинлари (X , мм)нинг йиллик хронологик графиклари биргаликда чизилади. Ушбу графикнинг афзаллиги шундаки, у бир вақтнинг ўзида дарёлар сув режимининг фазалари ҳақида ҳам ахборот беради. Хусусан, тўлинсув даврида дарё сувида лойқалик катта бўлса, кам сувли, яъни межень даврида унинг акси кузатилади (1-расм).



1-расм. Дарёлар суви лойқалиги, атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг комплекс хронологик графиги
Чотқол дарёси – Чорвоқ ГП

Рис. 1. Комплексный хронологический график мутности воды рек, атмосферных осадков и температуры воздуха
Река Чаткал – ГП Чарвак

Fig. 1. Complex chronological graph of river water turbidity, atmospheric precipitation and air temperature
Chatkal river – HP Charvak

Мазкур вариант, гидрологик ҳисоблашлар амалиётида кенг қўлланиладиган, дарёлар оқими гидрографиини вертикал бўлакларга ажратиш усулининг аналогидир. Маълумки, ушбу вариантда ҳам дарёларнинг сув сарфи, атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг графиклари, уларнинг кундалик маълумотлари асосида, биргаликда чизилади.

Юқорида тилга олинган, яъни лойқалик, атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳароратининг комплекс график таҳлил қилиниб, дастлаб, ёмғир сувларидан шаклланган лойқалик ($\rho_{\text{ё}}$, г/м³) миқдори ҳисобланади:

$$\rho_{\text{ё}} = \rho - \rho_o, \quad (1)$$

бу ерда: ρ – дарё сувининг жорий вақтдаги лойқалиги, г/м³; ρ_o – дарё сувининг ёмғирдан олдинги лойқалиги, г/м³.

Ҳисоблашларнинг кейинги босқичида ёмғир сувлари ҳисобига ювилган тупроқ-грунтлар миқдори, яъни муаллақ оқизиклар оқими ($W_{\text{ё}}$, кг ёки тонна) қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$W_{\text{ё}} = 0,0864 \sum_{i=0}^n Q_i \cdot \rho_{i\text{ё}}, \quad (2)$$

бу ерда: Q_i ва $\rho_{i\text{ё}}$ – мос равишда, ёмғир сувлари ҳисобига шаклланган тошқин кунларидаги сув сарфи (м³/с) ва ёмғир ҳисобига шаклланган лойқалик (г/м³).

Мазкур вариант ёрдамида муаллақ оқизикларнинг ёмғир ва қор сувлари ҳамда ўзандан ювилиш ҳисобига шакллаган миқдорларини ҳам аниқлаш мумкин. Шу масалага оид ҳисоблашларни бажариш кетма-кетлиги юқорида қайд этилган, яъни мавзуга тегишли адабиётларда аниқ кўрсатилган. Шунингдек, ушбу вариантни гидрологик ҳисоблашлар амалиётида гидрометеорологик катталиклар (ρ , t , X)нинг пентадали ва декадали маълумотлари асосида ҳам қўллаш имкониятлари мавжуд.

Юқорида баён этилганлардан кўриниб турибдики, мазкур вариантни гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш, биринчидан, дарёлар сувининг лойқалиги, ҳаво ҳарорати ва атмосфера ёғинларининг катта ҳажмдаги кундалик гидрометеорологик маълумотларидан ташкил топган базани яратишни талаб қилади. Иккинчидан, улар асосида махсус ҳисоблашларни бажариш лозим бўлади (1-жадвал).

1-жадвал

Тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усули вариантларининг тавсифи

Таблица 1

Характеристика вариантов метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек

Table 1

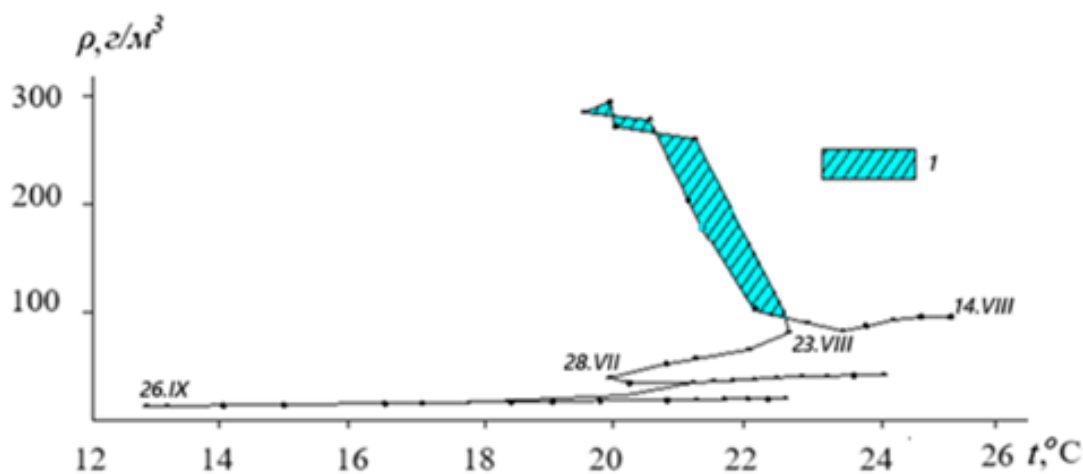
Description of variants of the method of analysis of suspended discharges of mountain rivers according to their genesis

Вариантлар	Муаллифлар	Зарур маълумотлар	Амалиётда қўллаш механизми
1. Дарёлар суви лойқалиги хронологик графигини бўлакларга ажратиш	О.П.Щеглова, А.Р.Расулов	Дарё суви лойқалиги, ҳаво ҳарорати ва атмосфера ёғинлари ҳақидаги кундалик маълумотлар	Ҳар бир йил учун дарё суви лойқалиги, ҳаво ҳарорати ва ёғинларнинг хронологик графиклари чизилади, уларнинг таҳлиллари асосида ёмғир ва эриган қор сувлари ҳисобига ювилиш миқдорлари аниқланади
2. Дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини термик таҳлил қилиш	О.П.Щеглова, С.Р.Саидова	Дарё суви лойқалиги ва ҳаво ҳарорати ҳақидаги кундалик маълумотлар	Ҳар бир тошқин учун $\rho=f(t)$ боғланиш графиклари ўртача 3 кунлик ёки ўртача пентадали маълумотлар асосида чизилади. Графиклар таҳлил қилиниб, ёмғир, эриган қор ва музлик сувлари ҳисобига ювилиш миқдорлари аниқланади

1- жадвал давоми

3. Дарёлар муаллақ оқизиклари билан табиий омиллар орасидаги боғланиш-ларни статистик баҳолаш	О.П.Щеглова, Х.Қ.Ташметов	Дарёлар ҳавзаларига тегишли бўлган гидрологик (F , $N_{\text{ўрт}}$, M , i_d , i_x), гляциологик ($F_{\text{муз}}$), метеорологик (t , X) ва ботаник омиллар ҳақидаги маълумотлар.	Дарёлар ҳавзаларидан ювилиш модули (M_R) билан табиий (гидрологик, гляциологик, метеорологик, геологик, ботаник) омиллар орасидаги кўп ҳадли боғланишлар статистик баҳоланади. Ҳар бир омилнинг кўп ҳадли боғланишларнинг регрессия тенгламаларига қўшган ҳиссалари асосида ювилиш генезиси аниқланади.
---	------------------------------	---	---

Дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини термик таҳлил қилиш. Мазкур вариант дарёлар суви лойқалиги (ρ , г/м³) билан ҳаво ҳарорати (t , °C) кундалик қийматларининг ўзаро боғлиқлигига асосланган. Шу мақсадда $\rho = f(t)$ боғланиш графиги лойқалик ва ҳаво ҳароратининг ўртача уч ёки беш кунлик маълумотлари асосида чизилади. Ушбу боғланишнинг тегишли таҳлиллари дарёлар ҳавзалари юзаларидан тупроқ-грунтларнинг ёмғир сувлари, эриган қор ва музлик сувлари ҳисобига ювилиши миқдорларини аниқлаш имконини беради. Графикда лойқаликнинг ҳаво ҳароратига боғлиқлигини ифодаловчи ҳалқасимон эгри чизик билан чегараланган майдон ёмғир сувлари ҳисобига ҳосил бўлган муаллақ оқизиклар оқими миқдорини ифодалайди (2-расм).



2-расм. Чотқол дарёси (Чарвоқ ГП) суви лойқалиги(ρ)нинг ҳаво ҳарорати (t) билан боғлиқлиги

1 - ёмғир шакллантирган лойқалик

Рис. 2. Зависимость мутности воды (ρ) реки Чаткал (ГП Чарвак) от температуры воздуха (t)

1 – мутность воды дождевого генезиса

Fig. 2. Dependence of water turbidity (ρ) of the Chatkal River (Charvak State Park) on air temperature (t)

1 – turbidity of water due to rainfall

Дарёлар муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилишнинг ушбу варианты эриган қор ва музликлар сувлари ҳисобига ҳосил бўлган муаллақ оқизиклар оқими миқдорини аниқлашда ҳам қўлланилади. Маълумки, йилнинг илиқ мавсумларида дарёлар

ўзанларида ҳаракатланаётган муаллақ оқизиклар миқдори ҳаво ҳароратининг кўтарилишига мос ҳолда ортиб боради. Айнан ушбу қонуният эриган қор ва музликлар сувлари ҳисобига ювилиш миқдорини баҳолаш имконини беради.

Дарёлар ўзанлари тубидан тупроқ-грунтлар ювилиши, яъни ўзан емирилиши ҳисобига ҳосил бўладиган муаллақ оқизиклар миқдорини аниқлаш мақсадида, дарёлар суви лойқалиги (ρ , г/м³) ҳамда сув сарфлари (Q , м³/с)нинг кундалик маълумотлари асосида тузилган $\rho=f(Q)$ боғланиш графигидан фойдаланилади. Мазкур вариант дарёлар ўзанларининг ювилиши ҳисобига ҳосил бўлган муаллақ оқизиклар миқдорини аниқлашда ҳам қўлланилади. Бунинг учун, кўшимча равишда, дарёлар суви лойқалиги ҳамда сув сарфларининг кундалик маълумотлари асосида тузилган хронологик графикдан ҳам фойдаланиш мумкин.

Ушбу вариантни гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш, юқорида тавсифланган вариант каби, катта ҳажмдаги бирламчи гидрометеорологик маълумотлар базасини, шунга мос равишда, катта ҳажмдаги ҳисоблаш ишларини талаб қилишини алоҳида таъкидлаш лозим.

Дарёлар муаллақ оқизиклари билан табиий омиллар орасидаги боғланишларни статистик баҳолаш. Дарёлар муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг мазкур варианты О.П.Щеглова [Щеглова, 1984] ва Ҳ.К.Ташметов [Ташметов, 1987] томонидан ишлаб чиқилган. Унга дарёлар ҳавзаларидан тупроқ-грунтлар ювилиши миқдори билан бу жараёнга таъсир этувчи табиий омиллар орасидаги кўпхадли боғланишлар асос қилиб олинган. Вариантни ишлаб чиқишда, унинг муаллифлари томонидан, қуйидагилар табиий омиллар сифатида ҳисобга олинган: 1) дарё ҳавзаси майдони – F , км²; 2) ҳавзанинг ўртача баландлиги – $H_{\text{ўрт}}$, м; 3) рельеф элементлари, жумладан: дарёнинг нишаблиги – i_d , ‰; ҳавзанинг нишаблиги – i_x , ‰; 4) дарё ҳавзасида тоғ музликлари эгаллаган майдон – F_m , км²; 5) геологик омиллар; 6) ўсимлик қоплами; 7) ўртача йиллик ҳаво ҳарорати – t , °С; 8) оқим модули – M , л/с•км²; 9) сейсмик фаоллик коэффициенти – K_s .

Дарёлар ҳавзалари юзаларидан тупроқ-грунтлар ювилиши жадаллигини белгиловчи ушбу табиий омиллар орасида геологик омиллар ва ўсимлик қоплами омиллини рақамларда ифодалаш бир мунча субъектив характерга эга. Бу ҳолат мазкур вариантни келажакда янада такомиллаштириш лозимлигига ишорадир.

Юқорида баён этилганлардан кўриниб турибдики, дарёлар муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг бугунги кунда мавжуд бўлган барча вариантлари жуда катта ҳажмдаги гидрологик, метеорологик, гляциологик, геоморфологик, геологик ва, ҳатто, ботаник маълумотлар базасини яратишни, уларни бирламчи қайта ишлаш ва тизимлаштиришни талаб этади. Шунингдек, генетик таҳлил усулининг биз кўриб чиққан биринчи ва иккинчи вариантларида дарёлар муаллақ оқизиклари, иқлимий омиллар - ҳаво ҳарорати, ёғинларнинг кундалик маълумотларидан фойдаланган ҳолда, кўзланган мақсадга эришиш учун, жуда катта меҳнат, тажриба ва, табиийки, кўп вақт талаб қилади. Учинчи вариантда эса геологик ва ўсимлик қоплами каби табиий омилларни рақамларда ифодалаш мураккаблик туғдиради. Айнан шу ҳолатлар дарёлар муаллақ оқизикларининг генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг, замонавий технологиялар ва математик аппаратдан кенг фойдаланишга асосланган, янги вариантларини ишлаб чиқишни тақозо этади.

Дарёлар муаллақ оқизикларини генези бўйича таҳлил қилиш усулининг мавжуд вариантлари, юқорида қайд этилганидек, жуда катта ҳажмдаги маълумотлар базасини, уларни қайта ишлаш билан боғлиқ бўлган ҳисоблашларни, олинган натижаларнинг чуқур таҳлилларини ва, шу билан бирга, бу борада тадқиқотчидан катта тажрибани ҳам талаб

этади. Ушбу муаммонинг ечимига эришишда замонавий ҳисоблаш усулларида фойдаланиш ижобий натижа беради. Ана шундай замонавий ҳисоблаш усулларида бири Г.А.Алексеев таклиф этган корреляцион боғланишларни объектив тенглаштириш ва нормаллаштириш усулларида. Дарёлар муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг замонавий вариантини ишлаб чиқишга қаратилган келгуси тадқиқотларда айнан шу усулларни қўллаш истиқболлидир, деб ҳисоблаймиз.

Мазкур мақола мавзуи доирасида бажарилган тадқиқотга **хулоса** сифатида қуйидагиларни қайд этиш лозим, деб ҳисоблаймиз.

1. Тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг мавжуд вариантларига тавсиф берилди. Хусусан, генетик таҳлил усулининг дарёлар суви лойқалиги хронологик графигини бўлакларга ажратиш, дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини термик таҳлил қилиш ва дарёлар муаллақ оқизиклари оқими билан табиий омиллар орасидаги боғланишларни статистик баҳолашга асосланган вариантлари қиёсий ўрганилди, уларнинг муаммоли қирралари аниқланди.

2. Дарёлар муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усули ҳар бир вариантини гидрологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш имкониятлари баҳоланди. Бу жараённинг катта ҳажмдаги маълумотлар базасини, уларни қайта ишлаш билан боғлиқ бўлган ҳисоблашларни, олинган натижаларнинг чуқур таҳлилларини ва бу борада тадқиқотчидан катта илмий ва амалий тажрибани ҳам талаб этиши алоҳида қайд этилди.

3. Тоғ дарёлари муаллақ оқизикларини генезиси бўйича таҳлил қилиш усулининг янги вариантини ишлаб чиқишга қаратилган келгуси тадқиқотларда замонавий ҳисоблаш усулларида фойдаланиш лозим. Улардан бири Г.А.Алексеев таклиф этган корреляцион боғланишларни объектив тенглаштириш ва нормаллаштириш усулларида. Бу борада қўйилган дастлабки қадамлар муаммонинг ечимига қаратилган изланишларда айнан шу усулларни қўллаш истиқболли эканлигини кўрсатди.

Миннатдорчилик. Мақола муаллифлари мазкур ишни тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган барча ҳамкасбларига ўзларининг миннатдорчиликларини изҳор этадилар.

Муаллифлар ҳиссаси. **Г.У. Жумабаева:** мақола ғоясини қўллаш, маълумотларни тўплаш, ҳисоблашлар, уларни натижалари таҳлили, мақолани расмийлаштириш, **Л.Ғ. Алимардонов:** ҳисоблашларни бажариш, натижаларни жадвалларда умумлаштириш, чизма-графикларни тайёрлаш, **Ф. Ҳикматов:** мақола ғояси, методология, раҳбарлик, натижалар таҳлили. Мақола муаллифлари қўлёзманинг нашрига тавсия этилган матни билан танишдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Алексеевский Н.И., Михинов А.Е. Формирование и динамика наносов в речной сети // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. Гидрология суши, 1991. – М. Т. 8. –184 с.

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

Кабанова К.С. Генетический анализ режима стока взвешенных наносов рек Средней Азии // Учен. зап. ЛГУ. Сер. Географическая, 1952. № 152. – Вып. 8. – С. 107-158.

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

Лопатин Г.В. Опыт анализа зависимости средней мутности речных вод от главнейших природных факторов водной эрозии // Изв. АН СССР. Сер. географическая, 1958. №4. – С. 91-98.

Поляков Б.В. Исследование стока взвешенных и донных наносов. – Л.: Изд-во ГТИ, 1935. – 129 с.

Расулов А.Р. Количественная оценка интенсивности проявления процессов водной эрозии в зоне Чарвакского водохранилища // Известия Географического общества Узбекистана, 1997. – Т.18. – С. 146-151.

Саидова С.Р. Мутность воды и вынос мелкозема с горной части бассейна Чирчика. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. – Ленинград, 1977. – 28 с.

Сирлибаева З.С., Юнусов Г.Х. Оценка стока взвешенных наносов малых рек бассейна Кашкадарьи / Материалы XVIII пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме ЭРУ процессов. – Курск, 2003. – С. 198-199.

Ташметов Х.К. Генетический анализ стока взвешенных наносов горных рек Грузии / Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. – Ташкент, 1987. – С. 142-144.

Хикматов Ф. Генетический анализ и вопросы прогноза стока взвешенных наносов рек Средней Азии. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. – Ташкент, 1984. – 21 с.

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

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

Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Ч. 1,2. – 691 с.

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

Щеглова О.П. Генетический анализ и картографирование стока взвешенных наносов рек Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 127 с.

О ВАРИАНТАХ МЕТОДА ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК

Г.У. ЖУМАБАЕВА¹, Л.Г. АЛИМАРДОНОВ¹, Ф. ХИКМАТОВ¹

¹ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, jumabayeva.g@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены варианты генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек, в частности: расчленение хронологического графика мутности речных вод; термический анализ стока взвешенных наносов рек; статистическая оценка многофакторных связей между стоком взвешенных наносов рек и природными факторами. Дана характеристика каждому варианту и указаны сферы их применения в гидрологических расчетах.

Ключевые слова: река, мутность, взвешенные наносы, генетический анализ, варианты, хронологический график, термический анализ, многофакторная связь, области применения.

ON VARIANTS OF THE GENETIC ANALYSIS METHOD OF SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF IN MOUNTAIN RIVERS

G.U. JUMABAYEVA¹, L.G. ALIMARDONOV¹, F. KHIKMATOV¹

¹National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, jumabayeva.g@mail.ru

Abstract. This article examines options for genetic analysis of suspended sediment runoff in mountain rivers, including: dissection of the chronological graph of river water turbidity; thermal analysis of suspended sediment runoff in rivers; and statistical assessment of multifactorial relationships between suspended sediment runoff in rivers and natural factors. Each option is characterized and their applications in hydrological calculations are indicated.

Keywords: river, turbidity, suspended sediment, genetic analysis, variants, timeline, thermal analysis, multivariate relationship, applications.

REFERENCES

- Alekseevsky N.I., Mikhin A.E.* Formirovanie i dinamika nanosov v rechnoy seti [Formation and dynamics of sediment in a river network] // VINITI. Itogi nauki i tekhniki. Ser. Gidrologiya sushi, 1991. – M., T. 8. – 184 s. (in Russian)
- Ivanov Yu.N.* Stok vzveshennix nanosov rek basseyna Sirdari [Suspended sediment runoff of rivers in the Syrdarya basin] // Tr. SANIGMI, 1967. – Vol. 36(51). – 309 s. (in Russian)
- Kabanova K.S.* Geneticheskiy analiz rejima stoka vzveshennix nanosov rek Sredney Azii [Genetic analysis of the regime of suspended sediment runoff in rivers of Central Asia] // Uchen. zap. LGU. Ser. geograficheskaya, 1952. No 152. – Vol. 8. – S. 107-158. (in Russian)
- Karaushev A.V.* Teoriya i metodi rascheta rechnix nanosov [Theory and methods for calculating river sediments]. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 272 s. (in Russian)
- Khikmatov F.* Geneticheskiy analiz i voprosi prognoza stoka vzveshennix nanosov rek Sredney Azii [Genetic analysis and issues of suspended sediment runoff forecasting in Central Asian rivers]. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk. – Tashkent, 1984. – 21 s. (in Russian)
- Khikmatov F.Kh.* Vodnaya eroziya i stok vzveshennix nanosov gornix rek Sredney Azii [Water erosion and suspended sediment runoff of mountain rivers of Central Asia]. – Tashkent: Izd-vo «Fan va texnologiya», 2011. – 248 s. (in Russian)
- Lopatin G.V.* Opit analiza zavisimosti sredney mutnosti rechnix vod ot glavneyshix prirodnykh faktorov vodnoy erozii [Experience in analyzing the dependence of the average turbidity of river waters on the main natural factors of water erosion] // Izv. AN SSSR. Ser. geograficheskaya, 1958. No 4. – S. 91-98. (in Russian)
- Polyakov B.V.* Issledovanie stoka vzveshennix i donnix nanosov [Study of the runoff of suspended and bottom sediments]. – L.: Izd-vo GGI, 1935. – 129 s. (in Russian)
- Rasulov A.R.* Kolichestvennaya otsenka intensivnosti proyavleniya protsessov vodnoy erozii v zone Charvakskogo vodoxranilisha [Quantitative assessment of the intensity of water erosion processes in the Charvak Reservoir zone] // Izvestiya Geograficheskogo obshchestva Uzbekistana, 1997. – Tashkent. – T. 18. – S. 146-151. (in Russian)
- Saidova S.R.* Mutnost vodi i vinos melkozema s gornoy chasti basseyna Chirchika [Turbidity of water and the removal of fine earth from the mountainous part of the Chirchik basin]. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk. – Leningrad, 1977. – 28 s. (in Russian)
- Sirlibaeva Z.S., Yunusov G.Kh.* Otsenka stoka vzveshennix nanosov malix rek basseyna Kashkadari [Estimation of suspended sediment runoff of small rivers of the Kashkadarya basin] / Materialy XVIII plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya po probleme ERU protsessov. – Kursk, 2003. – S. 198-199. (in Russian)
- Shamov G.I.* Rechnie nanosi [River sediments]. – L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 378 s. (in Russian)
- Shults V.L.* Reki Sredney Azii [Rivers of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1965 – P. 1, 2. – 691 s. (in Russian)
- Shcheglova O.P.* Formirovanie stoka vzveshennix nanosov i smiv s gornoy chasti Sredney Azii [Formation of suspended sediment runoff and erosion from the mountainous part of Central Asia] // Tr. SANIGMI, 1972. – Vol. 60 (75). – 228 s. (in Russian)
- Shcheglova O.P.* Geneticheskiy analiz i kartografirovaniye stoka vzveshennix nanosov rek Sredney Azii [Genetic analysis and mapping of suspended sediment runoff of rivers of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 127 s. (in Russian)
- Tashmetov H.K.* Geneticheskiy analiz stoka vzveshennix nanosov gornix rek Gruzii [Genetic analysis of suspended sediment runoff of mountain rivers of Georgia] / Tezisi dokladov Respublikanskoyn nauchno-texnicheskoy konferentsii molodix uchenix i spetsialistov – Tashkent, 1987. – S. 142-144. (in Russian)

УДК: 556.16

**ПИСКОМ ДАРЁСИ ОҚИМИНИ ТУРЛИ ПРОГНОЗЛАШ МОДЕЛЛАРИ АСОСИДА
БАҲОЛАШНИНГ ИЛМИЙ АСОСЛАРИ****Ў.А. БАЛХИЕВ¹*, К.Ф. ҒОҒУРЖОНОВ¹, Д.М. ТУРҒУНОВ¹**¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, balxiyevo@gmail.com

Аннотация. Ушбу мақолада Писком дарёси ҳавзасидаги метеорологик маълумотлар асосида Machine Learning (ML) моделларидан фойдаланиб сув сарфини прогнозлаш имкониятлари ўрганилди. Мақолада Писком дарёси оқими билан метеорологик омиллар орасидаги боғланишлар Random Forest, XGBoost ва LSTM моделлари асосида қўрилди ҳамда уларнинг аниқлиги турли баҳолаш кўрсаткичлари (MAE, RMSE, R^2 ва NSE) орқали таққосланди. Таҳлиллار шуни кўрсатдики, Random Forest модели Писком дарёси сув сарфини юқори аниқлик билан прогнозлашда энг самарали натижани берди. Тадқиқот натижалари дарё оқимини миқдорий баҳолаш ва сув ресурсларини бошқаришда ML моделлари самарали восита бўлиши мумкинлигини кўрсатади.

Калит сўзлар: дарё ҳавзаси, дарё оқими, сув сарфи, метеорологик омиллар, дарё оқимини прогнозлаш моделлари, Machine Learning, Random Forest, XGBoost, LSTM, прогнозлаш аниқлиги.

Кириш. Сўнгги йилларда дунё миқёсида сув ресурсларига бўлган талаб йилдан-йилга ортиб бормоқда. БМТ маълумотларига кўра, 2050 йилга бориб дунё аҳолиси 9,7 миллиард кишига етиши кутилмоқда [UN ..., 2022], бу эса сувдан фойдаланиш ҳажмининг кескин ортишига олиб келади. Шу билан бирга, иқлим ўзгариши атмосфера ёғинларининг тақсимоти, буғланиш жараёнлари ва дарё оқимларига сезиларли таъсир кўрсатмоқда. Хусусан, қурғоқчилик ва тошқин хавфларининг кучайиши, сув ресурсларининг ҳудудий ва мавсумий нотекис тақсимланиши инсоният учун катта хавф туғдирмоқда. Бу эса, ўз навбатида, гидрологик прогнозлар соҳасида замонавий гидрологик тадқиқотларни олиб боришни тақозо этади.

Бугунги кунда Марказий Осиё минтақаси, жумладан, Ўзбекистонда гидрологик прогнозлар сув ресурсларини интеграллашган ҳолда бошқариш, гидроэнергетика, қишлоқ хўжалиги, саноат, сув тошқинлари хавфини камайтириш, қурғоқчиликни юмшатиш каби масалалар бўйича қарорлар қабул қилишда биринчи даражали аҳамиятга эга.

Анъанавий гидрологик моделлар (масалан, сув баланси моделлари, физика асосидаги детерминистик ёндашувлар) кўплаб параметр ва мураккаб тенгламаларни талаб қилади. Амалий шароитда бундай моделлар учун зарур бўлган маълумотларни тўплаш қийин, натижалари эса ҳар доим ҳам юқори аниқлик бермайди. Шу сабабли, сўнгги йилларда гидрологияда ML (Machine Learning) ва сунъий интеллект усулларидан фойдаланиш тобора кенгаймоқда.

ML усуллари гидрологик кузатув маълумотлардан ўхшашлик ва боғлиқликларни автоматик аниқлайди ва бу асосда прогноз тузади. Масалан, Random Forest, XGBoost ва LSTM каби моделлар вақт қаторлари билан самарали ишлай олади. ML усуллари нафақат қисқа муддатли прогнозлар, балки иқлим сценарийлари асосида узоқ муддатли прогнозлар учун ҳам қўлланилиши мумкин [Kratzert et al., 2019].

Тадқиқотнинг асосий мақсади – Писком дарёси оқими билан метеорологик омиллар – ҳаво ҳароратлари ва атмосфера ёғинлари орасидаги боғланишларни аниқлаш, ML моделларини қўллаш орқали дарё оқимини прогнозлаш, моделлар аниқлигини турли

* Масъул муаллиф: balxiyevo@gmail.com, тел.: +998947773007

баҳолаш методлари ёрдамида таққослаш ҳамда сув ресурсларини бошқаришда ушбу ёндашувнинг самарадорлигини ёритишдан иборатдир.

Бирламчи маълумотлар. Тадқиқот ишида Писком дарёси ҳавзасидаги танланган метеорологик станция ва гидрологик постда кузатилган кундалик сув сарфи, кундалик ўртача ҳаво ҳарорати ва кундалик атмосфера ёғинлари миқдорининг кўп йиллик (1991-2024 йй.) маълумотлари тўпланди ва таҳлил қилинди.

Услубият. Ишни бажаришда Machine Learning алгоритми бўлган Random Forest, XGBoost (Extreme Gradient Boosting), LSTM (Long Short-Term Memory) моделларидан фойдаланилди. Шунингдек, ишда қўлланилган моделларнинг аниқлигини ошириш мақсадида Lag features, Rolling features va Validatsiya каби усуллардан фойдаланилди.

Lag features (кечикиш хусусияти). Вақт қаторларида ҳозирги ҳолат кўпинча аввалги қийматларга боғлиқ бўлади. Шу сабабли, дарё оқимини прогноزلашда олдинги кунларнинг қийматлари (**lag features**) қўлланилди. Масалан, $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-7)$ каби хусусиятлар ёрдамида модел дарё оқимининг вақт бўйича кечиккан таъсирини ўрганади. Бу ёндашув гидрологик жараёнларда мавжуд бўлган инерция ва кечиқишни ҳисобга олиш имконини беради.

Rolling features. Дарё оқимида қисқа муддатли тебранишлар билан бир қаторда умумий тенденциялар ҳам муҳим аҳамиятга эга. Масалан, $Q(t-7)$ – охириги 7 кунлик сув сарфининг ўртача қиймати ёки $X(t-30)$ – охириги 30 кунлик ёғин миқдори. Ушбу кўрсаткичлар дарё оқимини мавсумий хусусиятларини яхшироқ ифодалайди.

Validation. Моделни баҳолаш учун вақт қаторлари асосида *ўргатувчи* ва *назорат* бўлиниши амалга оширилди. Дастлабки давр (1991–2015 йиллар) *ўргатувчи* сифатида, сўнгги давр (2016–2020 йиллар) эса *назорат* сифатида ажратилди. Бундай бўлиниш моделни келажакдаги даврларни прогноزلашга яқинроқ шароитда синовдан ўтказиш имконини беради.

Юқорида келтирилган Random Forest, XGBoost, va LSTM моделлари сув ресурслари прогноزلаш жараёнида кенг қўлланиши мумкин. Ҳар бир моделнинг ўзига хос афзалликлари ва чекловлари мавжуд бўлиб, маълумотларнинг хусусияти, прогноз мақсади ҳамда мавжуд ресурслардан келиб чиққан ҳолда мос модел танланади. Шу билан бирга, баҳолаш мезонлари сифатида MAE, RMSE, R^2 va NSE каби кўрсаткичлар қўлланилиши модел натижаларини илмий асосда солиштириш ва таҳлил қилиш имконини беради.

Баҳолаш мезонлари. Ишда олинган натижалар иккита асосий тоифадаги тўртта статистик кўрсаткичдан фойдаланган ҳолда баҳоланди (1-жадвал): **Хатолик катталиги** (RMSE, MAE) ва **Мослик ёки Корреляция** (R^2 , NSE) [Nishonov, Abdurakhmanov, 2025].

1-тоифа Хатолик катталиги:

a) MAE (Mean Absolute Error) – Ўртача абсолют хатолик

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

b) RMSE (Root Mean Squared Error) – ўртача квадратли четлашиш

$$RMSE = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2\right)} \quad (2)$$

2-тоифа Мослик ёки Корреляция:

a) R^2 (детерминация коэффиценти)

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)(y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

b) NSE (Nash–Sutcliffe Efficiency) – Неш-Сатклиф самарадорлиги

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}\right) \quad (4)$$

Бу ерда y_i – ҳақиқий қиймат, $\hat{y}_i$ – модел прогнози, n – кузатувлар сони.

1-жадвал

Статистик усулларнинг қийматлари

Таблица 1

Значения статистических методов

Table 1

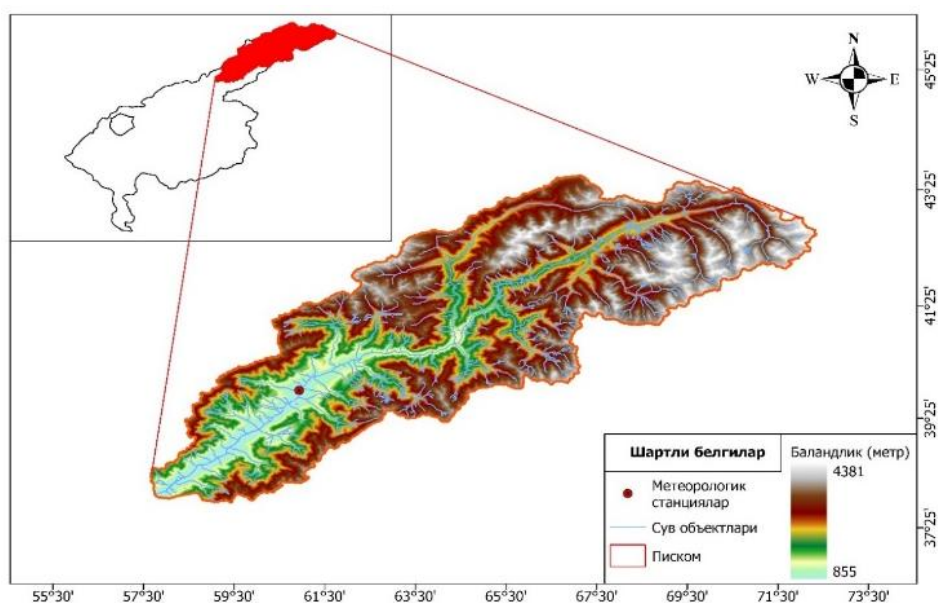
Values of statistical methods

N	Статистик кўрсаткичлар	Ўлчаш кўрсаткичи	Оралик	Энг яхши қиймат
1	MAE	Кузатилган ва прогноз қилинган қийматлар орасидаги ўртача абсолют фарқни кўрсатади	0 дан ∞ гача	0 га яқин бўлиши яхши
2	RMSE	Катта хатоликларга кўпроқ эътибор берадиган умумий аниқлик ўлчови	0 дан ∞ гача	0 га яқин бўлиши яхши
3	R ²	Модел кузатилган қийматлардаги ўзгарувчанликни кўрсатади	0 дан 1 гача	1 га яқин бўлиши яхши
4	NSE	Модел натижалари кузатилган маълумотларга яқинлигини баҳолайди	$-\infty$ дан 1 гача	0 га яқин бўлиши яхши

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Ишда тадқиқот объекти сифатида танлаб олинган Писком дарёси Чирчиқ дарёсининг йирик ирмоқларидан бири ҳисобланади (1-расм). У қишлоқ ҳўжалиги, ичимлик суви таъминоти ва гидроэнергетика учун муҳим манба бўлиб хизмат қилади. Шу боис, дарёда шаклланадиган сув ресурсларидан фойдаланишни режалаштириш, сув тақчиллиги ва тошқин хавфларининг олдини олиш, шунингдек, экологик барқарорликни таъминлашда алоҳида аҳамиятга эга. Писком дарёсининг умумий узунлиги 70 км, сув йиғилиш майдони эса 2840 км² га тенг. Писком дарёси Майдонтол ва Ойгаинг дарёларининг қўшилишидан ҳосил бўлади. Бу икки дарёнинг сув йиғилиш майдони биргаликда Писком дарёси сув йиғилиш майдонининг ярмидан кўпроғини (55%) ташкил этади.

Писком чуқур водийда тез оқадиган тоғ дарёсидир. Дарёнинг юқори оқимида водий ён бағирлари жуда тик ва баланд. Дарёнинг қуйи оқимида эса улар анча ётиқ ва паст. Дарёнинг фақат бошланиш қисмидагина яққол шаклланган анча кенг (200-250 м) қайир ҳосил бўлган. Дарёнинг ўрта ва қуйи оқимида эса қайир онда-сонда учрайди. Дарёнинг ўзани ўртача эгри-бугри, водий кенгайган ва қайир ҳосил бўлган жойларда бир нечта тармоқларга ажралиб, ўз қиёфасини тез-тез ўзгартириб турадиган кичкина-кичкина ороллар ҳосил қилган.

Писком дарёсининг асосий ташкил этувчилари бўлган Майдонтол ва Ойгаинг дарёларининг сув йиғиш майдонлари Чирчиқ ҳавзасидаги бошқа дарёлардан баланд (Майдонтол – 3016 м, Ойгаинг – 2998 м). Ушбу дарёларнинг ҳавзаси нам ҳаво массаларига очиқ ва қулай жойлашганлиги туфайли дарёлар ҳавзасида қор кўп ёғади ва қор чизиги анча пастдан ўтган. Ҳавзада абадий қор ва музликлар ҳам нисбатан кўпроқ. Чирчиқ ҳавзасида ҳисобга олинган музликларнинг деярли 3/4 қисми (173 км² дан 129 км²) ёки 222 та музликдан 140 таси Писком ҳавзасида, асосан Майдонтол ва Ойгаинг дарёларининг сув йиғиш майдонида жойлашган [Шульц, Машрапов, 1969].

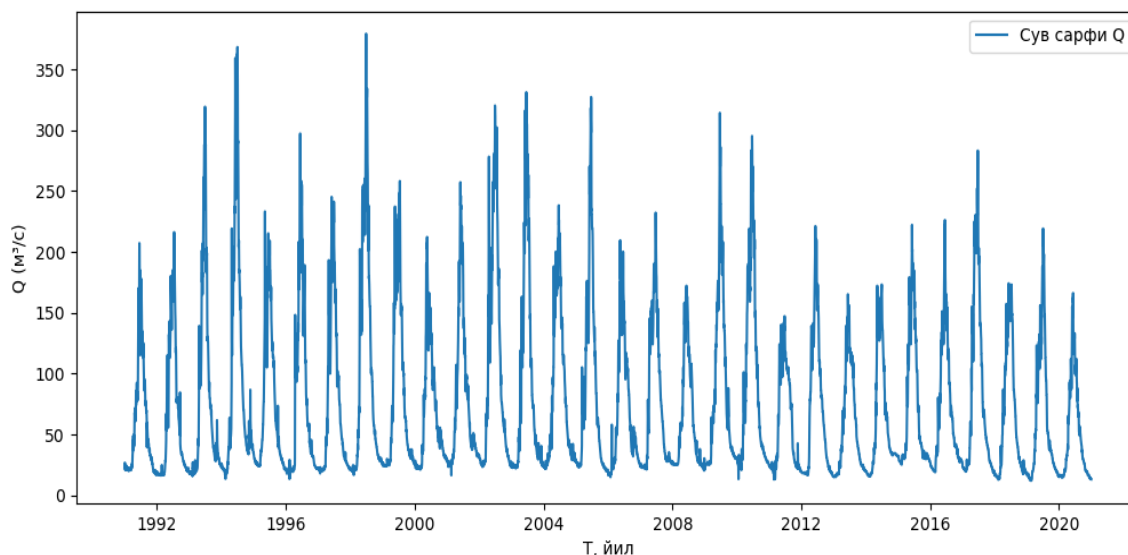


1-расм. Писком дарё ҳавзасининг гипсографик харитаси

Рис. 1. Гипсографическая карта бассейна реки Пскем

Fig. 1. Hypsographic map of the Pskem river basin

Писком дарёсининг ўртача йиллик сув сарфи 56-118 м³/с оралиғида ўзгариб туради. Ўрта ҳисобда Писком дарёсида йиллик оқимнинг 47 фоизи март-июнь даврида, қарийб 38 фоизи июль – сентябр даврида ва қолган 15 фоизи октябрь-февраль даврида оқиб ўтади (2-расм). Бироқ, шуни кўрсатиб ўтиш зарурки, айрим йилларнинг иқлимий хусусиятларига боғлиқ ҳолда оқимнинг йил ичида тақсимланиши юқори кўрсатилгандан анча ўзгача бўлиши ҳам мумкин.

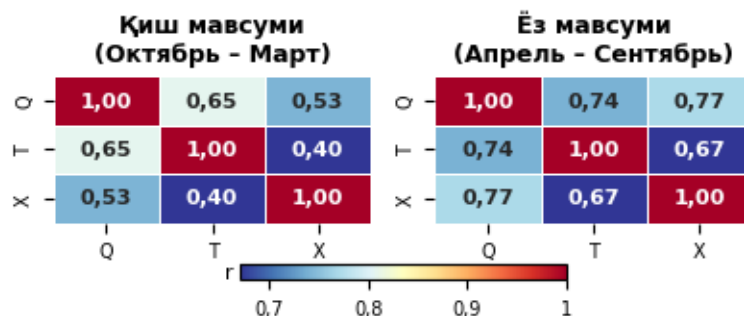


2-расм. Писком дарёси оқимининг йиллараро ўзгариши

Рис. 2. Межгодовые изменения стока реки Пскем

Fig. 2. Interannual changes in Pskem river water discharge

Тадқиқотнинг асосий мақсадидан келиб чиққан ҳолда, Писком дарёси оқимининг 1996–2024 йиллардаги ўзгаришларини баҳолашда Machine Learning алгоритмлари – Random Forest, XGBoost (Extreme Gradient Boosting) ва LSTM (Long Short-Term Memory) моделларнинг асосий ўзгарувчилари сифатида метеорологик кўрсаткичлар (ёғин миқдори – X , ҳаво ҳарорати – T) танланди. Бунда, дарёда кузатилган ўртача ойлик сув сарфлари (Q), ўртача ойлик ҳаво ҳарорати (T) ва ойлик атмосфера ёғинлари ҳақидаги гидрометеорологик маълумотлардан фойдаланилди (3-расм).



3-расм. Писком дарёсида сув сарфи (Q), ҳаво ҳарорати (T) ва ёғин миқдори (X) ўртасидаги мавсумий Пирсон корреляцияси

Рис. 3. Сезонная корреляция Пирсона между расходом воды (Q), температурой воздуха (T) и количеством осадков (X) в реке Пскем

Fig. 3. Seasonal Pearson correlation between discharge (Q), temperature (T) and precipitation (X) in the Pskem river

Пирсон корреляция кўрсаткичлари (r) бўйича мавсумий таҳлил куйидаги натижаларни берди.

Сув сарфи (Q) ва ёғин миқдори (X) ўртасидаги боғлиқлик ёзги мавсумда (апрель-сентябрь) ижобий ($r = 0,77$), қишда (октябрь–март) эса ўртача ($r = 0,53$). Бу ёғиннинг гидрологик оқимга асосий таъсир этувчи омиллардан бири эканини кўрсатади.

Сув сарфи (Q) ва ҳаво ҳарорати (T) ўртасида ёзги мавсумда ижобий корреляция ($r = 0,74$), қишда эса ўртача ($r = 0,65$) аниқланди. Бу ҳаво ҳароратининг оқим шаклланиш жараёнлари ва мавсумий оқим ўзгаришларига таъсирини акс эттиради.

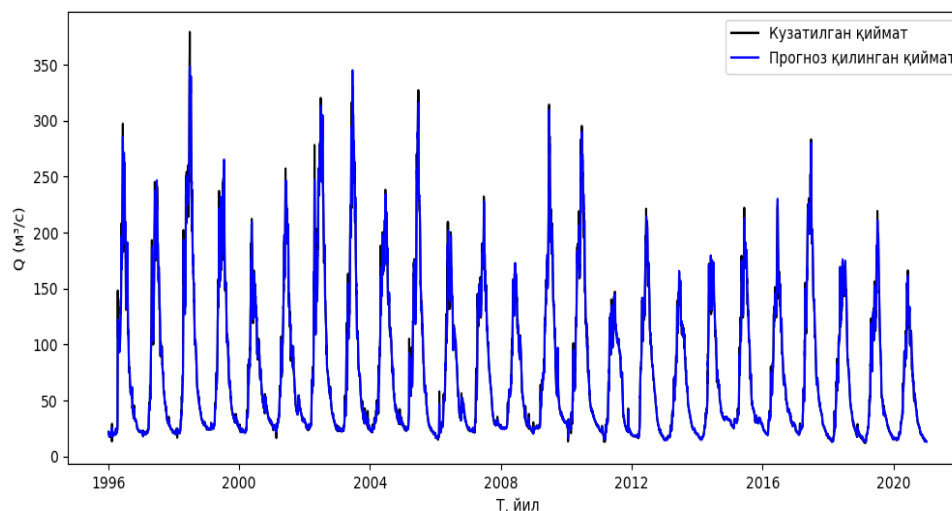
Ҳаво ҳарорати (T) ва ёғин миқдори (X) ўртасида ёзги мавсумда ўртача ижобий боғлиқлик ($r = 0,67$), қишда эса заиф ($r = 0,40$) кузатилди. Бу метеорологик жараёнларнинг ўзаро таъсирининг мавсумга боғлиқлигини ифодалайди.

Мазкур мавсумий статистик боғланишлар ML моделларида атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳарорати маълумотларидан дарё оқимини прогноزلашда фойдаланиш юқори аниқликдаги натижаларга эришишни таъминлайди. Шу сабабли, ишда ушбу ўзгарувчилар моделларнинг асосий ўзгарувчилари сифатида танланди. Боғланишлардаги фарқларни инобатга олган ҳолда, мавсумий индикаторларни қўшиш орқали прогноزلаш сифатини оширишга эришилди.

Ишнинг кейинги босқичида Machine Learning алгоритми бўлган Random Forest, XGBoost (Extreme Gradient Boosting), LSTM (Long Short-Term Memory) моделлари ёрдамида Писком дарёси оқими 1996-2024-йиллар даври учун баҳоланди [Pedregosa et al., 2021].

Random Forest – ансамбль услубидаги ML алгоритми бўлиб, кўплаб статистик таҳлиллар ёрдамида прогноз беради (4-расм). Модел ҳар бир қатор натижасини

бирлаштириб, янада барқарор ва ишончли прогнозга эришади. Ушбу ёндашув ҳаддан ташқари ўрганиш (overfitting) муаммосини камайтиради ва турли хил маълумот турларида яхши натижа беради. Random Forest афзалликлари у юқори аниқликда ишлайди ва мураккаб боғланишларни аниқлаш имкониятини беради. Random Forest моделининг яна бир устун жиҳати – унинг чидамлилиги. Агар маълумотлар орасида ноаниқликлар, етишмовчиликлар ёки шовқин (noise) бўлса ҳам, у умумий тебранишни тўғри аниқлай олади. Бу хусусият гидрологик маълумотлар билан ишлашда айниқса муҳим. Камчиликлари эса кўп устунлар ишлатилганда ҳисоблаш тезлиги секинлашади ва модел ички механизмини тушунтириш (яъни, қайси омил прогнозга қанчалик таъсир қилганини аниқ ифода этиш) қийин. Шундай бўлса-да, Random Forest кўп ҳолларда гидрологик ва метеорологик прогнозлаш вазифалари учун ишончли, барқарор ва аниқ модел сифатида тавсия этилади [Machine ..., 2025].



4-расм. Писком дарёси оқимини Random Forest модели ёрдамида баҳолаш

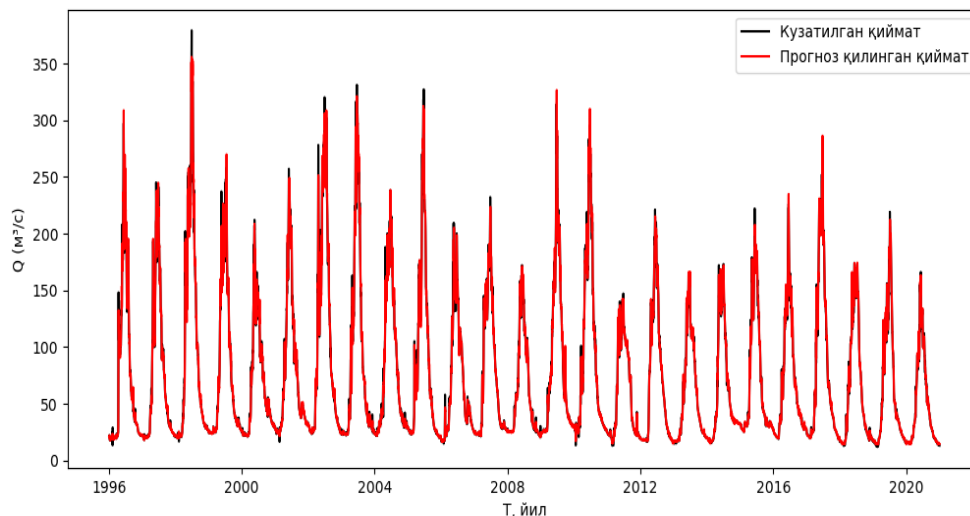
Рис. 4. Оценка стока реки Пскем с использованием модели Random Forest

Fig. 4. Assessment of the Piskom river water flow using the Random Forest model

XGBoost (Extreme Gradient Boosting) – градиентли кучайтириш алгоритмининг самарали ва тез ишловчи версияси ҳисобланади (5-расм). Модел кетма-кет қурилган қаторлар ёрдамида ишлайди, яъни ҳар бир янги қатор олдинги қатор хатоларини тузатишга ҳаракат қилади. Шу сабабли юқори аниқлик ва тезликка эришилади. Ушбу моделда прогноз аниқлиги юқори, катта ҳажмдаги маълумотлар билан тез ишлайди, мослашувчан параметрлар мавжуд. Камчилиги – модел параметрлари кўп бўлганилиги сабабли сошлаш мураккаб, Шунингдек, катта ҳажмдаги маълумотларда моделни ўқитиш жараёни айрим ҳолларда катта ҳисоблаш ресурсларини талаб қилиши мумкин [XGBoost ..., 2025].

Random Forest ва XGBoost моделлари ансамбл усулига асосланган, шунингдек, ҳар икки усул ҳам натижанинг четлашиш (overfitting) муаммосини камайтиришга қаратилган бўлиб, турли типдаги маълумотлар билан ишлашда барқарор натижа беради. Фарқи шундаки, Random Forest статистик таҳлилларни мустақил равишда ўргатиб, натижани *random* ёки ўртача қиймат орқали аниқлайди. У содда ва барқарор, аммо ҳисоблаш тезлиги нисбатан паст. XGBoost эса статистик таҳлиллари кетма-кет ўргатади, яъни ҳар бир қатор олдинги хатоларни тузатишга қаратилган бўлади. Бу усул юқори аниқлик ва тез

ишлашни таъминлайди, аммо параметрларни нотўғри танлаш ҳолатида overfitting хавфини оширади [XGBoost ..., 2025].

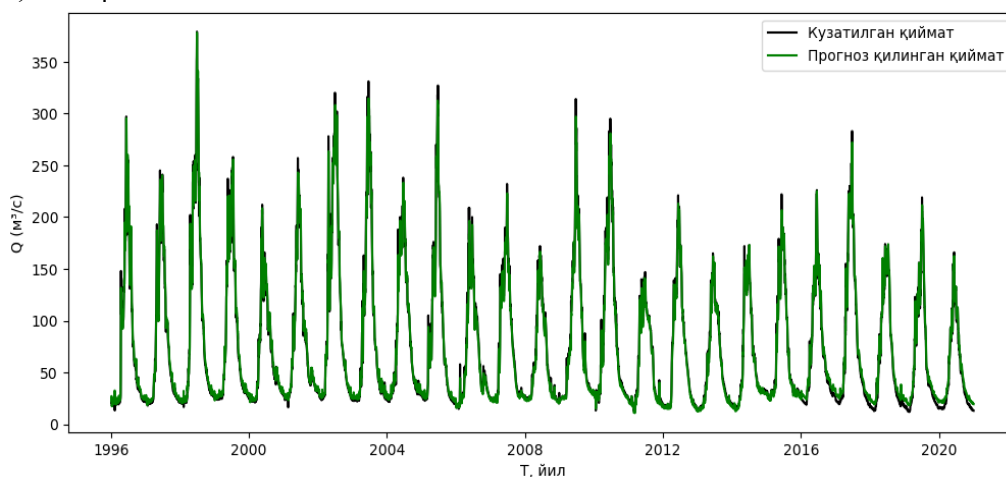


5-расм. Писком дарёси оқимини XGBoost модели ёрдамида баҳолаш

Рис. 5. Оценка стока реки Пскем использованием модели XGBoost

Fig. 5. Assessment of the Piskom River water flow using the XGBoost model

LSTM (Long Short-Term Memory) – чуқур ўрганишга асосланган такрорланувчи нейрон тармоқ тури бўлиб, вақт қаторларида узоқ муддатли боғланишларни аниқлаш имкониятига эга (6-расм). Модел “хотира хужайралари” орқали маълумотларни сақлаб туриши ва керак бўлганда янгилаб бориши билан бошқа нейрон тармоқлардан фарқ қилади. Афзалликлари вақт қаторларидаги узоқ муддатли тенденцияларни самарали аниқлайди, мураккаб ва чизиқли бўлмаган боғланишларни ҳисобга олади. Камчиликлари ўқитиш жараёни секин, катта ҳажмдаги маълумот ва ҳисоблаш ресурсларини талаб қилади [LSTM ..., 2025].



6-расм. Писком дарёси оқимини LSTM модели ёрдамида баҳолаш

Рис. 6. Оценка стока реки Пскем использованием модели LSTM

Fig. 6. Assessment of the Piskom river water flow using the LSTM model

4, 5 ва 6-расмларда келтирилган графиклардан кўриниб турибдики, моделларнинг дарё оқимини баҳолашдаги ишлаши фарқ қилади. Ушбу натижаларни янада чуқур таҳлил қилиш мақсадида ишда моделлардан олинган натижалар аниқлиги баҳоланди (2-жадвал).

2-жадвал

ML моделларини баҳолаш

Таблица 2

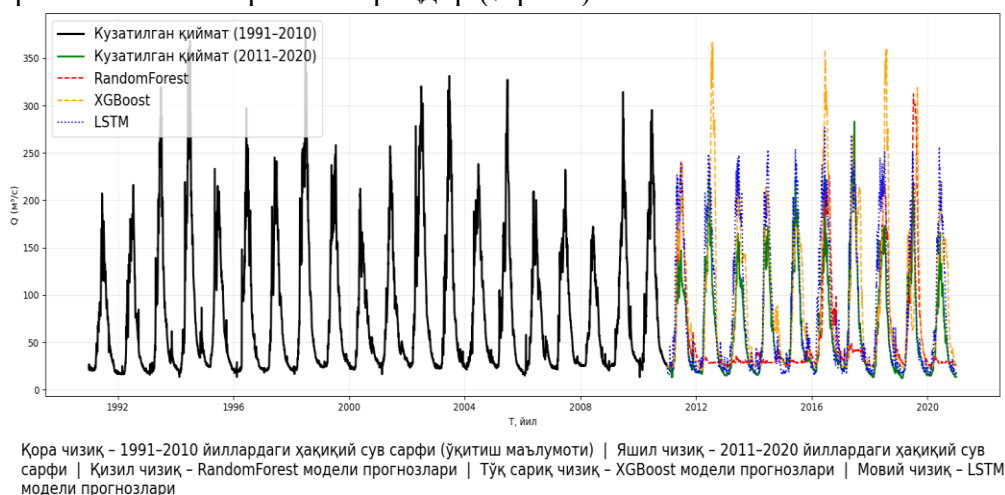
Оценка моделей ML

Table 2

Evaluation of ML models

	RandomForest	XGBoost	LSTM
MAE	1,925	2,496835	3,725286
RMSE	3,509	4,664222	5,653058
R ²	0,996	0,994598	0,992006
NSE	0,983	0,975691	0,989253

Ўтказилган таҳлиллار натижасида Писком дарёси сув сарфини прогнозлашда турли МЛ моделлари – Random Forest, XGBoost ва LSTM моделлари синовдан ўтказилди. Баҳолаш натижалари шуни кўрсатдики, барча моделлар юқори аниқликка эга бўлишига қарамай, Random Forest модели энг оптимал натижаларни тақдим этди. Аниқроғи, Random Forest модели учун MAE = 1,925, RMSE = 3,509, R² = 0,996 ва NSE = 0,983 қийматлари олинди. Бу кўрсаткичлар XGBoost (MAE = 2,496, RMSE = 4,664, R² = 0,994, NSE = 0,976) ҳамда LSTM (MAE = 3,725, RMSE = 5,653, R² = 0,992, NSE = 0,989) моделлари натижаларига нисбатан бироз яхшироқдир (7-расм).



7-расм. ML моделларининг валидацияси

Рис. 7. Валидация моделей ML

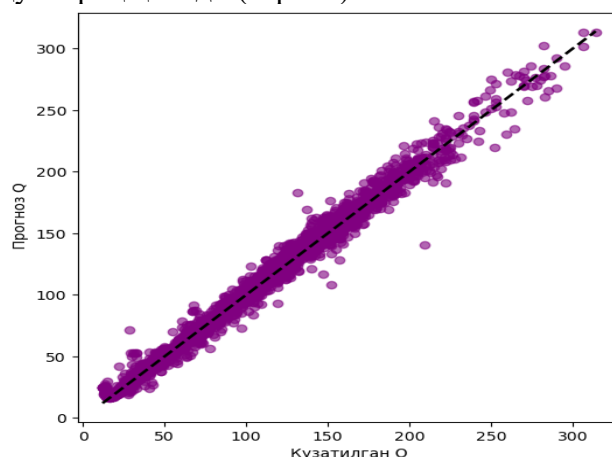
Fig. 7. Validation of ML models

Тадқиқот ишида ўтказилган таҳлиллار асосида Random Forest моделининг қуйидаги устунликлари асосланди.

1. **Ансамбл хусусияти** – Random Forest бир нечта статистик таҳлиллар яратиб, уларнинг ўртача натижасини ҳисоблайди. Натижада, модел четлашиши (overfitting) муаммосини камайтиради ва умумлаштириш қобилиятини оширади.

2. **Мураккаб чизикли бўлмаган боғлиқликларни аниқлаш қобилияти** – дарё оқими, ҳаво ҳарорати ва атмосфера ёғинлари миқдори ўртасидаги чизикли бўлмаган боғланишларни самарали таҳлил қилади (8-расм).

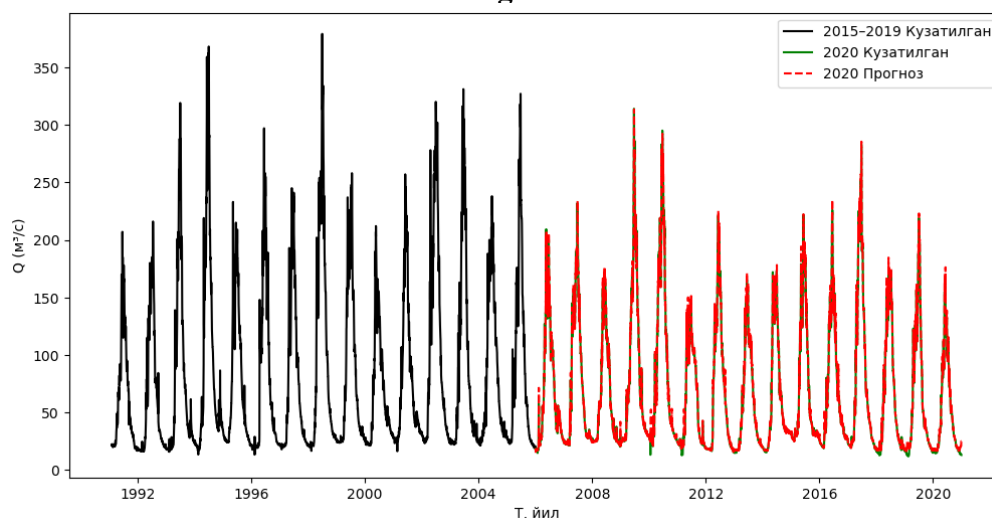
3. **Параметрларни созлашнинг оддийлиги** – XGBoost ва LSTM моделлари билан солиштирганда, Random Forest нисбатан камроқ гиперпараметрларни талаб қилади, бу эса уни амалий жиҳатдан қулайроқ қилади (9-расм).



8-расм. Кузатилган ва прогноз қилинган сув сарфларининг қийматлари ўртасидаги боғланиш графиги

Рис. 8. График связи между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями расхода воды

Fig. 8. Graph of the relationship between observed and predicted discharge values



9-расм. Random Forest модели валидацияси

Рис. 9. Валидация модели Random Forest

Fig. 9. Validation of the Random Forest model

Хулоса қилиб айтганда, олинган натижалар Писком дарёси оқимини ўрганишда **Random Forest** моделининг ишончли ва барқарор восита эканини кўрсатади (8-9-расмлар). Шу сабабли, ушбу модел келгусида бошқа тоғ дарёлари ёки сув хўжалиги ҳавзаларида ҳам самарали қўлланилиши мумкин.

Муаллифлар хиссаси. **Ў.А. Балхиев:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш. **К.Ф. Гофуржонов:** маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш. **Д.М. Турғунов:** мақола ғояси, методология, объектни танлаш, мақолани таҳрир қилиш, илмий раҳбарлик. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тайёрланган матнини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

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

Nishonov B. E., Abdurakhmanov, M. M. Evaluation of ERA5 reanalysis data with observed data in the Akhangaran River Basin // Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 2025. №1. – PP. 28-38.

Kratzert F., Klotz D., Brenner C., Schulz K., Herrnegger M. Rainfall–runoff modelling using long short-term memory (LSTM) networks // Hydrology and Earth System Sciences, 2023. №2. – PP. 19-48.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel V., Thirion B., Grisel O., Duchesnay É. Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research, 2021. №5. – PP. 23-39.

Электрон ресурслар:

UN “World Population Prospects 2022”. URL: <https://www.un.org>

Machine Learning Tutorial. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning>

XGBoost Tutorials. URL: <https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/tutorials/model.html>

LSTM Tutorials. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/ensemble.html>

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СТОКА РЕКИ ПСКЕМ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

У.А. БАЛХИЕВ¹, К.Ф. ГОФУРЖОНОВ¹, Д.М. ТУРГУНОВ¹

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

Аннотация. В данной статье исследованы возможности прогнозирования расхода воды в бассейне реки Пскем на основе метеорологических данных с использованием моделей машинного обучения (ML). В статье изучены взаимосвязи между стоком реки Пскем и метеорологическими факторами на основе моделей Random Forest, XGBoost и LSTM, а их точность сравнивалась с использованием различных метрик оценки (MAE, RMSE, R² и NSE). Анализ показал, что модель Random Forest обеспечивает наилучшую точность при прогнозировании расхода воды реки Пскем. Результаты исследования свидетельствуют о том, что модели машинного обучения могут быть эффективным инструментом для предварительной оценки стока реки и управления водными ресурсами.

Ключевые слова: речной бассейн, речной сток, расход воды, метеорологические факторы, модели прогноза речного стока, Machine Learning, Random Forest, XGBoost, LSTM, точность прогноза.

**SCIENTIFIC BASIS FOR ASSESSING THE PSKEM RIVER FLOW BASED ON
VARIOUS FORECASTING MODELS****U.A. BALKHIEV¹, K.F. GOFURJONOV¹, D.M. TURGUNOV¹**¹ Hydrometeorological Research Institute, balxiyevo@gmail.com

Abstract. *This article explores the possibilities of forecasting water discharge in the Piskom River basin based on meteorological data using Machine Learning (ML) models. The study establishes relationships between the Piskom River flow and meteorological factors using Random Forest, XGBoost, and LSTM models, with their accuracy compared through various evaluation metrics (MAE, RMSE, R², and NSE). The analysis demonstrates that the Random Forest model provides the highest accuracy in forecasting the water discharge of the Piskom River. The research results indicate that ML models can serve as an effective tool for preliminary assessment of river flow and water resource management.*

Keywords: *river basin, river flow, water discharge forecasting, meteorological factors, river flow forecasting models, Machine Learning, Random Forest, XGBoost, LSTM, forecasting accuracy.*

REFERENCES

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

Electronic resources:

UN “World Population Prospects 2022”. URL: <https://www.un.org>

Machine Learning Tutorial. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning>

XGBoost Tutorials. URL: <https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/tutorials/model.html>

LSTM Tutorials. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/ensemble.html>

АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ /
МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ /
ENVIRONMENTAL MONITORING

УДК 502:330.15

МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
ПО ДАННЫМ NOAA/AVHRR

М.Л. АРУШАНОВ^{1*}, Х.У. УМЕРОВ¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, mikl-arushanov@rambler.ru

Аннотация. Данные о растительном покрове на огромных территориях невозможно получить на основе традиционных натурных измерений из-за отсутствия специализированной сети наблюдений. Точечные разновременные измерения параметров растительности не позволяют проследить за её динамикой, где не применим метод «от частного к общему». В этих условиях единственным источником информации о состоянии растительного покрова являются данные космической съёмки, которые дают возможность одновременно на больших площадях выполнять наблюдения за состоянием растительного покрова и периодически повторять эти наблюдения. Сохранение биологического разнообразия, обеспечения устойчивого состояния и научно обоснованного использования объектов растительного покрова возможно только при наличии оперативно действующего мониторинга растительности. В статье приводится описание разработанной технологии автоматизированного мониторинга растительного покрова на основе данных, доставляемых со спутника серии NOAA/AVHRR.

Ключевые слова: мониторинг, растительный покров, NOAA/AVHRR, отражательная способность, первичная обработка, тематическая обработка, вегетационные индексы, площадь растительного покрова.

Введение. До настоящего времени на территории Узбекистана отсутствует постоянно действующая сеть наблюдений за состоянием растительного покрова. Поэтому единственным источником информации для диагностики состояния растительного покрова являются данные дистанционного зондирования – спутниковые данные. Использование этих данных в целях мониторинга растительного покрова возможно только при наличии технологии автоматизированной системы диагностики растительности на спутниковом изображении. Реализация этой технологии в оперативном режиме возможна только при наличии станции приёма спутниковой информации. В Узгидромете такие станции имеются для приема данных с орбитальных спутников серии NOAA, MODIS и геостационарного спутника METEOSAT.

Начиная с 60-ых годов прошлого столетия, с момента развития нового направления в метеорологии «Спутниковая метеорология» [Герман, 1975, 1985; Кондратьев, 1986], накоплен богатый опыт интерпретации спутниковой информации в анализе атмосферных процессов, оценки состояния окружающей среды [Природа, 1984].

Исследование природных ресурсов Земли, в частности, растительного покрова, основано на измерении энергетических и поляризационных характеристик собственного и отражённого электромагнитного излучения исследуемых объектов атмосферы, подстилающей поверхности.

В целом система спутникового мониторинга природных ресурсов должна представлять multifunctionalную технологию с высоким уровнем автоматизации процессов приёма и обработки информации, доставляемой с борта искусственного спутника Земли (ИСЗ).

Целью работы является разработка технологии автоматизированной системы диагноза растительного покрова по данным спутниковой информации NOAA/AVHRR для его мониторинга в оперативном режиме.

Используемые данные. Изображения, полученные со спутника NOAA/AVHRR, захватывающие территорию Узбекистана, за период 2001-2020 годы (по 1-2 снимкам в месяц с апреля по ноябрь), сведённые в разработанную базу спутниковых данных и данные наземных измерений площади растительности в ботанико-географическом районе низовья Амударьи, представленные в работе [Кутлымуратова, 2023].

Физические аспекты дистанционного изучения растительного покрова. Диагностика растительного покрова по данным спутниковых измерений базируется на объективно существующих связях между параметрами растительности и полем её отражённого и собственного излучения [Кондратьев, Федченко, 1982]. Конечный результирующий сигнал (сформированное поле изображения), фиксируемый аппаратурой, установленной на спутнике, зависит от большого количества факторов. Поэтому решение обратной задачи – определение характеристик растительного покрова по данным взаимодействия электромагнитного поля с растительным покровом не всегда однозначно. Эта неоднозначность устраняется путём получения спектральных характеристик того или иного растительного вида путём выделения тестовых участков и получении коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) растительности на этих выделенных (эталонных) участках [Природа, 1984]. КСЯ определяется как отношение яркости уходящего излучения $j^{\uparrow}$ от растительного покрова по направлению, определяемому углами θ , φ , к яркости $j_{\lambda}^{\uparrow}$ рассеивающей одинаково по всем направлениям поверхности (ламбертова поверхность), находящейся в аналогичных условиях освещения:

$$КСЯ(\lambda, \theta, \varphi) = \frac{j^{\uparrow}}{j_{\lambda}^{\uparrow}}. \quad (1)$$

Здесь λ – длина волны, мкм.

КСЯ растительного покрова и его уровни яркости на спутниковом изображении в инфракрасной – NIR (0,7-1,0 мкм) и красной – RED областях (0,6-0,7 мкм) спектральных диапазонов длин волн связаны высокой корреляционной зависимостью [Рачкулик, Ситникова, 1981; Арушанов и др., 1999]. Такая же связь наблюдается между КСЯ и вегетационным индексом NDVI [Шинкаренко, Барталев, 2024].

Отношение показателей RED и NIR позволяет четко отделять и анализировать растительность от прочих природных объектов. Использование же не простого отношения, а нормализованной разности в виде вегетационного индекса NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, некоторых видов облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

Области спектра NIR и RED наиболее стабильны (не зависят от прочих факторов). В красной области спектра лежит максимум поглощения солнечной радиации

хлорофиллом высших растений, а в инфракрасной области находится область максимального отражения клеточных структур листа. Иными словами, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительности) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Характеристическая кривая отражательной способности растительности, как функция длины волны, приведена на рис. 1а. Там же приведена шкала NDVI (рис. 1б).

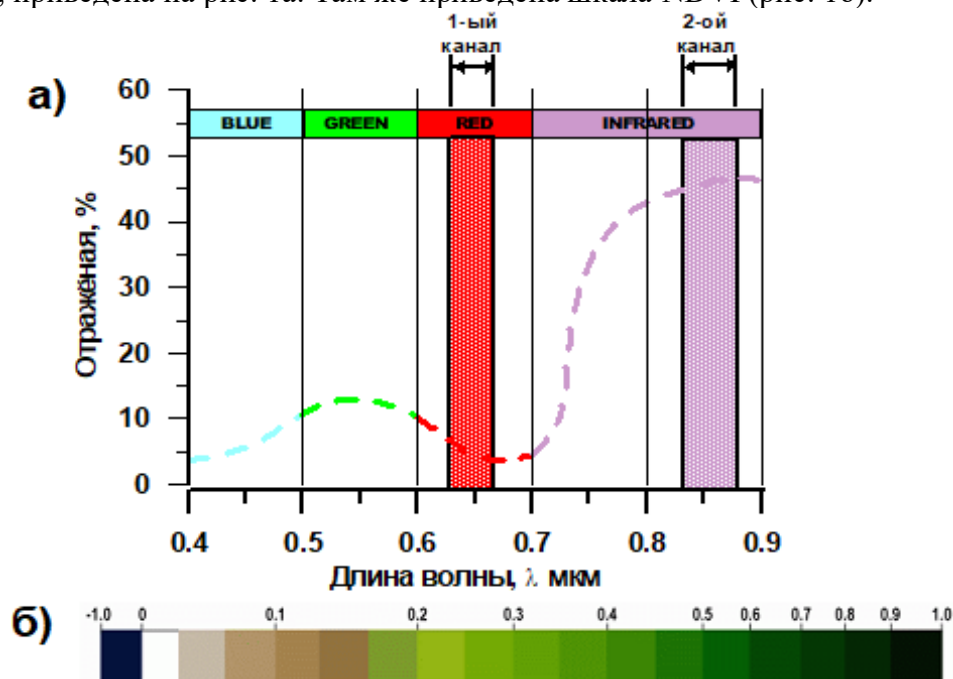


Рис. 1. Характеристическая кривая отражения растительности по данным NOAA/AVHRR (а) и шкала NDVI (б)

Fig. 1. Vegetation reflectance characteristic curve according to NOAA/AVHRR data (a) and NDVI scale (b)

Технология автоматизированного мониторинга растительности по данным ИСЗ. Мониторинг растительного покрова представляет собой систему наблюдений за состоянием объектов растительного мира и среды их произрастания, а также оценки их изменений в целях сохранения биологического разнообразия, обеспечения устойчивого состояния и научно обоснованного использования объектов растительного мира.

Отсутствие в Узбекистане с площадью 448900 км² постоянно действующей сети наблюдений за состоянием растительного покрова с одной стороны, и необходимость наличия мониторинга растительности, с другой стороны, указывают на то, что спутниковые данные являются единственным видом, на основании которых можно решить поставленную задачу.

Решение задачи разработки оперативного мониторинга растительного покрова разбивается на два основных блока: блок первичной обработки сканерных снимков с ИСЗ и блок тематической обработки. На рис. 2 приведена общая блок-схема автоматизированной системы мониторинга растительного покрова.

Первичная обработка. В процессе первичной обработки изображения из данных удаляются геометрические на кривизну Земли искажения, систематические радиометрические и, по возможности, атмосферные искажения. Все эти искажения устраняются модулями ГИС пакета ENVI – программное обеспечение для обработки и

анализа изображений, являющееся отраслевым стандартом и базовой технологией для анализа экосистем [ENVI, 2009].

Исключение искажений в изображении позволяет преобразовать его в форму, наиболее корректную для автоматизированного анализа, и используется для выделения наиболее информативных признаков исследуемого объекта на изображении и, как следствие, улучшить результаты тематической обработки.

Искажающее влияние атмосферы на результаты сканерных измерений с ИСЗ состоит в сложном преобразовании спектра отраженного и собственного излучения, изменении структуры поля уходящего излучения растительного покрова. В целом искажающее влияние проявляется в увеличении яркости темных объектов и уменьшении яркости светлых объектов. Учёт факторов, способствующих атмосферным искажениям, представляет собой сложную задачу, решение которой требует знания комплекса параметров атмосферы, влияющих на перенос излучения, а именно, химического состава, концентраций и функций распределения аэрозольных частиц по размерам, концентрации газовых компонентов атмосферы. Исследования в области атмосферной оптики, выполненные рядом учёных [Марчук, Михайлов, 1967], позволяют сделать вывод о возможности устранения указанного искажения на основе применения теории переноса излучения [Иванов, 1969].

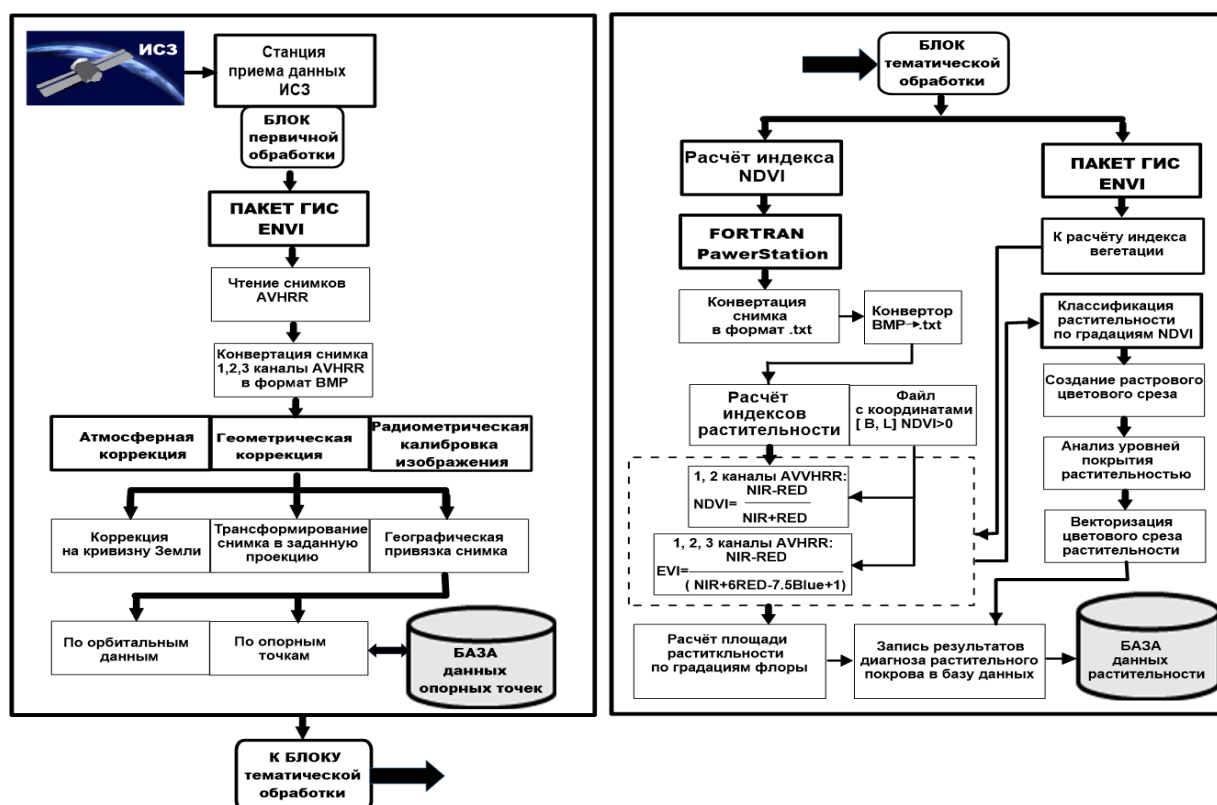


Рис. 2. Блок-схема технологии автоматизированного мониторинга растительного покрова по данным ИСЗ

Fig. 2. Block diagram of the technology of automated monitoring of vegetation cover based on satellite data

Трансформирование снимка в заданную картографическую проекцию. В результате трансформирования снимка в заданную картографическую проекцию достигается

пропорциональное соответствие размеров объектов на изображении и земной поверхности. В системе предусмотрены стереографическая и меркаторская проекции.

Географическая привязка пикселей изображения может выполняться двумя способами: по орбитальным данным [Герман, 1975, 1985] и по опорным точкам [Арушанов, 1994]. Сразу отметим, что точность привязки по орбитальным данным уступает таковой по опорным точкам в силу того, что в первом случае отсутствуют такие характеристики орбиты, как нутация и прецессия, необходимые в аналитических выражениях привязки по орбитальным данным. Результаты первичной обработки снимка представлены на рис. 3.

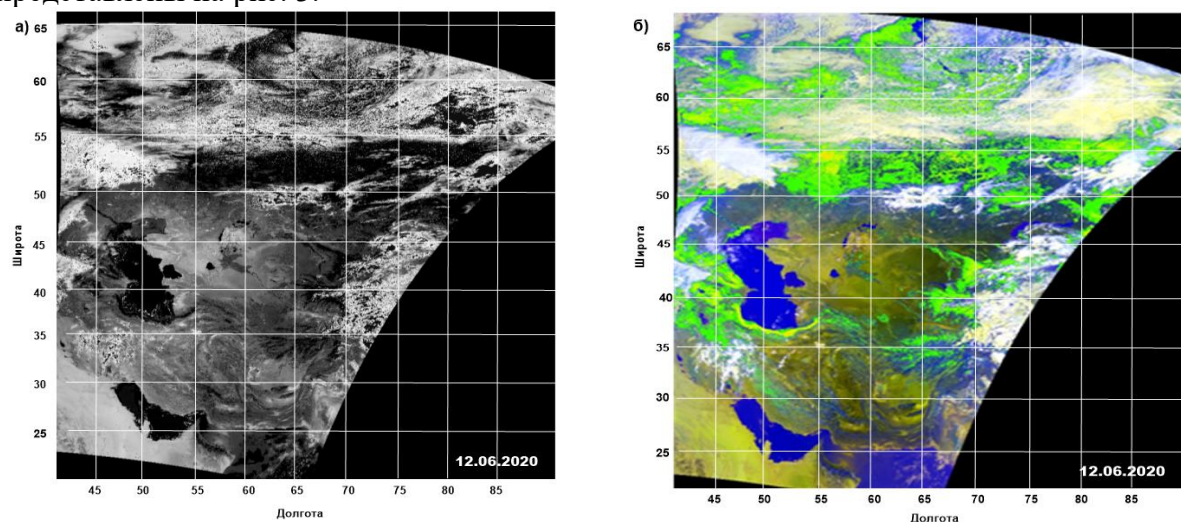


Рис. 3. Спутниковый снимок NOAA/AVHRR 12.06.2020 г. (1-ый канал), а) – прошедший первичную обработку; б) – синтезированный по трём каналам

Fig. 3. NOAA/AVHRR satellite image 12.06.2020 (1 channel), а) after primary processing; б) – zzzsynthesized from three channels

Тематическая обработка. Апробация технологии автоматизированного диагноза растительного покрова в целях его мониторинга была выполнена на спутниковых снимках, включённых в базу данных.

После расчета индекса NDVI (рис. 4) согласно блок-схеме, представленной на рис. 2 (блок тематической обработки), выполняется классификация по градациям NDVI. Для этого реализуется процедура построения «*Растрового цветного среза*» [ENVI, 2009] по заданному числу классов. Принимая во внимание шкалу NDVI (рис. 16) количество классов задавалось 16. Результаты выполнения данной процедуры приведены на рис. 5. На этом же рисунке приведена гистограмма распределения NDVI.

Площадь S_i , занятая растительностью, вычисленной по значениям вегетационного индекса $NDVI > 0.07$, рассчитывается по количеству пикселей N_i для данной градации принятого ботанико-географического районирования (рис. 6), умноженному на размер пикселя, соответствующий пространственной разрешающей способности аппаратуры NOAA/AVHRR, т.е.

$$S_i = 1,1 \times 1,1 \times N_i \text{ км}^2 = S_i \times 100 \text{ га}, \quad (i=1, 2, 3, 4). \quad (3)$$

В нашем случае, по указанной в сноске причине, площадь растительного покрова вычислялась для района низовья Амурары (рис. 6, $i=3$).

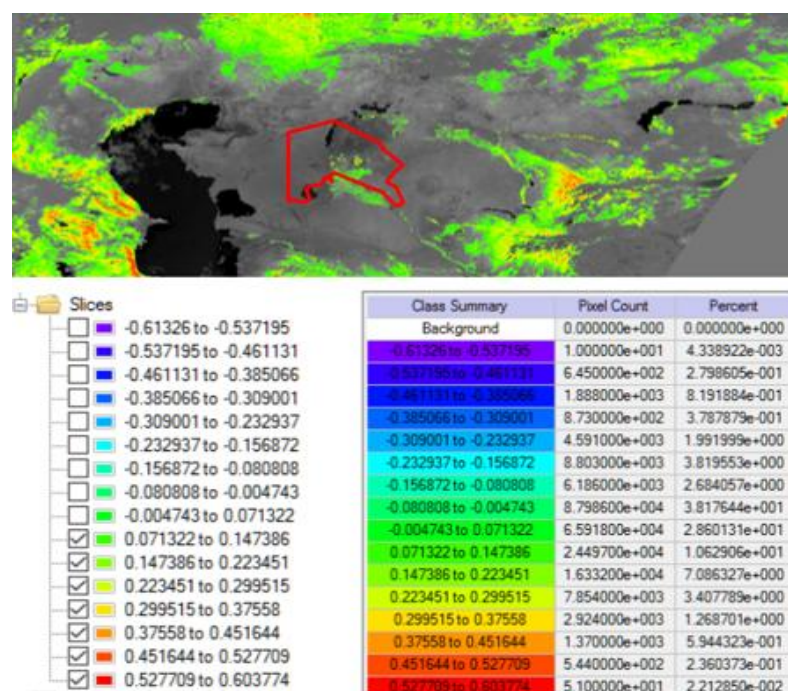


Рис. 4. Распределение NDVI по фрагменту снимка AVHRR 12.06.2020 г.

Примечание: красным контуром выделена граница Республики Каракалпакстан*. «Птичкой» в шкале «Slices» отмечены значения NDVI, принадлежащих классу «растительность».

Fig. 4. NDVI distribution for a fragment of the AVHRR image 12.06. 2020.

Note: the border of the Republic of Karakalpakstan is outlined in red.

The "bird" in the "Slices" scale marks the NDVI values belonging to the "vegetation" class.

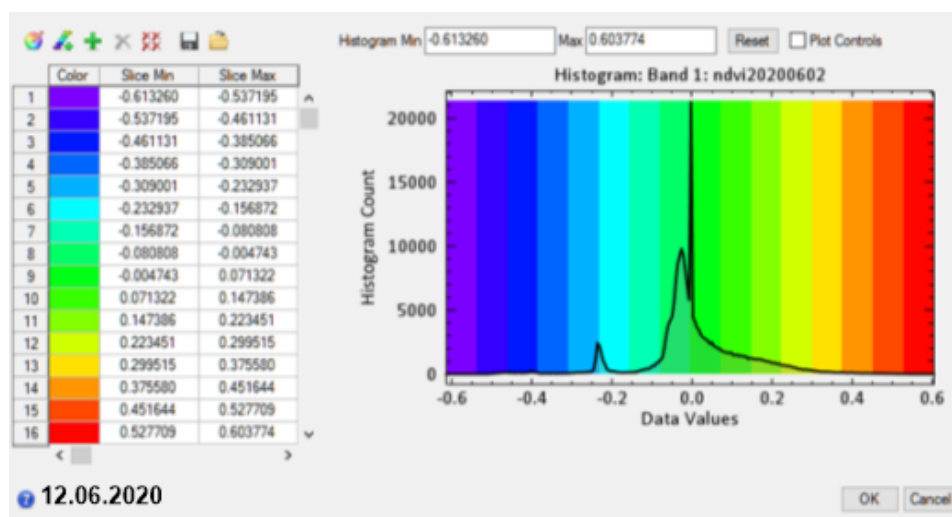


Рис. 5. Растровый цветной срез NDVI снимка NOAA/AVHRR 12.06.2020 г., построенный по 16 классам и гистограмма распределения NDVI

Fig. 5. Raster color slice of NDVI of the NOAA/AVHRR image of 06.12.2020, constructed according to 16 classes and a histogram of NDVI distribution

* Граница выделена, т.к. валидация оценки площади растительного покрова, вычисленной по значениям NDVI, выполнялась по имеющимся натурным данным для низовья Амударьи Каракалпакстана [Кутлымуратова, 2023].

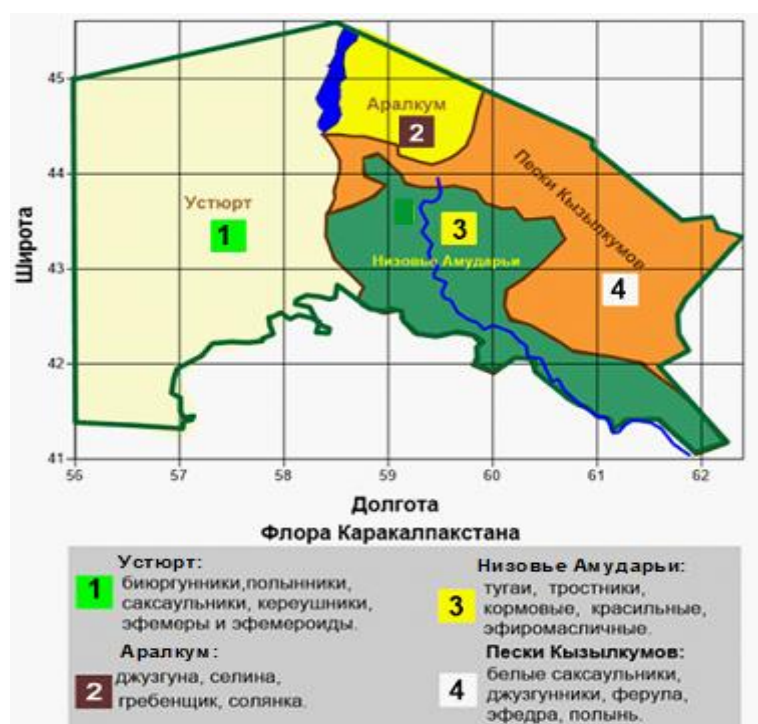


Рис. 6. Ботанико-географическое районирование Каракалпакстана [Атлас, 2009].

Fig. 6. Botanical and geographical zoning of Karakalpakstan [Atlas, 2009].

На рис. 7 приведены рассчитанные площади биомассы в июне месяце для указанного ботанико-географического района по данным спутниковых снимков NOAA/AVHRR за период 2001-2020 годы. На этом же рисунке приведен график динамики площади, занятой тугайными видами растительности, построенный по натурным данным из работы [Кутлымуратова, 2023] за период 1960-2000 годы. Авторы этой работы площади с тугаем относительно всей биомассы Низовья Амударьи оценивают в 67%. Оказалось, что график изменения площади под тугайными видами растительности с высокой точностью аппроксимируется полиномом 7-ой степени с коэффициентом детерминации

$$R^2 = 0,996; S = 3,417 \cdot 10^{17} - 1,196 \cdot 10^{15} \cdot Y + 1,795 \cdot 10^{12} \cdot Y^2 - 1,496 \cdot 10^6 \cdot Y^3 + 7,486 \cdot 10^2 \cdot Y^4 - 224,656 \cdot Y^5 + 0,037 \cdot Y^6 - 2,676 \cdot 10^{-6} Y^7, \quad (4)$$

где предиктор Y – год.

Как следует из рис. 7, качественно графики динамики площади под тугайной растительностью, полученные экстраполяцией полиномом натурных данных на 2001-2020 годы и рассчитанные по данным спутниковой информации, достаточно близки. По абсолютным значениям они также не сильно отличаются несмотря на то, что этому отличию способствуют множество очевидных факторов. В целом, результаты диагностики растительного покрова по спутниковым снимкам с удовлетворительной точностью воспроизводят его динамику.

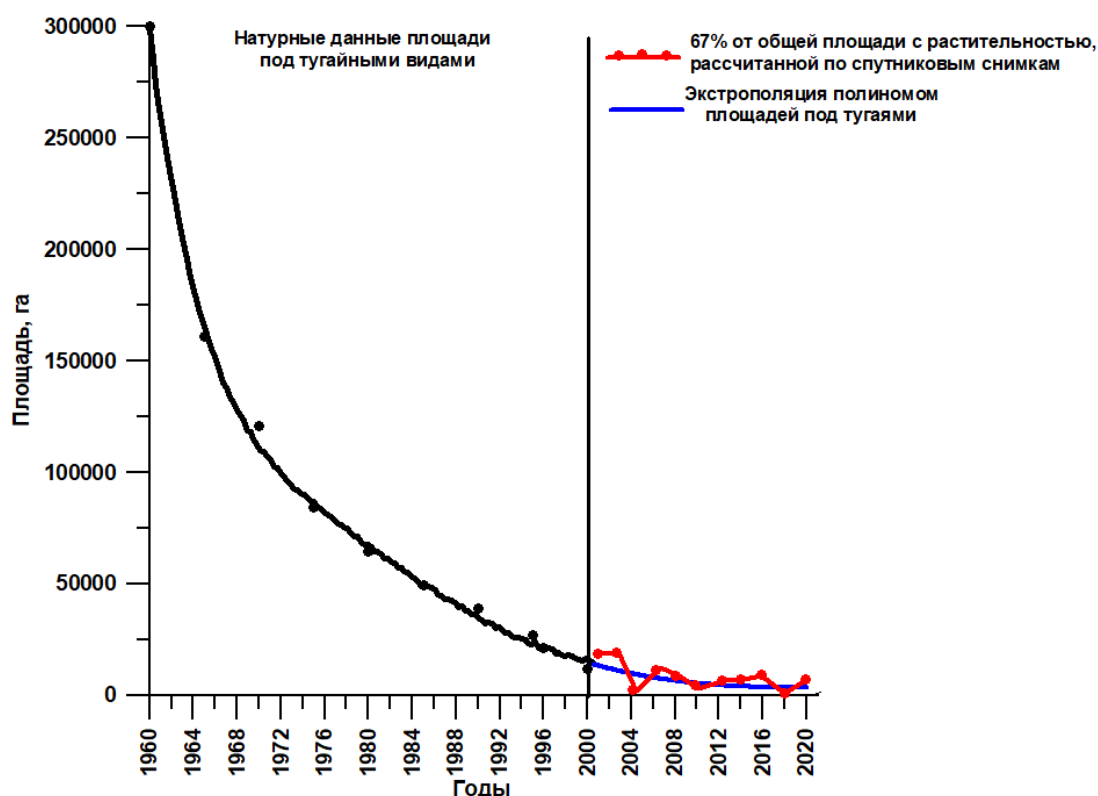


Рис. 7. Площади, занимаемые тугайной растительностью на территории Каракалпакстана в низовье Амударьи, по натурным данным (1960-2000 гг.) и рассчитанные по спутниковым снимкам NOAA/AVHRR (2001-2020 гг.)

Fig. 7. Areas occupied by tugai vegetation in the territory of Karakalpakstan in the lower reaches of the Amu Darya, according to field data (1960-2000) and calculated from NOAA/AVHRR satellite images (2001-2020)

Выводы. Представленная в данной статье технология автоматизированного мониторинга растительного покрова, базирующаяся на спектральных данных дистанционного зондирования, на основе выполненной валидации на этапе апробации системы, позволяет сделать вывод о её работоспособности в оперативном режиме и может быть использована в отделе агрометеорологии Узгидромета и других заинтересованных организациях.

Благодарности. Данное исследование выполнено в рамках гранта IL-5221091475 «Инновационные технологии оценки и мониторинга ресурсного потенциала растительности Каракалпакстана», финансируемого Каракалпакским региональным управлением Агентства инновационного развития Республики Узбекистан.

Вклад авторов. **М.Л. Арушанов:** разработка технологии автоматизированного мониторинга по данным спутниковой информации, редакция статьи, **Х.У. Умеров:** написание текста, разработка скриптов и численные расчёты в оболочке ГИС пакета ENVI. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Арушанов М.Л. Простая модель географической привязки сканерных снимков малого разрешения, обеспечивающая высокую точность // Исследование Земли из космоса, 1994. № 3. – С. 41-46.
- Арушанов М.Л., Ситникова М.В., Сумочкина Т.Е. Оценка состояния почвеннорастительных объектов пустынных территорий по данным NOAA-AVHRR // Труды УСОИ, 1999. – Вып. 1. – С. 117-130.
- Атлас биоразнообразия Каракалпакстана. Высшие растения, позвоночные животные. – Ташкент: Проект ПРООН, ГЭФ, 2009. – 114 с.
- Герман М.А. Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 225 с.
- Герман М.А. Спутниковая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 368 с.
- Иванов В.В. Перенос излучения и спектры небесных тел. – М.: Наука, 1969. – 472 с.
- Кондратьев К. Я. Спутниковая климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 263 с.
- Кондратьев К.Я., Федченко И.П. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 226 с.
- Кутлымуратова А.Г. Оценка продуктивности тугайной растительности в низовьях Амударьи // Химия и биология, 2023. – №5 (107). – С. 11-15.
- Марчук Г.И., Михайлов Г.А. О решении задач атмосферной оптики методом Монте-Карло // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана, 1967. – Т. 4. – С. 258-273.
- Природа Земли из космоса. /под редакцией д.т.н. Козлова Н.П.– Л.:Гидрометеиздат, 1984. – 151 с.
- Рачкулик В.И., Ситникова М.В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 287 с.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Анализ взаимосвязи структурных и спектрально-отражательных характеристик растительности аридных пастбищных ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2024. – Т. 21. № 3. – С. 171–187.
- ENVI Programmer's Guide. – New York: Research Systems, 2009. – 174 с.

NOAA/AVHRR МАЪЛУМОТЛАРИ БЎЙИЧА ЎСИМЛИК ҚОПЛАМИ
МОНИТОРИНГИМ.Л. АРУШАНОВ¹, Х.У. УМЕРОВ¹¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, mikl-arushanov@rambler.ru

Аннотация. Ихтисослашган кузатув тармоғи йўқлиги сабабли катта ҳудудларда ўсимлик қоплами тўғрисида маълумотларни анъанавий дала ўлчовлари асосида олиб бўлмайди. Турли вақт моментларида ўсимлик параметрларининг нуқтавий ўлчовлари унинг динамикасини кузатиш имконини бермайди, яъни «хусусийдан умумийга» усулини қўллаб бўлмайди. Бундай шароитда ўсимлик қопламининг ҳолати тўғрисида ягона маълумот манбаи – сунъий йўлдош тасвирлари маълумотлари бўлиб, бу бир вақтнинг ўзида катта майдонларда ўсимлик қопламининг ҳолатини кузатиш ва бу кузатишларни даврий такрорлаш имконини беради. Биологик хилма-хилликни сақлаш, барқарор ҳолатни таъминлаш ва ўсимлик қоплами объектларидан илмий асосланган фойдаланиш фақат ўсимликларнинг оператив мониторинги мавжуд бўлганда мумкин. Мақолада NOAA/AVHRR сунъий йўлдошидан олинган маълумотлар асосида ўсимлик қопламининг автоматлаштирилган мониторинги учун ишлаб чиқилган технология тавсифи келтирилган.

Калит сўзлар: мониторинг, ўсимлик қоплами, NOAA/AVHRR, қайтариш қобилияти, бирламчи қайта ишлов, мавзули қайта ишлов, вегетация индекслари, ўсимлик қоплами майдони.

VEGETATION COVER MONITORING BASED ON NOAA/AVHRR DATA

M.L. ARUSHANOV¹, Kh.U. UMEROV¹¹ Hydrometeorological Research Institute, mikl-arushanov@rambler.ru

Abstract. *Data on vegetation cover over vast territories cannot be obtained based on traditional in-kind measurements due to the lack of a specialized observation network. Point measurements of vegetation parameters at different times do not allow tracking its dynamics, where the “from the particular to the general” method is not applicable. Under these conditions, the only source of information on the state of vegetation cover is space imagery data, which makes it possible to simultaneously monitor the state of vegetation cover over large areas and periodically repeat these observations. Conservation of biological diversity, ensuring a sustainable state and scientifically based use of vegetation cover objects is possible only with the availability of operational vegetation monitoring. The article describes the developed technology of automated monitoring of vegetation cover based on data delivered from the NOAA/AVHRR series satellite.*

Keywords: *monitoring, vegetation cover, NOAA/AVHRR, reflectivity, primary processing, thematic processing, vegetation indices, vegetation area.*

REFERENCES

- Arushanov M.L. Prostaya model geograficheskoy privyazki skanernykh snimkov malogo razreshniya, obespechivayushaya visokuyu tochnost [Simple model of georeferencing of low-resolution scanner images providing high accuracy] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 1994. No. 3. – S. 41-46. (in Russian)
- Arushanov M.L., Sitnikova M.V., Sumochkina T.E. Ocenka sostoyaniy pochvennorastitelnykh obektov pustynnykh territoriy po dannym NOAA/AVHRR [Assessment of the state of soil and vegetation objects of desert territories according to NOAA-AVHRR data] // *Trudy USOI*, 1999. – Vip. 1. – S. 117-130. (in Russian)
- Atlas bioraznobraziya Karakalpakstana. Vysshie rasteniya, pozvoyochnyae jivotnue [Atlas of Biodiversity of Karakalpakstan. Higher plants, vertebrates]. – Tashkent: Proekt PROON, GEF, 2009. – 114 s. (in Russian)
- German M.A. Kosmicheskie metody v meteorologii [Space research methods in meteorology]. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 225 s. (in Russian)
- German M.A. Sputnikovaya meteorologiya [Satellite meteorology]. – L.: Gidrometeoizdat, 1975. – 368 s. (in Russian)
- Ivanov V.V. Perenos izlucheniya v spektre nebesnykh tel [Radiation transfer and spectra of celestial bodies]. – M.: Nauka., 1969. – 472 s. (in Russian)
- Kondratiev K.Ya. Sputnikovaya klimatologiya [Satellite climatology]. – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – 263 s. (in Russian)
- Kondratiev K.Ya., Fedchenko I.P. Spektralnaya otrajatel'naya sposobnost i spoznavanie rastitelnosti [Spectral reflectivity and vegetation recognition]. – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 226 s. (in Russian)
- Kutlymuratova A.G. Ocenka productivnosti tugainoy rastitelnosti v nizove Amudari [Assessment of tugai vegetation productivity in the lower reaches of the Amu Darya] // *Himiya i biologiya*, 2023. No. 5 (107). – S. 11-15. (in Russian)
- Marchuk G.I., Mikhailov G.A. O reshenii zadach atmosferno optiki metodom Monte-Karlo [On the solution of atmospheric optics problems by the Monte Carlo method] // *Izv. AN SSSR. Ser. Fizika atmosfery i okeana*, 1967. – T. 4. – S. 258-273. (in Russian)
- Priroda Zemli iz kosmosa [The nature of the Earth from space]. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 151 s. (in Russian)

Rachkulik V.I., Sitnikova M.V. Otrajatelnye svoystva rastitelnogo pokrova [Reflective properties and state of vegetation cover]. – L.: Gidrometeoizdat, 1981. – 287 s. (Russian)

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Analiz vzaimosfyazi strukturnykh i spektralno-otrajatelnykh harakteristik rastitelnosti aridnykh pastbichnykh landshaftov [Analysis of the relationship between structural and spectral-reflective characteristics of vegetation in arid pasture landscapes] // *Sovremennye problemi distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024. – T. 21. No. 3. – S. 171-187. (in Russian)

ШАРҲЛАР / ОБЗОРЫ / REVIEWS

УДК: 551.509

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОГОДУ (2010–2025 гг.): МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И ВОПРОСЫ АДАПТАЦИИ ДЛЯ УЗБЕКИСТАНА**Б.Ш. КАДЫРОВ¹*, Д.М. ТУРГУНОВ¹**¹Научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Аннотация. В обзоре обобщены подтверждённые за 2010-2025 гг. достижения в области активных воздействий на погоду (АВ) с акцентом на управление осадками и рассеивание туманов. Рассмотрены результаты рандомизированных и/или инструментально подтверждённых кампаний (SNOWIE, WWMPP), новые электрические (безреагентные) подходы, современные методы планирования операций и воспроизводимые эксперименты по туманам. Сформулированы приоритеты адаптации для Узбекистана.

Ключевые слова: модификация погоды, засев облаков, рассеивание тумана, гляциоогенный засев.

Введение. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в обновлённом информационном материале по модификации погоды, включающем данные до июня 2024 г., занимает нейтральную позицию: ВМО не продвигает и не отвергает практики активных воздействий (АВ), а поощряет научно обоснованные исследования, развитие наблюдательных систем, моделирование и стандарты лучшей практики.

В документе [ВМО, 2024] чётко разграничиваются модификация погоды (локальные/региональные масштабы, краткие временные шкалы) и климатические интервенции (глобальные масштабы и климатические шкалы), последние не относятся к предмету заявления. Отмечается, что широкие заявления о «создании» облаков, изменении ветровых полей или полном устранении опасных явлений не имеют надёжной доказательной базы и должны рассматриваться критически. Вместе с тем, для зимнего гляциоогенного орографического засева при наличии переохлаждённой жидкой воды (SLW) показан причинно-следственный эффект, подтверждённый инструментальными измерениями (радар, лидар, трасс-химия). Для рассеивания переохлаждённых туманов применение гляциоогенных материалов и/или локального охлаждения признано технологически надёжным в определённых условиях. Для гигроскопического засева тёплых конвективных облаков высокая природная вариабельность затрудняет статистическое подтверждение эффекта, что требует более строгих дизайнов экспериментов и ансамблевого моделирования. ВМО рекомендует рандомизацию событий, первичный статистический анализ с доверительными интервалами, поддержанный физическим анализом, а также оценку рисков и экологический мониторинг (включая контроль серебра и йода при применении AgI).

Резюмируя, позиция ВМО – это развитие междисциплинарных исследований, поддержка открытых данных и регулярный пересмотр национальных программ по мере накопления доказательств.

* Масъул муаллиф: bkadirov53@gmail.com, тел.: +998 90 174-85-86

Цели обзора:

- синтезировать доказательную базу эффективности методов АВ без опоры на неподтверждённые утверждения;
- выделить репрезентативные эксперименты 2010–2025 гг. и представить краткие количественные результаты;
- идентифицировать технологические тренды (UAV, электрические методы, оптимизация) и условия воспроизводимости эффекта;
- сформулировать практические ориентиры и метрики для пилотных проектов в Узбекистане.

Объект исследования – атмосферные процессы, связанные с осадкообразованием.

Предметом исследования являются технологии засева облаков и туманов.

Методология и источники. Отбор материалов: рецензируемые статьи 2010-2025 гг., отчёты международных организаций и журнальные обзоры. Приоритет – исследования с явной квантификацией эффекта и инструментальной валидацией (радар/лидар/трасс-химия), а также публикации с зарегистрированными DOI.

Международные достижения (2010–2025 гг.):

- проект SNOWIE (США) [French et al., 2018; Friedrich et al., 2020]: впервые прослежена физическая цепочка «AgI → лёд → снег на поверхности», подтверждающая базовую гипотезу гляциогенного засева;
- проект WWMPP (США) [Breed et al., 2014]: обоснованы требования к таргетированию зон SLW и подтверждена достижимость концентраций ледообразующих ядер (INP) от наземных генераторов AgI над сложным рельефом;
- электрические методы: моделирование и эксперименты показывают ускорение коалесценции за счёт зарядов и внешних полей; предложен авиабортовой излучатель заряда как безреагентный метод воздействия на облака [Guo and Xue, 2021];
- рассеивание туманов: эксперименты с твёрдым CO₂ (около –1 °C) демонстрируют ускорение диссипации в контролируемых условиях с LiDAR (лазер)-валидацией [Guo et al., 2015].

Краткие результаты репрезентативных исследований (количественные оценки):

- проект SNOWIE: при проходе «шлейфа» засева по сети осадкомеров фиксировались приращения 0,05–0,30 мм; интегральные объёмы осадков, вызванные засевом, составили порядка $1,2 \times 10^5$ – $3,4 \times 10^5$ м³ воды за 20-86 мин; длительность микрофизического ответа ~25–160 мин;
- проект WWMPP: подтверждена достижимость целевых концентраций ядер льдообразования (INP) от наземных генераторов и важность точного наведения факела AgI на зоны переохлаждённой жидкости (SLW) [Boe et al., 2014];
- электрические (безреагентные) подходы: численные расчёты и лабораторные работы демонстрируют ускорение коллизионно-коалесцентного роста; разработан прототип самолетного бортового излучателя заряда для совместного применения с традиционными самолетными пирогенераторами (фальшерами) [Harrison et al., 2024];
- туманы (около –1 °C): внесение твёрдого CO₂ (0,5-1,5 кг) уменьшало время полной диссипации с ~2701 с (саморазряд) до ~2083/1426/1130 с; видимость контролировалась при помощи LiDAR [Park et al., 2023].

Вопросы адаптации для Узбекистана:

- целевые режимы: зимние орографические облака с переохлаждённой водой (–5...–20 °C) – приоритет для гляциогенного засева; холодные долинные и аэродромные туманы – приоритет для CO₂/пропан-технологий;
- наблюдательная инфраструктура: мобильный метеорадар C/X-диапазона, сеть осадкомеров и снегомерных маршрутов, счётчики INP/CCN, радиозондирование SLW, трасс-химия Ag/I в снегу/стоке;

- дизайн пилотных экспериментов: рандомизация «сеансов/не-сеансов», ≥ 20 –30 эпизодов/сезон; метрики – Δ мм и м³ воды (водобаланс), длительность и площадь эффекта; для туманов – время до восстановления пороговой видимости;

- технологические опции: наземные AgI-генераторы на наветренных склонах + авиа/UAV-засев при порогах SLW; для туманов – CO₂/пропан; перспективно – зарядовые излучатели (с поэтапной экологической и эксплуатационной оценкой);

- экология и норматив: соблюдение санитарно-экологических нормативов по AgI; мониторинг серебра/йода в снеге/стоке; регламенты по безопасности при обращении с CO₂ и пропаном.

В таблице приведена общая структура характеристик проектов по модификации погоды с различными целями.

Таблица 1

Обобщенные характеристики проектов по модификации погоды

Table 1

Generalized characteristics of projects on weather modification

Условия	Метод	Ожидаемый эффект	Метрики / риски
Зимние орографические облака (–5...–20 °C)	Гляциогенный засев (AgI, CO ₂)	Увеличение осадков на 10–20 %, снежный приrost 0,05–0,30 мм/эпизод	Метрики: Δ мм, м ³ воды; риски: загрязнение Ag/I
Тёплые облака (конвекция, CCN)	Гигроскопическая засевка (NaCl, KCl)	Потенциальное усиление дождя, эффект ограничен	Метрики: интенсивность осадков, площадь по радарам; риски: экология, воспроизводимость
Холодные туманы (T < 0 °C)	Рассеивание CO ₂ / пропаном	Сокращение времени диссипации до 1100–2000 с	Метрики: видимость (м), LiDAR; риски: безопасность CO ₂ /пропана
Слоистые облака с SLW	Электрические методы (заряд)	Ускорение коалесценции, рост капель	Метрики: распределение капель, скорость осадков; риски: неопределённость, энергозатраты
Комплексные программы (Китай, ОАЭ)	Смешанные подходы (AgI + UAV + AI)	Рост водных ресурсов на 10–25 %	Метрики: водобаланс, эффективность NWP; риски: подветренные эффекты, высокая стоимость

Выводы. Совокупность результатов 2010-2025 гг. фиксирует переход от вероятностной эффективности к инструментально подтверждаемой квантификации при корректном дизайне операций (орографические облака со SLW, с низкими конвективными движениями, точное наведение и контроль дозы (количества регента)). Для Узбекистана наибольший потенциал связан с зимним гляциогенным засевом и целенаправленным рассеиванием переохлаждённых туманов при обязательном научном сопровождении и строгой валидации.

Вклад авторов. Б.Ш. Кадиров: формирование базы данных, анализ результатов, написание текста статьи, оформление статьи. Д.М. Тургунов: идея статьи, руководство,

анализ результатов. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Boe B.A., Heimbach J.A., Krauss T., Xue L., Chu X., McPartland J. The dispersion of silver iodide particles from ground-based generators over complex terrain. Part I: Observations with acoustic ice nucleus counters // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(6), 2014. – PP. 1325–1341.

Breed D.W., Rasmussen R.M., Weeks C., Boe B., Deshler T. Evaluating winter orographic cloud seeding: Design of the Wyoming Weather Modification Pilot Project (WWMPP) // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(2), 2014. – PP. 282–299.

French J.R., Friedrich K., Tessendorf S.A., Geerts B., Rasmussen R.M., Breed D.W. Precipitation formation from orographic cloud seeding / *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(6), 2018. – PP. 1168–1173.

Friedrich K., Geerts B., Tessendorf S.A., French R.J., Rauber R.M., Geerts B., Xue L., Rasmussen R.M., Blestrude D.R., Kunkle M.L., Dawson N., Parkinson S. Quantifying snowfall from orographic cloud seeding / *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(33), 2020. – PP. 16847–16855.

Guo X., Fu D., Li X., Hu Z., Lei H., Xiao H., Hong, Y. Advances in cloud physics and weather modification research in China // *Advances in Atmospheric Sciences*, 32, 2015. – PP. 139–152.

Guo S., Xue H. Enhancement of droplet collision by electric charges and atmospheric electric fields // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(1), 2021. – PP. 69–80.

Harrison R.G., Alkamali A.A., Escobar-Ruiz V., Nicoll K.A., Ambaum M.H.P. Providing charge emission for cloud seeding aircraft // *AIP Advances*, 14(1), 2024. – PP. 015318.

Park J., Kim N., Lee S. A study on the effectiveness of SCD seeding fog dissipation mechanism using LiDAR sensor // *Fluids*, 8(6), 2023. – PP. 185.

Ramelli F., Henneberger J., Fuchs C., Miller A.J., Omanovic N., Spirig R., Zhang H., David R. O., Ohnaiser K., Seifert P., Lohmann U. Repurposing weather modification for cloud research showcased by ice crystal growth // *PNAS Nexus*, 3(9), 2024. – PP. 402.

Электрон ресурс:

World Meteorological Organization. WMO statement/fact sheet on weather modification. June 2024. – P. 19. URL: <http://wmo.int/>

ОБ-ҲАВОГА ФАОЛ ТАЪСИР ЭТИШ СОҲАСИДАГИ ЗАМОНАВИЙ ЮТУҚЛАР (2010-2025 йй.): ХАЛҚАРО ТАЖРИБА ВА ЎЗБЕКИСТОН УЧУН МОСЛАШТИРИШ МАСАЛАЛАРИ

Б.Ш. КАДИРОВ¹, Д.М. ТУРҒУНОВ¹

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

Аннотация. Ушбу шарҳда 2010-2025 йилларда об-ҳавога фаол таъсир кўрсатиши (АТ) соҳасидаги тасдиқланган ютуқлар, айниқса, ёгингарчиликни бошқариши ва туманларни тарқатиши бўйича эришилган натижалар умумлаштирилган. Тасодифий танланган ва/ёки асбоб-ускуналар ёрдамида тасдиқланган тадқиқотлар (SNOWIE, WWMPP) натижалари, янги электр (реагентсиз) ёндашувлар, амалиётларни режалаштиришининг замонавий усуллари ҳамда туманлар бўйича такрорланадиган тажрибалар таҳлил қилинган. Ўзбекистон учун мослаштиришининг устувор йўналишлари аниқланган.

Калит сўзлар: об-ҳавони ўзгартириши, булутларни уруглаш, туманни тарқатиши, музлатувчи уруглаш.

**MODERN ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF WEATHER MODIFICATION
(2010-2025): INTERNATIONAL EXPERIENCE AND ADAPTATION ISSUES FOR
UZBEKISTAN****B.Sh. KADYROV¹, D.M. TURGUNOV¹**¹ Hydrometeorological Research Institute

Abstract. *This review synthesizes evidence-based advances in weather modification achieved during 2010–2025, with emphasis on precipitation management and fog dissipation. It assesses results from randomized and/or instrumentally verified field campaigns (e.g., SNOWIE, WWMP), recent electric (reagent-free) approaches, contemporary operational-planning methods, and reproducible fog experiments. Priorities for adaptation in Uzbekistan are outlined.*

Keywords: *weather modification, cloud seeding, fog dissipation, glaciogenic seeding.*

УДК: 504.3.054**КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УЗБЕКИСТАНЕ В 2024 ГОДУ****Б.Э. НИШОНОВ^{1*}, И.А. КАРИМОВ^{1,2}, М.А. ПЛОЦЕН², Л.Н. ГРАНКИНА²**¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru² Агенство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан

Аннотация. *В обзоре рассмотрено качество атмосферного воздуха в регионах Республики Узбекистан в 2024 году. Качество атмосферного воздуха исследовалось по данным наблюдательной сети Узгидромета по основным загрязняющим веществам (взвешенные частицы (пыль), диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода). Показано, что среднемесячные концентрации основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в большинстве регионов Узбекистана были ниже нормативов качества, только в атмосферном воздухе некоторых городов регионов отмечено превышение среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК). Индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в городах республики был в пределах 0,67-7,23.*

Ключевые слова: *атмосферный воздух, загрязнение, пыль, диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, ИЗА, Узбекистан.*

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха на территории Республики Узбекистан в 2024 году проводились в 26 городах на 66 стационарных пунктах наблюдения (ПНЗ) и 16 автоматических станциях (рис. 1). Наблюдения на стационарных постах проводятся ежедневно (кроме воскресенья и праздничных дней) с периодичностью 3 раза в сутки (7:00; 13:00; 19:00 по местному времени) [Обзор ..., 2025]. На автоматических станциях наблюдения осуществляются непрерывно. Программа мониторинга загрязнения атмосферного охватывает пять основных загрязнителей: оксид азота (NO), диоксид серы (SO₂), оксид углерода (CO), диоксид азота (NO₂), пыль (твердые взвешенные частицы), а также специфические загрязнители – аммиак, фенолы, фтористый водород.

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

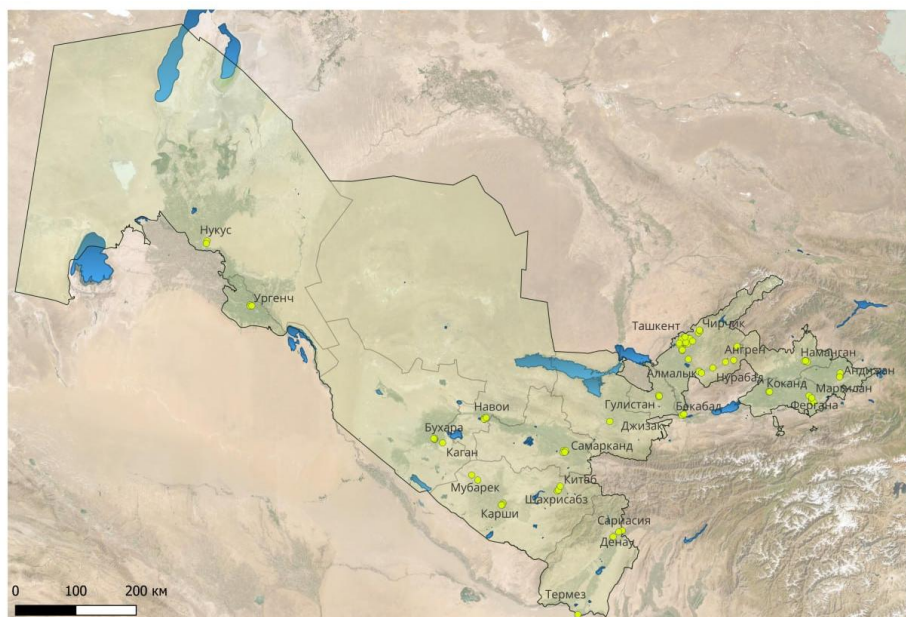


Рис. 1. Карта-схема пунктов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха

Fig. 1. Schematic map of air pollution monitoring points

Для определения степени загрязнения атмосферы, полученные результаты отобранных проб сравниваются с предельно допустимыми концентрациями. В 2023 году были утверждены новые СанПиН 0053-23 [СанКваН 0053-23, 2023] вместо СанПиН 0293-11 [СанПиН, 2011].

Андижанская, Наманганская и Ферганская области

В 2024 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха осуществлялись на 10 стационарных пунктах: г. Андижан – 3 пункта, г. Наманган – 3 пункта, г. Фергана – 4 пункта, г. Маргилан – 1 пункт, г. Коканд – 2 пункта. В 2024 году в областных центрах – в городах Андижан, Наманган и Фергана были установлены автоматические станции мониторинга качества атмосферного воздуха.

В городе **Андижан** содержание пыли превысило предельно допустимую концентрацию в 2,3 ПДК. Остальные наблюдаемые примеси не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,2 ПДК, диоксид азота 0,8 ПДК, аммиак 0,5 ПДК, оксид азота 0,7 ПДК (рис. 2, 3). Концентрация формальдегида составила 0,007 мг/м³.

В городе **Наманган** содержание оксида углерода превысило предельно допустимое значение в 1,3 ПДК, пыли в 1,9 ПДК и диоксида азота в 1,3 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и по диоксиду серы составило 0,5 ПДК (рис. 2, 3).

В городе **Фергана** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли в 1,5 раз, диоксиду азота в 1,3 раза, озону в 2,8 раз, фенолу 1,3 раз. Остальные наблюдаемые примеси не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,2 ПДК, аммиак 0,5 ПДК, оксид углерода 0,3 ПДК, оксид азота 0,2 ПДК.

В городе **Маргилан** превышений предельно допустимых концентраций зафиксировано не было и составили: диоксид серы 0,2 ПДК, диоксид азота 1,0 ПДК.

В городе **Коканд** превышение предельно допустимых концентраций было зафиксировано по пыли в 1,6 раза. Остальные наблюдаемые примеси не превысили ПДК и составили: оксид азота 0,3 ПДК, аммиак 0,3 ПДК, диоксид серы 0,4 ПДК, оксид углерода 0,9 ПДК и диоксид азота 1,0 ПДК.

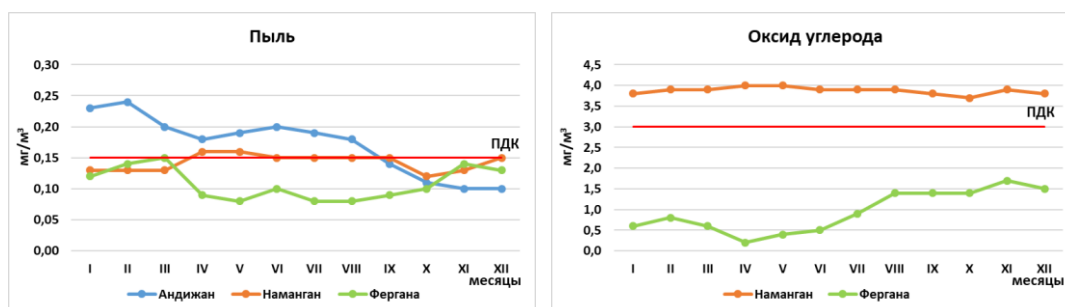


Рис. 2. Концентрация пыли и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Андижан, Наманган, Фергана в 2024 году

Fig. 2. Concentration of dust and carbon monoxide in atmospheric air in Andijan, Namangan, Fergana in 2024

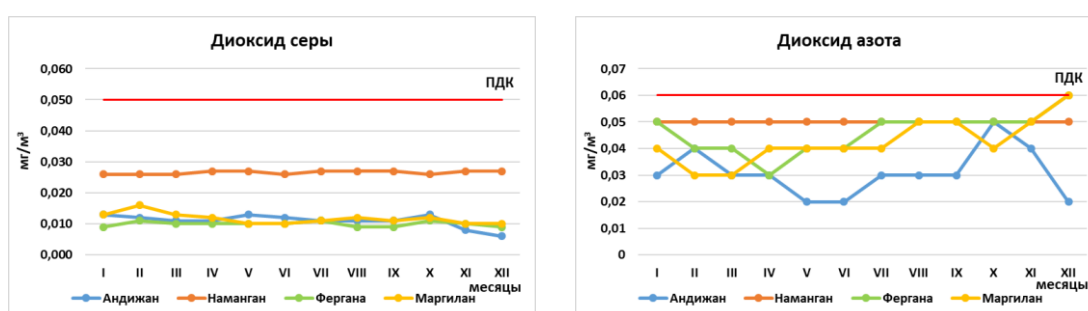


Рис.3. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Андижан, Наманган, Фергана и Маргилан в 2024 году

Fig. 3. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Andijan, Namangan, Fergana and Margilan in 2024

Самаркандская и Сырдарьинская области

В городе Самарканд содержание пыли составило 2,0 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,2 ПДК, оксид углерода 0,5 ПДК, диоксид азота 0,5 ПДК, оксид азота 0,2 ПДК, аммиак 0,3 ПДК, твердые фториды 0,0 ПДК, фенол 0,3 ПДК, фтористый водород 0,4 ПДК (рис. 4, 5).

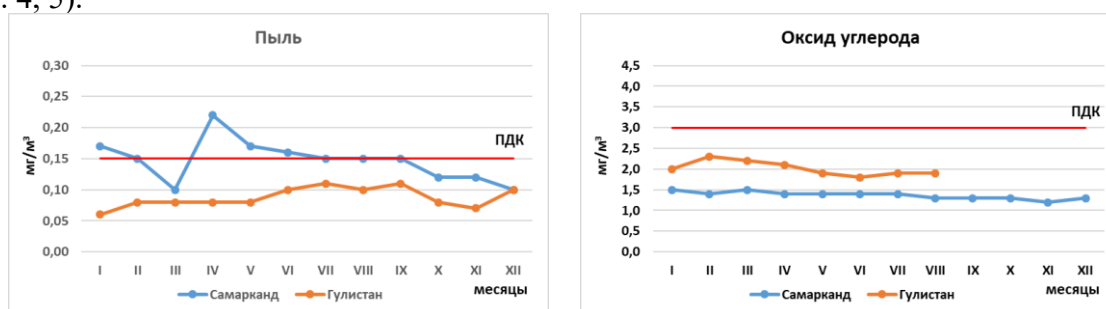


Рис. 4. Концентрация пыли и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Самарканд и Гулистан в 2024 году

Fig. 4. Concentration of dust and carbon monoxide in atmospheric air in Gulistan and Samarkand in 2023

В городе **Гулистан** содержание пыли составило 1,2 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,1 ПДК, диоксид азота 0,5 ПДК, оксид азота 0,2 ПДК, оксид углерода 0,7 ПДК (рис. 4, 5).

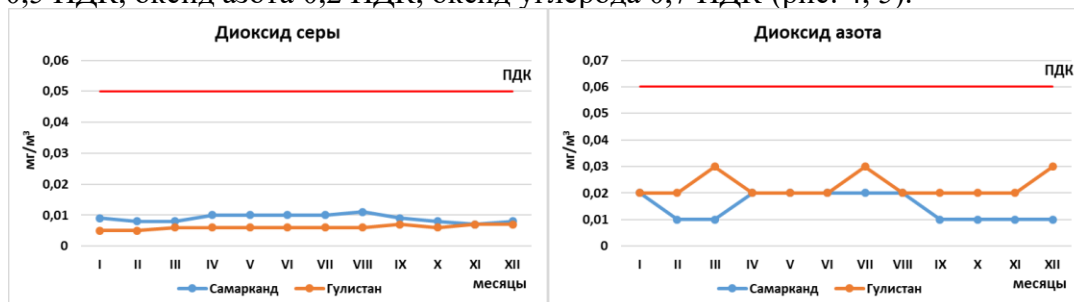


Рис.5. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Гулистан и Самарканд

Fig. 5. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Gulistan and Samarkand

Бухарская и Навоийская области

В городе **Бухара** превышение предельно допустимой концентрации зафиксировано по пыли в 1,5 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,1 ПДК, оксид углерода 0,7 ПДК, оксид азота 0,3 ПДК, фенол 0,7 ПДК, аммиак 0,3 ПДК, диоксид азота 0,8 ПДК (рис. 6, 7).

В городе **Навои** содержание пыли составило 1,7 ПДК, озона 1,1 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,1 ПДК, фенол 0,7 ПДК, аммиак 1,0 ПДК, диоксид азота 1,0 ПДК, оксид углерода 0,4 ПДК, оксид азота 0,3 ПДК (рис. 6, 7). В городе **Каган** превышений предельно допустимых концентраций зафиксировано не было. Содержание диоксида серы в атмосферном воздухе составило 0,1 ПДК и диоксида азота 0,8 ПДК (рис. 7).

Кашкадарьинская и Сурхандарьинская области

В городах **Карши**, **Шахрисабз**, **Китаб** концентрации диоксида серы и диоксида азота не превысили предельно допустимых значений (рис. 8).

В гг. **Денау**, **Сариасия** и **Термез** все наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК, за исключением содержания пыли в городах Денау и Сариасия, где ее содержание составило 1,6 ПДК (рис. 8, 9).

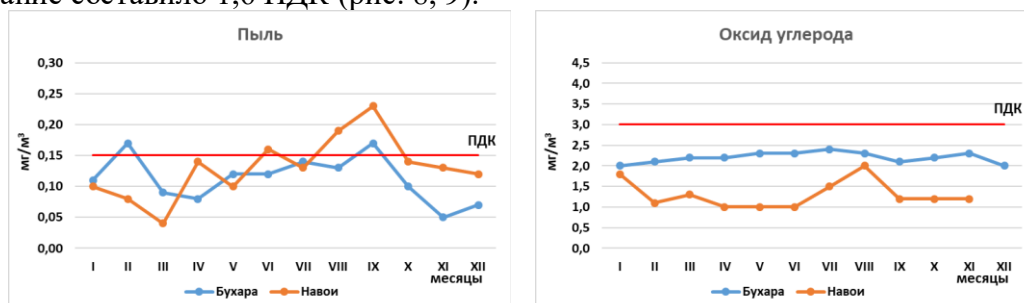


Рис. 6. Концентрация пыли и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Навои и Бухара в 2024 году

Fig. 6. Concentration of dust and carbon monoxide in atmospheric air in Navoi and Bukhara in 2024

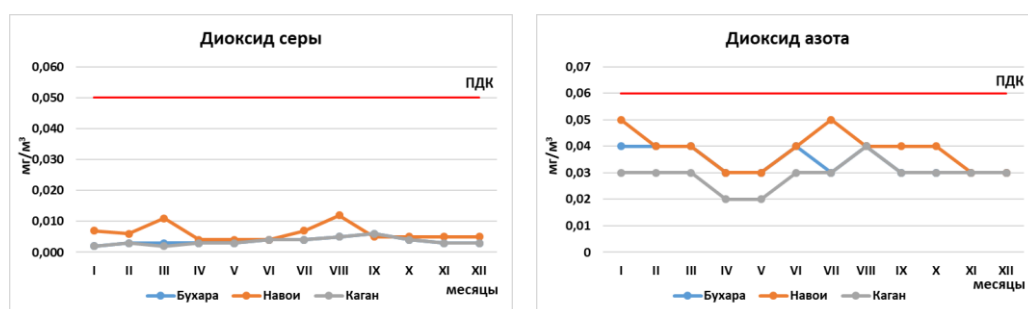


Рис.7. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Навои, Бухара и Каган в 2024 году

Fig. 7. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Navoi, Bukhara and Kagan in 2024

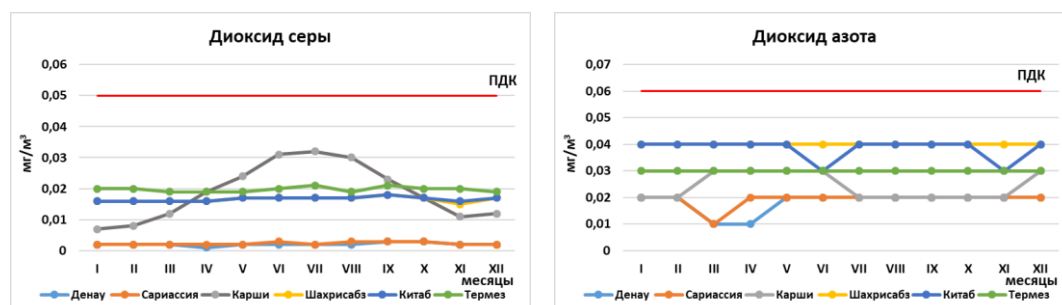


Рис.8. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областях в 2024 году

Fig. 8. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Kashkadarya and Surkhandarya regions in 2024

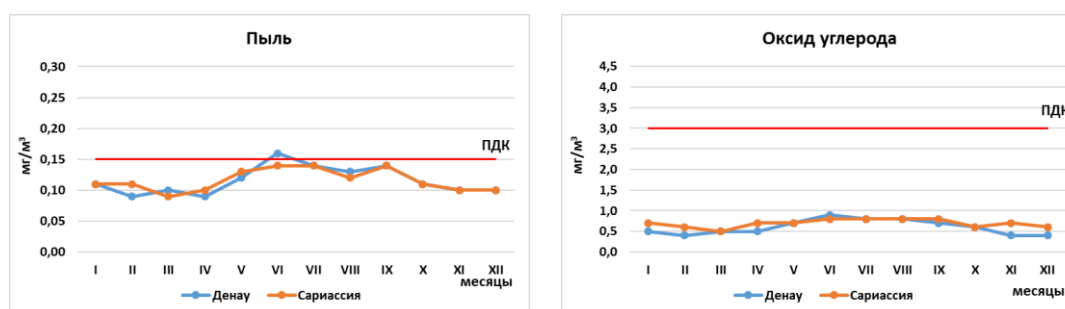


Рис. 9. Концентрация пыли и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Денау и Сариасия в 2024 году

Fig. 9. Concentration of dust and carbon monoxide in atmospheric air in Denau and Sariasiya in 2024

Республика Каракалпакстан и Хорезмская область

В городе Нукус содержание пыли составило 2,3 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,3 ПДК, диоксид азота 0,8 ПДК, оксид азота 0,3 ПДК, фенол 0,7 ПДК (рис. 10).

В городе **Ургенч** содержание пыли составило 2,0 ПДК. Остальные наблюдаемые примеси не превысили ПДК и составили: диоксид азота 0,8 ПДК, диоксид серы 0,4 ПДК.

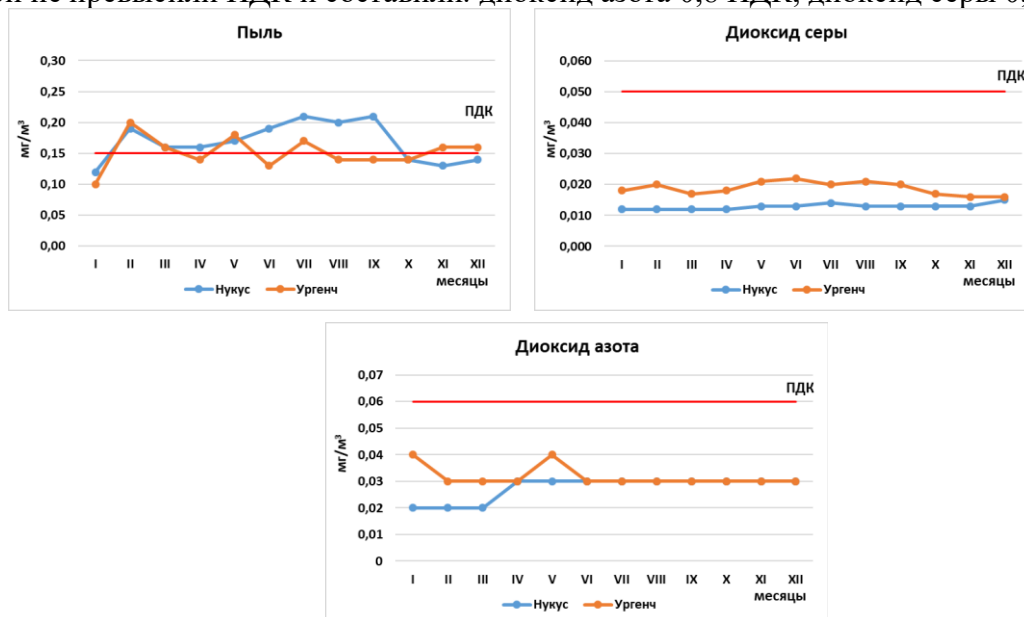


Рис. 10. Концентрация пыли, диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Ургенч и Нукус в 2024 году

Fig.10. Concentration of dust, sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Urgench and Nukus in 2024

Ташкентская область

В городе **Алмалык** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли 2,3 ПДК, диоксиду серы 1,4 ПДК, диоксиду азота 1,3 ПДК и фтористому водороду 1,2 ПДК (рис. 11, 12). Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: фенол 1,0 ПДК, аммиак 0,5 ПДК, твердые фториды 0,7 ПДК, оксид азота 0,5 ПДК, озон 0,9 ПДК.

В городе **Ангрен** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли 1,9 ПДК, оксиду углерода 1,1 ПДК, диоксиду азота 1,3 ПДК, озону 1,3 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: оксид азота 0,3 ПДК, фенол 1,0 ПДК, аммиак 0,8 ПДК, диоксид серы 0,4 ПДК (рис. 11, 12).

В городе **Бекабад** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли 1,5 ПДК, диоксиду азота 1,3 ПДК, фтористому водороду 1,6 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,4 ПДК, озона 0,9 ПДК, оксид азота 0,7 ПДК, твердые фториды 0,3 ПДК (рис. 11, 12).

В городе **Нурафшан** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли 1,2 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид азота 1,0 ПДК, диоксид серы 0,2 ПДК (рис. 11, 12).

В городе **Чирчик** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли 1,3 ПДК, фенолу 1,7 ПДК и аммиаку 1,8 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид азота 1,0 ПДК, озон 0,9 ПДК, диоксид серы 0,2 ПДК, оксид азота 0,7 ПДК (рис. 11, 12).

В городе **Нурабад** превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли 1,3 ПДК. Концентрация диоксида серы составила 0,4 ПДК.

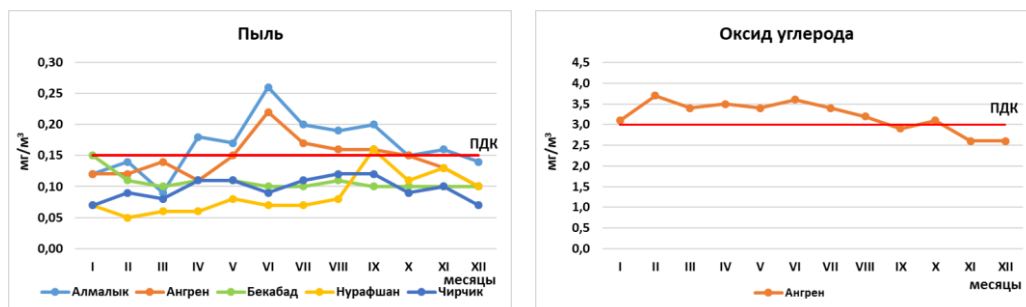


Рис. 11. Концентрация пыли и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Ташкентской области в 2024 году

Fig. 11. Concentration of dust and carbon monoxide in atmospheric air in cities of Tashkent region in 2024

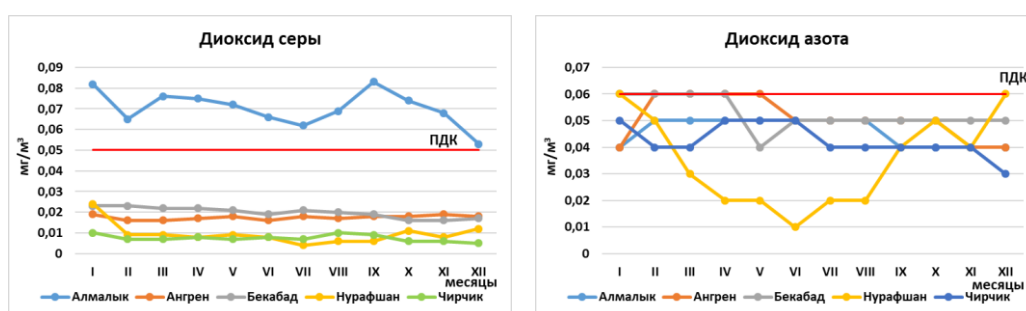


Рис. 12. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Ташкентской области в 2024 году

Fig. 12. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in cities of Tashkent region in 2024

Город Ташкент

В городе Ташкент превышение предельно допустимых концентраций зафиксировано по пыли в 1,2 ПДК, диоксиду азота 1,5 ПДК, озону 2,5 ПДК, фенолу 1,3 ПДК и фтористому водороду 2,0 ПДК. Остальные наблюдаемые загрязняющие вещества не превысили ПДК и составили: диоксид серы 0,1 ПДК, оксид углерода 0,2 ПДК, оксид азота 0,5 ПДК (рис. 13, 14).

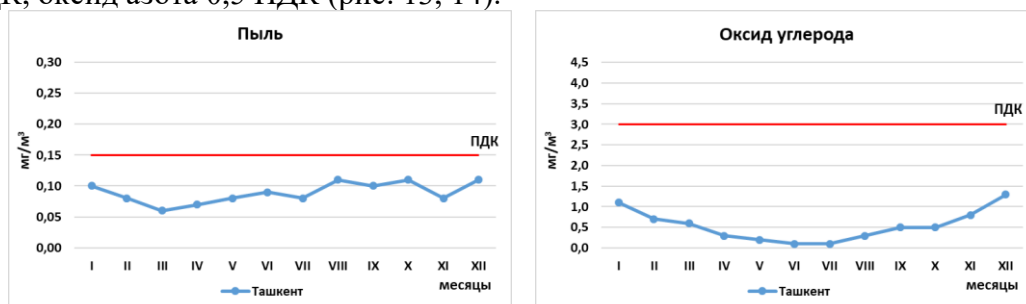


Рис. 13. Концентрация пыли и оксида углерода в атмосферном воздухе в городе Ташкент в 2024 году

Fig. 13. Concentration of dust and carbon monoxide in atmospheric air of Tashkent city in 2024

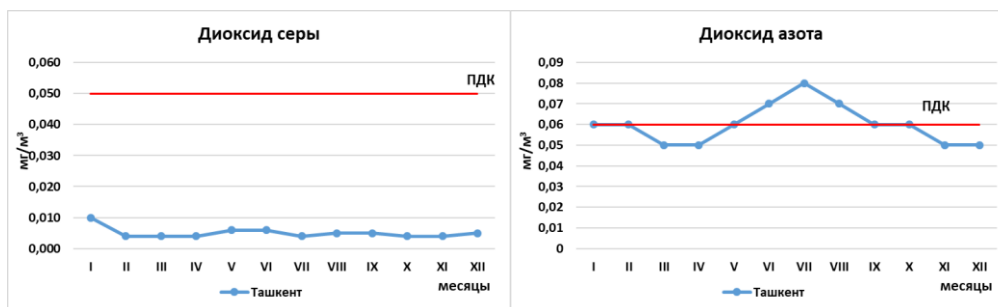


Рис. 14. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городе Ташкент в 2024 году

Fig. 14. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air of Tashkent city in 2024

Климат в Республике Узбекистан резко континентальный, это выражается в резких амплитудах дневных и ночных, летних и зимних температур, атмосферных осадков выпадает мало. В связи с этим, наиболее характерным загрязняющим веществом атмосферного воздуха на территории республики является пыль. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха пылью осуществляется в 18 городах республики. В 2024 году превышение содержание пыли в атмосферном воздухе зафиксировано во всех 18 городах (рис. 15.), уровень загрязнения находился в пределах от 0,09 мг/м³ до 0,17 мг/м³ (от 1,2 ПДК до 2,3 ПДК). Наиболее высокое содержание пыли зафиксировано в городах Алмалык, Андижан, Нукус (2,3 ПДК); Самарканд и Ургенч (2,0 ПДК). Загрязнение атмосферного воздуха пылью подтверждается и загрязнением воздуха мелкодисперсными частицами PM10 и PM2,5 (рис.16).

В Узбекистане для оценки качества атмосферного воздуха используется **ИЗА** (индекс загрязнения атмосферы) – комплексный индекс загрязнения атмосферы по приоритетным веществам, определяющий состояние загрязнения атмосферы в городе. ИЗА рассчитывается по пяти ингредиентам, имеющие наиболее высокие концентрации для данной территории с учетом класса опасности веществ. Уровень загрязнения воздуха считается очень высоким, если суммарный ИЗА превышает 14, высоким – от 7 до 14, повышенным – при от 5 до 7, низким - при ИЗА от 0 до 5 [РД 52.04.186-89, 1991].

По итогам 2024 г. наиболее загрязненными городами по индексу загрязнения атмосферы (ИЗА) являются Алмалык, Ангрен, Бекабад, Ташкент и Чирчик (рис. 17).

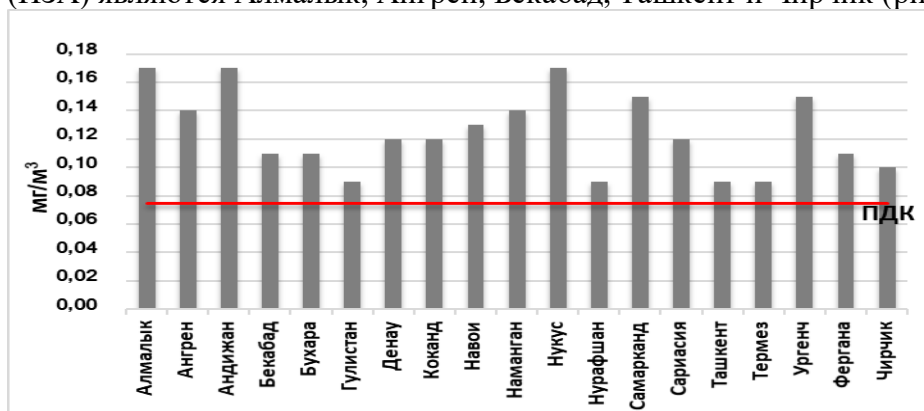


Рис. 15. Среднегодовое содержание пыли в атмосферном воздухе в городах Узбекистана в 2024 году

Fig. 15. Average annual dust content in atmospheric air in the cities of Uzbekistan in 2024

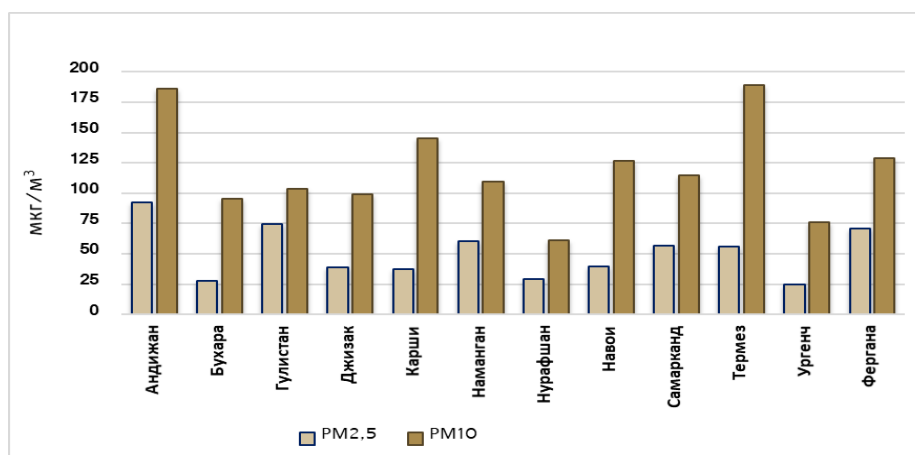


Рис. 16. Среднегодовое содержание мелкодисперсных частиц (PM10 и PM2,5) в атмосферном воздухе в городах Узбекистана в 2024 году

Fig. 16. Average annual content of fine particles (PM10 and PM2.5) in atmospheric air in the cities of Uzbekistan in 2024

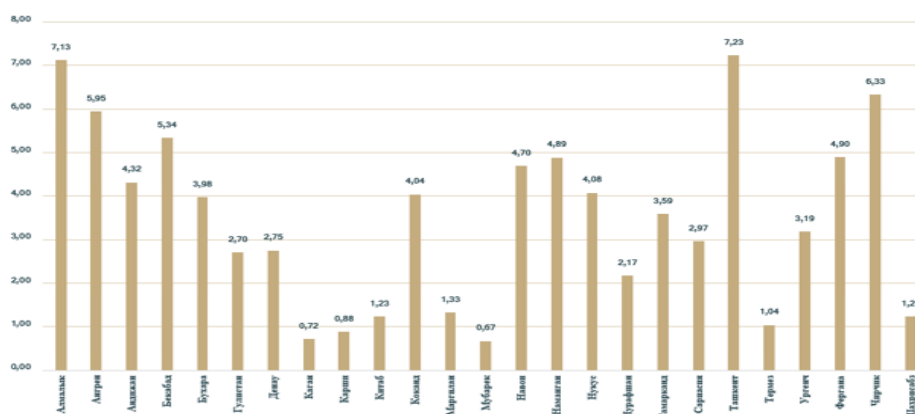


Рис. 17. Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в городах Узбекистана в 2024 году

Fig. 17. Air Pollution Index (API) in cities of Uzbekistan in 2024

Анализ данных, полученных на сети мониторинга атмосферного воздуха в 2024 г. показал, что наиболее характерными загрязняющими веществами, определяющими **высокий** или **повышенный** ИЗА в городе Алмалык являются пыль, диоксид серы, диоксид азота и фтористый водород; для города Ангрен – пыль, оксид углерода, диоксид азота и озон; для города Бекабад – пыль, диоксид азота и фтористый водород; для города Чирчик – пыль, фенол и аммиак, для города Ташкент – пыль, диоксид азота, фенол, фтористый водород и озон.

ЛИТЕРАТУРА

Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах Республики Узбекистан на территории деятельности Узгидромета за 2024 г. – Ташкент, 2025. – 155 с.

РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Москва, 1991.

СанПиН РУз №0293-11. Гигиенические нормативы перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест на территории Республики Узбекистан. – Ташкент, 2011.

СанКваН 0053-23-сон. Аҳоли яшаш пунктларининг атмосфера ҳавосидаги зарарли ва захарли моддалар, продуцент микроорганизмлар, бактериал препаратлар ва аэроионларнинг рухсат этилган гигиеник меъёрлари. – Тошкент, 2023. – 153 б.

ЎЗБЕКИСТОНДА 2024 ЙИЛДА АТМОСФЕРА ҲАВОСИНИНГ СИФАТИ

Б.Э. НИШОНОВ¹, И.А. КАРИМОВ^{1,2}, М.А. ПЛОЦЕН², Л.Н.ГРАНКИНА²

¹Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bnishonov@mail.ru

²Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги

Аннотация. Мақолада Ўзбекистон Республикаси шаҳарларида 2024 йилда атмосфера ҳавосини сифати кўриб чиқилган. Атмосфера ҳавоси сифати ўзгидромет кузатув тармогининг маълумотлари асосида асосий ифлослантирувчи моддалар (муаллақ моддалар (чанг), азот диоксиди, олтингувурт диоксиди, углерод оксиди) бўйича таҳлил қилинган. Ўзбекистоннинг кўпгина шаҳарлари атмосфера ҳавосидаги асосий ифлослантирувчи моддаларнинг ўртача ойлик миқдорлари меъёрлардан паст бўлган, фақат баъзи шаҳарлар атмосфера ҳавосида суткалик ўртача рухсат этилган концентрациялардан юқорилиги қайд этилган. Шаҳарларда атмосфера ҳавосини ифлосланиш индекси (АИИ) 0,67-7,23 оралиғида бўлган.

Калит сўзлар: атмосфера ҳавоси, ифлосланиш, чанг, азот диоксиди, олтингувурт диоксиди, углерод оксиди, АИИ, Ўзбекистон.

ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN UZBEKISTAN IN 2024

B.E. NISHONOV¹, I.A. KARIMOV^{1,2}, M.A. PLOTSEN², L.N. GRANKINA²

¹Hydrometeorological Research Institute, bnishonov@mail.ru

²Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan

Abstract. The article considers the quality of atmospheric air in the regions of the Republic of Uzbekistan in 2024. Atmospheric air quality was studied according to the data of the Uzhydromet observation network for the main pollutants (suspended particles (dust), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide). It has been shown that the average monthly concentrations of the main pollutants in the atmospheric air in most regions of Uzbekistan were lower than quality standards, only in the atmospheric air of some cities in the regions there was an excess of the average daily maximum permissible concentrations (MPC). The atmospheric air pollution index (API) in the cities of the republic was in the range of 0.67-7.23.

Keywords: atmospheric air, pollution, dust, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, API, Uzbekistan.

REFERENCES

Obzor sostoyaniya zagryazneniya atmosfernogo vozduxa v gorodax Respubliki Uzbekistan na territorii deyatelnosti Uzgidrometa za 2023g. [Overview of the state of air pollution in the cities of the Republic of Uzbekistan in the territory of the Uzhydromet's activities for 2024]. – Tashkent, 2025. – 155 s. (in Russian)

RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosferi [Air Pollution Control Manual]. – Moskva, 1991. (in Russian)

SanPiN RUZ №0293-11. Gigienicheskie normativi perechen predelno dopustimix konsentratsiy (PDK) zagryaznyayushix veshestv v atmosfernom vozduxe naseleennykh mest na territorii Respubliki Uzbekistan [SanPiN RUZ No. 0293-11. Hygienic standards list of maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas in the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent, 2011. (in Russian)

SanQvaN 0053-23-son. Aholi yashash punktlarining atmosfera havosidagi zararli va zaharli moddalar, produsent mikroorganizmlar, bakterial preparatlar va aeroionlarning ruxsat etilgan gigienik meyorlari [Permissible hygienic standards of dangerous and toxic substances, producer microorganisms, bacterial preparations and aeroions in the atmospheric air of populated areas in the Republic of Uzbekistan]. – Toshkent, 2023. – 153 b. (in Uzbek)

ХОТИРА ВА ЮБИЛЕЙЛАР / ХРОНИКА И ЮБИЛЕИ / CHRONICLE AND ANNIVERSARIES



КАМАЛОВ БАҲОДИР АСОМОВИЧНИНГ ЁРҚИН ХОТИРАСИГА БАҒИШЛАНАДИ!

География фанининг жонкуяр фидойиси, табиий география ва гидрометеорология бўйича таниқли олим, об-ҳавога таъсир қилиш соҳасида янги илмий йўналиш асосчиси, Ўзбекистон гидрометеорологик жараёнларга таъсир этиш ҳарбийлашган бошқармасининг ташкилотчиси ва кўп йиллик раҳбари (1968-2006 йй.) Камалов Баҳодир

Асомович 2025 йил 16 август куни 83 ёшида оламдан ўтди.

Наманган давлат университети профессори, география фанлари доктори Б.А.Камалов 1942 йил 9 мартда Наманган вилояти Наманган тумани Гирвон қишлоғида ўқитувчилар оиласида туғилган. 1958 йилда ўрта мактабни кумуш медаль билан битириб, шу йили Самарқанд давлат университетининг География факультетига ўқишга кирган. У СамДУ талабалар илмий жамияти ишида фаол қатнашиб, 2-курсада ўқиётган даврида «Зарафшон ҳавзаси дарёлари оқимининг тебранишлари» мавзусида ўзининг биринчи илмий ишини ёзади. Бу иш Москва давлат университетида 1961 йилда ўтказилган собиқ иттифоқ республикалари университетлари талаба ва аспирантларининг илмий ишлари конкурси натижалари бўйича 3-даражали дипломга сазовор бўлади. Талабалик йилларида ҳар хил нашрларда, шу жумладан, «Вестник МГУ», «Известия Всесоюзного географического общества» журналларида Зарафшон ҳавзаси гидрометеорологияси бўйича бир неча илмий мақолалар чоп эттиради, СамДУ талабалар илмий жамиятига 2 йил раислик қилади.

Самарқанд давлат университетини 1963 йилда имтиёзли диплом билан тугатгач, шу йили иш фаолиятини Ўзбекистон гидрометеорология бошқармасининг 4-гидрографик отрядида катта инженер лавозимида иш бошлаши биланок, «Ер усти сув ресурслари, 14-том, 1-бўлим, Сирдарё ҳавзаси» номли катта маълумотнома асарни яратишга жалб қилинади. Шу асарнинг «Музликлар ва қор тўпламлари» бобини ёзиш унга топирилади ва у Ўрта Осиёнинг кўпгина музликларига, шу жумладан, Помирдаги Федченко музлигига, Пском, Сўх, Зарафшон ва бошқа дарёларнинг музликларига бўлган экспедицияларда қатнашади. Натижада, ўзига топирилган ишни яқка муаллифликда муваффақиятли бажаради. Китоб 1969 йилда Ленинград (ҳозирги Санкт-Петербург) шаҳрида нашрдан чиқарилади.

Шу орада, 1964 йилнинг 26 апрелида Зарафшон водийсидаги Айний қишлоғи ёнида тоғ ўпирилиб тушиши натижасида дарёнинг тўла тўсилиб қолиши оқибатларини бартараф этишда фаол қатнашганлиги учун Ўзбекистон Олий Совети Президиумининг Фахрий ёрлиғи билан мукофотланади.

Кейинги йилларда Б.А.Камалов Сирдарё ҳавзасининг ер усти сув ресурслари, музликлар ва қор тўпламлари режими масалалари билан шуғулланишни давом эттириб, натижаларини «Сирдарё ҳавзасининг музликлари ва улардан оқиб тушган сувлар» номли монографиясида («Гидрометеоиздат» нашриёти, 1974) жамлади ва уни номзодлик диссертацияси сифатида Россиянинг Гидрометеорология марказида муваффақиятли химоя қилди. Монографияда ва диссертация ишида Сирдарё ҳавзаси музликлари бўйича маълумотлар билан бир қаторда, тоғ дарёларининг музликлардан тўйинишини ва

музликлар майдонининг баландликлар бўйича тақсимотини баҳолаш, музлик юзасининг эришидаги нотекисликлар, музликларнинг ўртача ориентациясини аниқлаш, музликлардан тўйинувчи тоғ дарёлари оқимини ҳисоблаш, музликларнинг дарёлар оқимининг тартибига таъсирини баҳолаш усуллари таклиф этилган.

1968 йилда Б.А.Камалов Ўзбекистон дўлга қарши отрядига бошлиқ этиб тайинланди ва бундан кейинги фаолияти Ўзбекистонда гидрометеорологик жараёнларга таъсир этиш ишларини ривожлантириш билан боғлиқ бўлди. Унинг раҳбарлигида ва фаол иштирокида Ўзбекистонда 740 минг гектар майдондаги экинларни ўз ҳимоясига олган 7 та дўлга қарши кураш хизматлари, Қашқадарё вилоятида ёғинларни кўпайтириш бўйича тажриба-ишлаб чиқариш ишлари, Чимён дам олиш масканида қор кўчкларини сунъий тушириш хизмати ташкил этилди. Бу ташкилотларнинг замонавий техника ва ускуналар (радиолокацион станциялар, радиолока ва ракета-артиллерия воситалари) билан жиҳозланган базалари Наманган вилоятининг Чуст, Косонсой, Янгиқўрғон, Самарқанд вилоятининг Самарқанд, Қашқадарё вилоятининг Шаҳрисабз, Сурхондарё вилоятининг Узун туманларида қурилди. Натижада республикада гидрометеорологик жараёнларга таъсир этиш бўйича йирик илмий-ишлаб чиқариш ташкилоти юзага келди ва бу ишга Б.А.Камалов 30 йил давомида узлуксиз раҳбарлик қилди. 2006 йилдан бошлаб бу ташкилот Мудофаа вазирлиги таркибига ўтганидан сўнг эса олим фаолиятини олий таълимда давом эттиришга киришади.

Б.А.Камалов ишлаб чиқариш ва маъмурий ишларни илмий тадқиқот билан биргаликда, гидрометеорологик жараёнларга фаол таъсир этиш натижаларини таҳлил қилиб ва умумлаштириб олиб борди. Бу борадаги ўзининг тадқиқотларида асосий эътиборни фаол таъсир натижаларини физик ва иқтисодий баҳолаш ва булутларга реагент сепишнинг ёғингарчиликка таъсирини аниқлаш масалаларига ҳамда дўл жараёнини сусайтириш концепцияларининг муҳокамасига бағишлади. Улар асосида «Ўзбекистонда гидрометеорологик жараёнларга фаол таъсир этиш. Илмий-услубий асослари. Тақомиллаштириш» мавзусида докторлик диссертациясини тайёрлади ва 2007 йилда муваффақиятли ҳимоя қилди. Унда 2 та янги концепция таклиф этилди ва асосланди. Биринчисида, булутларга реагент сепиб таъсир этишнинг янги механизми таклиф этилиб, у сепилган реагент заррачалари янги дўл ўзаклари ҳосил қилмаслиги, балки мавжуд дўл ўзакларининг коагуляцион ўсишини кучайтиришига асосланган ва дўл доначаларининг микрофизик тадқиқоти натижалари билан исботланган. Иккинчи концепция чўлланиш механизмига бағишланган. Маълумки, чўлларнинг кенгайиши ва кучайиши уларда альбедонинг катталиги ва бунинг натижасида ҳавонинг юқоридан пастга ҳаракатининг кучайиши билан боғланади. Б.А.Камалов бунга кўшимча қилиб, чўлланишнинг чўлларда чангнинг, яъни конденсация ўзакларининг ўта кўплиги натижасида ёғин ҳосил бўлишининг қийинлашиши орқасида ривожланиши ҳам мумкинлигини ҳисобга олиб, бу ерда ёғинларни кўпайтириш булутларга реагент сепиб эмас, балки чангишга қарши усуллар, мисол учун фитомелиорацияни ривожлантириш ёрдамида амалга ошириш зарур, деб ҳисоблайди. Буни ҳисобга олган ҳолда, кейинги йилларда Б.А.Камалов раҳбарлигида арид ҳудудларда экинлардан суғормасдан ҳосил олиш имкониятларини аниқлаш бўйича тажриба ишлари олиб борилди. 2011-2016 йилларда ўтказилган тажрибалар ўртача йиллик ёғин миқдори 200 мм дан кам бўлган ҳудудларда ижобий ва ишонарли натижалар берди. Суғормасдан боғ ташкил этиш бўйича тажрибаларнинг натижалари ҳам ижобий бўлади.

Шунингдек, олим Орол денгизи муаммоси, иқлим ўзгариши ва унинг оқибатлари, табиий ресурслардан самарали фойдаланиш, Марказий Осиё давлатларининг иқтисодий ва ижтимоий ҳолатига бағишланган кўплаб мақолалар эълон қилди. Уларда пахта яккаҳокимлиги нафақат экологик томондангина зарарли бўлиб қолмай, иқтисодий жиҳатдан ҳам зарарли эканлиги кўрсатилган. Б.А.Камалов Орол муаммосини ҳал қилиш ҳамда республикамиз қишлоқ хўжалигини иқлим исишига мослашуви учун суғорма деҳқончилиқни кам сув талаб қиладиган экинларга ўтказиш, боғ ва узумчиликни

ривожлантириш зарурлигини Ўзбекистон иқтисодчиларининг форумларида ҳам таъкидлаган эди.

Етук олим Б.А.Камалов 350 га яқин илмий ишлар, шу жумладан, 8 та монография, 1 та дарслик, 2 та ўқув қўлланма, бир неча рисоалар чоп эттирган ҳамда 2 та йирик монографик асарнинг ҳаммуаллифи эди. Унинг илмий асарларининг катта қисми рус ва инглиз тилларида чет элларда нашр этилган. Жумладан, илмий ишлари SCOPUS ва Web of Science базаларида нашр этилиб, халқаро эътирофларга сазовор бўлган. Шунингдек, «Модификация погоды в Средней Азии», «Greenhouse effect is a global way of struggle against desertification», «Усыхание Арала: история, последствия, возможности восстановления» номли монографиялари Amazon халқаро тармоғида сотувга қўйилган. Олим булутлар ва ёғинлар физикаси ҳамда об-ҳаво модификацияси бўйича халқаро конференцияларнинг доимий иштирокчиси эди.

Б.А.Камалов 2002 йилдан бошлаб ўриндошлик асосида, 2006 йилдан эса тўла равишда Наманган давлат университетида ўқитувчиликка ўтиб, «Умумий Ер билими», «Гидрология», «Гидрологик прогнозлаш», «Метеорология ва иқлимшунослик», «Динамик метеорология», «Атмосфера физикаси», «Экология асослари» ва бошқа фанлардан дарс берган. Унинг раҳбарлигида 7 та номзодлик ва фалсафа доктори, 10 дан ортиқ магистрлик диссертациялари, кўплаб битирув малакавий ишлари ҳимоя қилинган.

Б.А.Камаловнинг унумли фаолияти ҳукумат мукофотлари – Ўзбекистон Олий Совети Президиумининг фахрий ёрлиғи, «Меҳнат қизил байроғи» ва «Хурмат белгиси» орденлари, медаллар ҳамда халқ хўжалиги ютуқлари кўргазмаси медаллари билан тақдирланган. Қолаверса, олим «Гидрометеорология хизмати аълочиси» ва «Ўзбекистон гидрометеорологияси аълочиси» нишонлари билан тақдирланган. Қолаверса, 2011 йили “Ўзбекистон мустақиллигининг 20 йиллиги” ва 2025 йили I даражали “Меҳнат фахрийси” кўкрак нишонлари билан мукофотланган.

Б.А.Камалов Ўзбекистон География жамияти фахрий аъзоси эди. Умрининг охирига қадар Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги Илмий даражалар берувчи DSc.27/30.12.2019.Gr.47.01 рақамли Илмий кенгашнинг «11.00.03. – Куруклик гидрологияси. Сув ресурслари. Гидрокимё» ва «11.00.04. – Метеорология. Иқлимшунослик. Агрометеорология» ихтисосликлари ҳамда Наманган давлат университети ҳузуридаги PhD.03/04.06.2020.Ped.76.02 рақамли Илмий кенгашнинг «13.00.02. – Таълим ва тарбия назарияси ва методикаси» ихтисослиги бўйича илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш аъзоси эди.

Аллоҳ Устозни Ўз раҳматига олсин!

