

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

2024

Тошкент

ТАҲРИР КЕНГАШИ

Таҳрир кенгаши раиси:

Ҳабибуллаев Шерзод
Ҳабибуллаҳўжаевич

Масъул котиб:

Рўзиева Малоҳат Бахтиёрвна

Таҳрир кенгаши аъзолари:

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

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 Саидақбарович, 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); Камалов Баходир Асамович, г.ф.д., доц. (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. (Ўзбекистон); Мурадов Шухрат Одилович, тех.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Мягков Сергей Владимирович, тех.ф.д., к.и.х. (Ўзбекистон); Нишонов Мухтор Мадаминович, ф.-м.ф.н., доц. (Ўзбекистон); Раҳмонов Комилжон Раджабович, г.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Рафиқов Ваҳоб Асомович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Тилляходжаева Зухраҳон Джахангировна, г.ф.ф.д. (Ўзбекистон); Тлеумуратова Бибигуль Саробаевна, ф.-м.ф.д. (Ўзбекистон); Тургунов Данияр Маннапжанович, г.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Умирзақов Ғулумжон Ўнгарбоевич, қ.х.ф.ф.д., доц. (Ўзбекистон); Холбаев Гулман Холбаевич, г.ф.н., к.и.х. (Ўзбекистон); Фазылов Али Раҳматджанович, тех.ф.д., доц. (Тожикистон); Фролова Наталья Леонидовна, г.ф.д., проф. (Россия); Чембарисов Эльмир Исмаилович, г.ф.д., проф. (Ўзбекистон); Чередниченко Александр Владимирович, г.ф.д., проф. (Қозоғистон); Эгамбердиев Хамракул 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, 2024

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель редакционного совета:

Хабибуллаев Шерзод
Хабибуллахужаевич

Ответственный секретарь:

Рузиева Малохат Бахтиёровна

Члены редакционного совета:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Холматжанов Бахтияр Махаматжанович,
д.г.н., 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); Гущина Дарья Юрьевна, д.г.н. (Россия); Дергачёва Ирина Викторовна, д.ф.г.н. (Узбекистан); Камалов Баходир Асамович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Карандаева Лидия Михайловна, к.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Кадиров Бахтиёр Шарафиддинович, к.г.н., с.н.с. (Узбекистан); Мамаджанова Гавхар Ахматхоновна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Мурадов Шухрат Одилович, д.т.н., проф. (Узбекистан); Мягков Сергей Владимирович, д.т.н., с.н.с. (Узбекистан); Нишонов Мухтор Мадаминович, к.ф.-м.н., доц. (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); Глеумуратова Бибигуль Сарibaевна, д.ф.-м.н. (Узбекистан); Тургунов Данияр Маннапжанович, д.г.н., доц. (Узбекистан); Умирзаков Гуломжон Унгарбаевич, д.ф.с.-х.н., доц. (Узбекистан); Холбаев Гулман Холбаевич, к.г.н., с.н.с. (Узбекистан); Фазылов Али Рахматджанович, д.т.н., доц. (Таджикистан); Фролова Наталья Леонидовна, д.г.н., проф. (Россия); 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 Адilович, д.т.н., проф. (Узбекистан).

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

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

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

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

Учредитель: Агенство 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, 2024

EDITORIAL COUNCIL

Chairman of the Editorial Council:

Sherzod Khabibullakhujaevich
Khabibullaev

Assistant Editor:

Ruzieva Malokhat Bakhtiyorovna

Members of the Editorial Council:

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

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Bakhtiyar Makhmatjanovich Kholmatjanov,
D.Sc. in Geog., 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)*; **Bakhodir Asamovich Kamalov**, *D.Sc. in Geog. (Uzbekistan)*; **Lidiya Mikhaylovna Karandaeva**, *Ph.D. in Tech. Sci. (Uzbekistan)*; **Bakhtiyor Sharafiddinovich Kadirov**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Gavkhar Akhmatkhonovna Mamadjanova**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Shukhrat Odilovich Muradov**, *D.Sc. in Tech. (Uzbekistan)*; **Sergey Vladimirovich Myagkov**, *D.Sc. in Tech. (Uzbekistan)*; **Mukhtor Madaminovich Nishonov**, *Ph.D. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **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)*; **Gulman Kholbaevich Kholbaev**, *Ph.D. in Geog. Sci. (Uzbekistan)*; **Ali Rakhmatjanovich Fazylov**, *D.Sc. in Tech. (Tajikistan)*; **Natalya Leonidovna Frolova**, *D.Sc. in Geog. (Russia)*; **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, 2024

МУНДАРИЖА

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Б.М. Холматжанов, С.У. Бегматов, Д.Ў. Ярашев, И.М. Махмудов, Б.Х. Ахмуратова, Ф.Б. Сафаров, Э.Ю. Рахимов, Д.Б. Истамов
SPI, SPEI индекслари ва ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициентлари (ТГК) асосида Ўзбекистонда қурғоқчиликни баҳолаш 8

М.Л. Арушанов
Планетар Россби тўлқинлари орқали иссиқлик тўлқинларининг генерацияси . 27

Э.Ю. Рахимов, А.А. Имяминов, Б.Ю. Омонов
Sky Imager ёрдамида булут қопламаси даражасини аниқлаш 40

ГИДРОЛОГИЯ

О.Т. Холтожиева, З.Ф. Хакимова, Ф.Ҳ. Ҳикматов, Н.А. Рахимов
Тоғ дарёлари муаллақ окизиклари ҳосил бўлишининг метеорологик омилларга боғлиқлиги 51

Т.А. Ахмедова
Ер усти сувларида ифлослантирувчи моддаларнинг кўчиши жараёнини математик моделлаштириш 62

А.З. Умаров, Ф. Ҳикматов
Амударё ва Сирдарё оқими миқдорларини XX асрнинг биринчи чорагидаги сув ўлчаш маълумотлари асосида баҳолаш 72

АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

Л.Ю. Шардакова, А.Р. Ахмедова, Н.И. Рахматова, Б.Э. Нишонов
Сурхондарё вилоятидаги чанг бўронларининг ер усти кузатувлари асосидаги таҳлили 88

М.Л. Арушанов, М. Алаутдинов
Олтингугурт диоксидининг атмосферадаги концентрацияси ўзгариш динамикасининг Куёш фаоллиги ўзгаришига боғлиқлиги..... 99

М.О. Амонов, Б.Э. Нишонов, О.М. Очилов
Тошкент шаҳри атмосфера ҳавосидаги майда дисперс заррачалар миқдори, микроэлементлар бўйича таркиби ва манбалари 107

ШАРҲЛАР

И.А. Каримов, Б.Э. Нишонов, М.А. Плоцен, Л.Н. Гранкина
Ўзбекистонда 2023 йилда атмосфера ҳавосининг сифати 120

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Б.М. Холматжанов, С.У. Бегматов, Д.У. Ярашев, И.М. Махмудов, Б.Х. Ахмуратова, Ф.Б. Сафаров, Э.Ю. Рахимов, Д.Б. Истамов
Оценка засухи в Узбекистане на основе индексов SPI, SPEI и термогигрометрического коэффициента сухости воздуха (ТГК) 8

М.Л. Арушанов
Генерация волн жары планетарными волнами Россби 27

Э.Ю. Рахимов, А.А. Имяминов, Б.Ю. Омонов
Определение степени облачности с помощью Sky Imager 40

ГИДРОЛОГИЯ

О.Т. Холтожиева, З.Ф. Хакимова, Ф.Х. Хикматов, Н.А. Рахимов
Зависимость формирования взвешенных наносов горных рек от метеорологических факторов 51

Т.А. Ахмедова
Математическое моделирование процесса переноса загрязняющих веществ в поверхностных водах 62

А.З. Умаров, Ф. Хикматов
Оценка величины стока рек Амударьи и Сирдарьи на основе водомерных данных первой четверти XX века 72

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Л.Ю. Шардакова, А.Р. Ахмедова, Н.И. Рахматова, Б.Э. Нишонов
Анализ пыльных бурь в Сурхандарьинской области на основе данных наземных наблюдений 88

М.Л. Арушанов, М. Алаутдинов
Обусловленность концентрации диоксида серы в атмосфере вариациями Солнечной активности 99

М.О. Амонов, Б.Э. Нишонов, О.М. Очиллов
Концентрация, элементный состав и источники мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе города Ташкент..... 107

ОБЗОРЫ

И.А. Каримов, Б.Э. Нишонов, М.А. Плоцен, Л.Н. Гранкина
Качество атмосферного воздуха в Узбекистане в 2023 году 120

CONTENTS

METEOROLOGY

B.M. Kholmatjanov, S.U. Begmatov, D.U. Yarashev, I.M. Makhmudov, B.Kh. Akhmuratova, F.B. Safarov, E.Yu. Rakhimov, D.B. Istamov
Assessment of drought in Uzbekistan based on SPI, SPEI indices and thermohygrometric coefficient of air dryness (THC) 8

M.L. Arushanov
Generation of heat waves by planetary waves of Rossby 27

E.Yu. Rakhimov, A.A. Imyaminov, B.Yu. Omonov
Determining the level of cloud cover using the Sky Imager 40

HYDROLOGY

O.T. Kholtojieva, Z.F. Khakimova, F. Kh. Khikmatov, N.A. Rakhimov
Dependence of formation of suspended sediment in mountain rivers on meteorological factors 51

T.A. Akhmedova
Mathematical modeling of the process of transport of pollutants in surface waters .. 62

A.Z. Umarov, F. Khikmatov
Assessment of the flow of the Amudarya and Sirdarya rivers based on primary water gauge data of the first quarter of the XX century 72

ENVIRONMENTAL MONITORING

L.Yu. Shardakova, A.R. Akhmedova, N.I. Rakhmatova, B.E. Nishonov
Analysis of dust storms in Surkhandarya region based on ground observation data 88

M.L. Arushanov, M. Alautdinov
The dependence of sulfur dioxide concentrations in atmosphere on variations of Solar activity 99

M.O. Amonov, B.E. Nishonov, O.M. Ochilov
Concentration, elemental composition and sources of particulate matters in the atmospheric air of Tashkent city 107

REVIEWS

I.A. Karimov, B.E. Nishonov, M.A. Plotsen, L.N. Grankina
Atmospheric air quality in Uzbekistan in 2023 120

МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY

УДК: 632.112

**SPI, SPEI ИНДЕКСЛАРИ ВА ҲАВО ҚУРҒОҚЧИЛИГИНИНГ
ТЕРМОГИГРОМЕТРИК КОЭФФИЦИЕНТИ (ТГК) АСОСИДА
ЎЗБЕКИСТОНДА ҚУРҒОҚЧИЛИКНИ БАҲОЛАШ****Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2*}, С.У. БЕГМАТОВ¹, Д.Ў. ЯРАШЕВ¹, И.М. МАХМУДОВ¹,
Б.Х. АХМУРАТОВА², Ф.Б. САФАРОВ³, Э.Ю. РАХИМОВ⁴, Д.Б. ИСТАМОВ⁵**¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, sardor0752@gmail.com² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz³ Гидрометеорология хизмати агентлиги, sfazizbek@gmail.com⁴ Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги хузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти, ejurakhimov@gmail.com⁵ Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институти, istamov@uzsci.net

Аннотация. Тадқиқотни бажаришда Европа ўрта муддатли об-ҳаво прогнозлари марказининг ERA5 реанализ базасининг атмосфера ёгинлари, ҳаво ҳарорати ва шудринг нуқтаси ҳарорати маълумотларидан фойдаланилган. Жаҳон миқёсида қурғоқчиликни баҳолашда кенг қўлланилаётган SPI ва SPEI индекслари асосида 1991-2020 йилларда Ўзбекистон ҳудудида 1 ва 3 ойлик метеорологик қурғоқчиликнинг тақсимотлари миқдорий баҳоланган. Олинган натижалар республиканинг турли (чўл, воҳа ва тоғли) табиий географик шароитли ҳудудларида мазкур индекслар бўйича 70% атрофидаги ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилишини кўрсатди. Экстремал қурғоқчиликнинг такрорланувчанлиги 1 ойлик индекслар бўйича 3,0%, 3 ойлик индекслар бўйича эса 7,0% дан ошмайди. ТГК индекси бўйича республика ҳудудида асосан кучсиз ва мўътадил атмосфера қурғоқчилиги (АҚ) устуворлик қилиши аниқланди. Апрельдан сентябргача бўлган даврда экстремал АҚ фақат Навоий, Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларида қайд этилади. Сугорма деҳқончилик олиб бориладиган воҳа ҳудудларида кучли ва экстремал АҚ кузатишмайди.

SPI ва SPEI индекслари энг кам 1 ойлик вақт масштаби учун ҳисобланиб, ёгинлар миқдорининг ҳисоб даври ичидаги тақсимотини ҳисобга олмайди. Шу сабабли, қисқа вақт оралиқларида ҳаво ҳарорати ва намлик режимининг қишлоқ хўжалиги экинларининг физиологик ҳолатига таъсирини эътиборга олиш учун ТГК индексидан фойдаланиш тавсия этилади.

Калит сўзлар: қурғоқчилик, ёгинлар миқдори, ҳаво ҳарорати, шудринг нуқтаси ҳарорати, ERA5, SPI, SPEI, ТГК, Ўзбекистон.

Кириш. Қурғоқчилик – намликнинг ўртача даражадан сезиларли паст бўлган даврлари бўлиб, одатда катта майдонларни қамраб олади. Бу даврда сув таъминотидаги чекловлар табиий тизимлар ва иқтисодиёт тармоқларига салбий таъсир кўрсатади [Wilhite and Pulwarty, 2017; Ault, 2020]. Қурғоқчилик ходисаси чўллардан ёмғирли ўрмонларгача бўлган ихтиёрий иқлим режимига эга минтақаларида содир бўлиши мумкин. Қурғоқчиликнинг табиат ва инсон фаолиятига салбий таъсири йилдан йилга ортиб, тобора зарари юқори табиий офатлардан бирига айланмоқда [Van Loon, 2015; Vicente-Serrano, 2007; Wilhite and Pulwarty, 2017; WMO and GWP, 2016]. Иқлим ўзгариши бўйича ҳукуматлараро гуруҳининг Олтинчи баҳоловчи ҳисоботида таъкидланишича

* Масъул муаллиф: b.xolmatjanov@nuu.uz, тел.: +998 99 875-51-27

“Курғоқчилик – курғоқчил шароитларнинг тўсатдан пайдо бўлиши ва тез кучайиши билан тавсифланувчи бир неча ҳафталик “қиска курғоқчиликлар (flash droughts)”дан “мега курғоқчилик (mega droughts)” деб аталувчи кўп йиллик ёғингарчилик танқислигигача вақт ораликларида содир бўлиши мумкин” [IPCC, 2021].

XX-XXI асрларда қитъаларнинг катта худудларини қамраб олган курғоқчилик ҳодисаларининг турли жиҳатлари кенг ўрганилган. 1920 йилда Хитойда [Liang et al., 2006], 1950 йилда Мексика ва АҚШда [Schubert et al., 2004], 1970 ва 1990 йилларда Сахелда [Hulme, 2001], 2000 ва 2017-2019 йилларда Австралияда [van Dijk et al., 2013; Peng et al., 2019; Nguyen et al., 2019], 1950-2012 йилларда Европада [García-Herrera et al., 2010; Spinoni et al., 2015], 2011 ва 2015-2017 йилларда Африкада [Nicholson, 2014; Baudoin et al., 2017; Masante et al., 2018; Muller, 2018], 2010-йилларнинг бошларида АҚШда [Swain et al., 2014; Seager et al., 2015], 2014 йилда Хитойда [Wang and He, 2015], 2010-2018 йилларда Чилида [Garreaud et al., 2020] кузатилган курғоқчилик ҳодисаларини бунга мисол сифатида келтириш мумкин.

Илмий адабиётда алоҳида ўзгарувчиларнинг (масалан, ёғингарчилик, тупроқ намлиги, сув оқими, эвапотранспирация) аномалияларидан бошлаб турли атмосфера ўзгарувчиларини бирлаштирувчи кўплаб курғоқчилик индекслари нашр этилган. Улар курғоқчилик билан бевосита боғлиқ бўлган табиий шароит ва кўрсаткичларнинг ўзгаришига асосланиб, ёғингарчилик тақчиллиги, ҳаво намлиги дефицитининг атмосферанинг буғланишга талаби (Atmospheric Evaporative Demand – AED)дан ортиши, тупроқ намлиги дефицити, гидрологик дефицит ҳамда ёғингарчилик ва AED ни бирлаштирувчи атмосфера индексларидир. Бу индекслар асосида курғоқчиликни баҳолаш метеорологик, қишлоқ хўжалиги ва экологик ҳамда гидрологик курғоқчилик турлари бўйича амалга оширилади [IPCC, 2021]. Курғоқчилик турлари ўртасидаги фарқ мутлак эмас, чунки курғоқчилик Ер тизимининг турли субминтақаларига бир вақтнинг ўзида, айрим ҳолларда эса асинхрон таъсир кўрсатиб, курғоқчиликнинг бир туридан бошқасига тарқалиши мумкин [Brunner and Tallaksen, 2019]. Шу сабабли, курғоқчиликни ягона универсал таъриф ёрдамида тавсифлаб [Lloyd-Hughes, 2014], битта ўзгарувчига асосланган ҳолда тўғридан-тўғри ўлчаб бўлмайди [Wilhite and Pulwarty, 2017].

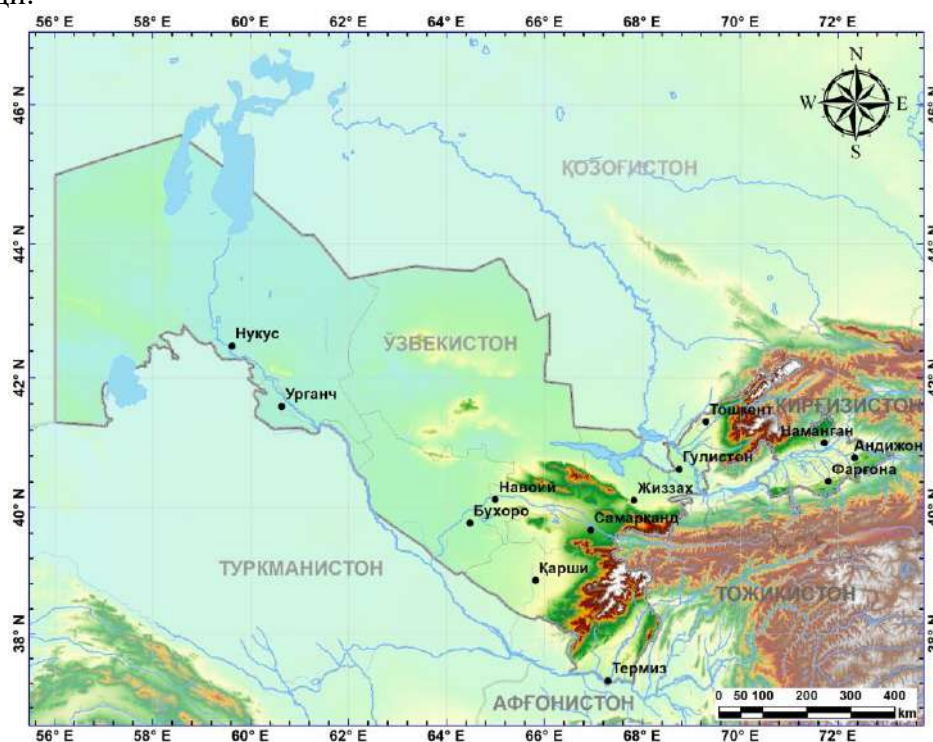
Жаҳон амалиётида йигирмадан ортиқ метеорологик курғоқчилик индекслари қўлланилади [WMO and GWP, 2016]. Ҳозирги вақтда курғоқчиликни тадқиқ этишда Стандартлаштирилган ёғингарчилик индекси (Standardized Precipitation Index – SPI) ва Стандартлаштирилган ёғингарчилик буғланиш индекси (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI) кенг қўлланилмоқда [Danandeh Mehr and Vaheddoost, 2020; Pei et al., 2020; Ojha, 2021; Faye, 2022; Pyaraly et al., 2022; Cavus et al., 2023; Hasan et al., 2023; Kimaiyo et al., 2023; Öney and Anlı, 2023; Peng et al., 2023; Ziari and Medjerab, 2024]. Маълумки, метеорологик курғоқчилик, бошқа барча курғоқчилик турлари каби, термодинамик ва динамик жараёнларнинг комбинацияси натижасидир. Глобал ва минтақавий миқёсда курғоқчиликка олиб келувчи термодинамик жараёнлар асосан иссиқлик ва намлик алмашинуви билан боғлиқ бўлиб, шунингдек, ўсимлик қоплами ва уларнинг физиологияси билан қисман модуляцияланади. Бундай жараёнлар, масалан, ҳаво намлиги, ҳарорат ва радиация режимига таъсир кўрсатиб, улар ўз навбатида муайян вақт ораликларида айрим худудларда ёғингарчилик ва/ёки буғланишга таъсир этади. Ўз навбатида, динамик жараёнлар турли вақт ораликларида содир бўлувчи курғоқчиликни тушунишда ўта муҳимдир [IPCC, 2021].

Жаҳон илмий адабиётида термодинамик жараёнлар ва метеорологик курғоқчилик ўртасидаги боғлиқликни ўрганишга бағишланган қатор илмий ишлар чоп этилган. Сув буғи босими дефицити, ҳақиқий (actual evapotranspiration – AET) ва потенциал буғланиш

(potencial evapotranspiration – PET) ёки уларнинг комбинацияси, AED [Hobbins et al., 2012; McVicar et al., 2012; Sheffield et al., 2012] ёки кунлик буғланиш дефицити индекси (the daily evapotranspiration deficit index – DEDI) [Zhang et al., 2022] термодинамик жараёнларнинг ўзгарувчилари ва индекслари сифатида қўлланилади.

SPI ва SPEI индекслари ҳамда ўзбекистонлик олимлар томонидан таклиф этилган ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффиценти (ТГК) асосида Ўзбекистонда қурғоқчиликнинг шаклланишини ўрганиш мазкур тадқиқотнинг **мақсади**, SPI, SPEI ва ТГК индекслари асосида қурғоқчилик ҳодисаларининг ҳудудий ва вақт бўйича тақсимооти, такрорланувчанлик ва давомийлик кўрсаткичларини аниқлаш унинг **вазифаси** сифатида белгиланди.

Тадқиқотнинг объекти ва предмети. Ўзбекистоннинг ер майдони 448 978 км² бўлиб, Марказий Осиё минтақасида (37°13'-45°36' ш.к., 56°00'-73°10' ш.у.) жойлашган (1-расм). Ўзбекистон океанлардан узоқ масофада жойлашганлиги туфайли, мавжуд сув ҳавзалари океанларга туташмаган, табиий географик шароитларининг хилма-хиллиги билан тавсифланади [Бабушкин ва Когай, 1964]. Текисликлар қурғоқчил ва ярим қурғоқчил ҳудудлар бўлиб, жануб, жануби-шарқ ва шарқда тоғлар билан чегараланган. Ўзбекистон ҳудудида шаклланувчи қурғоқчилик ҳодисалари тадқиқотнинг объектини ташкил этади. Атмосфера қурғоқчилиги шаклланишининг термодинамик шароитлари, унинг метеорологик қурғоқчиликка таъсири, атмосфера ва метеорологик қурғоқчиликнинг такрорланувчанлик ва давомийлик кўрсаткичларини баҳолаш ишнинг предмети ҳисобланади.



1-расм. Ўзбекистоннинг географик жойлашуви

Рис. 1. Географическое расположение Узбекистана

Fig. 1. Geographical location of Uzbekistan

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари. Тадқиқот ишини бажаришда Европа ўрта муддатли об-ҳаво прогнозлари маркази (ECMWF) ERA5 реанализ базасининг

1991-2020 йй. учун ёгинлар миқдори, ҳаво ҳарорати ва шудринг нуқтаси ҳарорати маълумотларидан фойдаланилди. Ўзбекистоннинг турли табиий географик (чўл, воҳа ва тоғли) шароитли минтақаларида жойлашган метеорология станциялари ҳудудида қурғоқчиликнинг такрорланувчанлик ва давомийлик кўрсаткичлари ҳисобланди (1-жадвал).

1-жадвал

Тадқиқотда танланган метеорология станцияларининг жойлашуви

Таблица 1

Расположение выбранных метеорологических станций в исследовании

Table 1

Location of selected meteorological stations in the study

ID	Метеорология станцияси	Координаталар			ID	Метеорология станцияси	Координаталар		
		кеңглик, °N	узунлик, °E	Денгиз сатҳига нисбатан баландлик, м			кеңглик, °N	узунлик, °E	Денгиз сатҳига нисбатан баландлик, м
Тоғ					Воҳа				
1	Мингчуқур	38,6500	66,9333	2077	9	Даҳбет	39,7500	66,9170	646
2	Бойсун	38,2000	67,1830	1220	10	Шаҳрисабз	39,0066	66,8333	628
3	Писком	41,9000	70,3670	1214	11	Дўстлик	40,4166	67,1833	520
4	Сариканда	39,9530	71,1248	1200	12	Поп	40,8833	71,0116	442
5	Бахмал	39,9333	67,4333	744	13	Бухоро	39,7666	64,4833	225
Чўл					14	Навоий	40,1164	65,1674	346
6	Оқбайтал	43,1500	64,3333	233	15	Улугнор	40,8024	71,5998	396
7	Учкудук	42,1540	63,5560	210	16	Янгийўл	41,0167	69,0050	344
8	Қорақалпоғистон	44,8500	56,333	126	17	Термиз	37,2830	67,3000	312
					18	Сирдарё	40,8170	68,6830	264
					19	Туямўйин	41,2167	61,3364	117
					20	Урганч	41,5830	60,633	98
					21	Нукус	42,4833	59,616	75

Ўзбекистон ҳудудида метеорологик қурғоқчиликни баҳолашда SPI ва SPEI индекслари, атмосфера қурғоқчилиги (АК)ни баҳолаш учун эса ТКК индекси қўлланилди.

SPI. Бу индекс 1993 йилда таклиф қилинган бўлиб [McKee et al., 1993], Жаҳон метеорология ташкилоти (WMO) томонидан муайян вақт оралиқларида намланиш даражасини ифодалаш учун тавсия этилган индекслардан биридир [WMO, 2009]. SPI куйидаги формула бўйича ҳисобланади [Уткузова и др., 2015]:

$$SPI = \pm \frac{t - (c_2t + c_1) + c_0}{[(d_3t + d_2)t + d_1]t + 1}, \tag{1}$$

бу ерда: $t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{|c - H(x)|}\right]}$ ($0 < H(x) \leq 0,5$ бўлганда $c=0$; $0,5 < H(x) < 1$ бўлганда

$c=1$); $H(x) = q + (1 - q)G(x)$ – ёгинларнинг кумулятив эҳтимоллиги, q – ноль ёгингарчилик эҳтимоллиги; $G(x)$ – гамма-функция; $c_0=2,5155$, $c_1=0,8028$, $c_2=0,0203$, $d_1=1,4327$, $d_2=0,1892$, $d_3=0,0013$.

SPEI. SPI га асосланган бу индекс 2010 йилда таклиф қилинган бўлиб (Vicente Serrano et al., 2010), қурғоқчилик ҳодисасини таҳлил қилиш учун ёгингарчилик ва потенциал эвапотранспирацияни ҳисобга олади. Индекс куйидаги ифода орқали ҳисобланади:

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1W + c_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \quad (2)$$

бу ерда: $P \leq 0,5$ бўлганда $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$, $P > 0,5$ бўлганда $W = \sqrt{-2 \ln(1-P)}$.

SPI ва SPEI индексларининг муайян қийматлар диапазонида мос келувчи қурғоқчилик даражалари 2-жадвалда келтирилган. Ихтиёрий вақт оралиғи учун қурғоқчилик мезони қуйидагича аниқланади. Индекслар қиймати манфий бўлганда ҳар доим қурғоқчилик ҳодисаси шаклланди деб қабул қилинади ва $SPI(SPEI) \leq -1,0$ бўлганда қурғоқчилик муайян жадалликка эришади. Индекслар мусбат қиймат қабул қилганида қурғоқчилик яқунланди, деб ҳисобланади. Шундай қилиб, ҳар бир қурғоқчилик ҳодисаси бошланиш ва тугаш муддатлари билан аниқланувчи давомийлик ҳамда қурғоқчилик қайд этилган ҳар бир ой (ёки ойлар) бўйича жадаллик кўрсаткичлари билан тавсифланади [McKee et al., 1993; Vicente-Serrano et al., 2010].

2-жадвал

SPI ва SPEI индекслари бўйича қурғоқчилик таснифи

Таблица 2

Классификация засухи по индексам SPI и SPEI

Table 2

Drought classification on SPI and SPEI indices

Намланиш/қурғоқчилик даражаси	SPI, SPEI
Экстремал нам	> 2
Жуда нам	$1,5 \div 1,99$
Мўътадил нам	$1,0 \div 1,49$
Меъёрга яқин	$-0,99 \div 0,99$
Мўътадил қурғоқчил	$-1,0 \div -1,49$
Кучли қурғоқчил	$-1,5 \div -1,99$
Экстремал қурғоқчил	< -2

ТГК. Бу индекс ўлчамсиз катталиқ бўлиб, қуйидаги ифода орқали ҳисобланади [Petrov and Abdullaev, 2010]:

$$K = \frac{T - \tau}{T} = \frac{\Delta}{T}, \quad (3)$$

бу ерда: K – ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометриқ коэффициентини (%), $T - \tau = \Delta$ – шудринг нуқтаси дефицити, τ – шудринг нуқтаси ҳарорати, T – ҳаво ҳарорати (Кельвин).

ТГК ҳавода сув буғининг муайян таркиби ва муайян ҳароратда унинг тўйиниш ҳолатидан қанчалик узоклигини кўрсатади. Бу коэффициент ўзгаришида ҳаво ҳарорати ва намлиги ўзгаришларининг ролини аниқлаш учун (3) ифода логарифмланади, дифференциалланади ва чекли фарқларга ўтилади [Kholmatjanov et al., 2023]:

$$\ln K = \ln\left(\frac{T - \tau}{T}\right),$$

$$\ln K = \ln(T - \tau) - \ln(T),$$

$$\frac{dK}{K} = \frac{dT - d\tau}{T - \tau} - \frac{dT}{T},$$

$$\frac{dK}{K} = \frac{\tau dT - T d\tau}{T(T - \tau)},$$

$$\frac{dK}{K} = \frac{\tau dT}{T(T-\tau)} - \frac{d\tau}{T-\tau},$$

$$\left. \frac{\Delta K}{K} \right|_{T=const} = - \frac{\Delta \tau}{T-\tau}, \tag{4}$$

$$\left. \frac{\Delta K}{K} \right|_{\tau=const} = \frac{\tau \Delta T}{T(T-\tau)}. \tag{5}$$

(4) тенгламага кўра, ҳаво ҳарорати ўзгармас шароитда шудринг нуқтаси ҳароратининг ортиши ҳаво қуруқлигини камайтиради, (5) тенгламага мувофиқ шудринг нуқтаси ҳарорати ўзгармас бўлганда ҳароратнинг ортиши ҳаво қуруқлигининг ортишига олиб келади.

Табиий шароитларда, совуқ кутб ва иссиқ чўл минтақаларида, мазкур коэффициент 0 дан 150%о гача диапазонда ўзгариши мумкин [Petrov and Abdullaev, 2010]. Ўзбекистоннинг турли табиий географик шароитлари (тоғ, воҳа, чўл) учун ҳаво ҳарорати, сув буғи босими ва ТГК ўртасидаги боғлиқликни чуқур таҳлил қилиш асосида тегишли ТГК қийматлари учун аниқланган АҚ мезонлари қуйидаги чегараларга эга: кучсиз АҚ – 76-90%о чегараларида; мўътадил АҚ – 91-105%о; кучли АҚ – 106-120%о; ўта кучли (экстремал) АҚ – 120%о дан ортиқ. Ҳавонинг муайян ҳароратларида АҚ жадаллигининг бу даражалари сув буғи босими, тўйиниш босими дефицити, шудринг нуқтаси ҳарорати ва нисбий намлик ўзгаришларининг қуйидаги диапазонлари билан тавсифланади (3-жадвал) [Петров ва бошк., 2021].

3-жадвал

Ҳаво ҳарорати ва атмосфера қурғоқчилигининг турли даражаларида сув буғи босими (Δe), босим дефицити (Δd), шудринг нуқтаси ҳарорати ($\Delta \tau$) ва нисбий намлик (f)нинг ўзгариш диапазонлари

Таблица 3

Диапазоны изменения парциального давления водяного пара (Δe), дефицита давления (Δd), температуры точки росы ($\Delta \tau$) и относительной влажности (f) при разных температурах воздуха и степенях атмосферной засухи

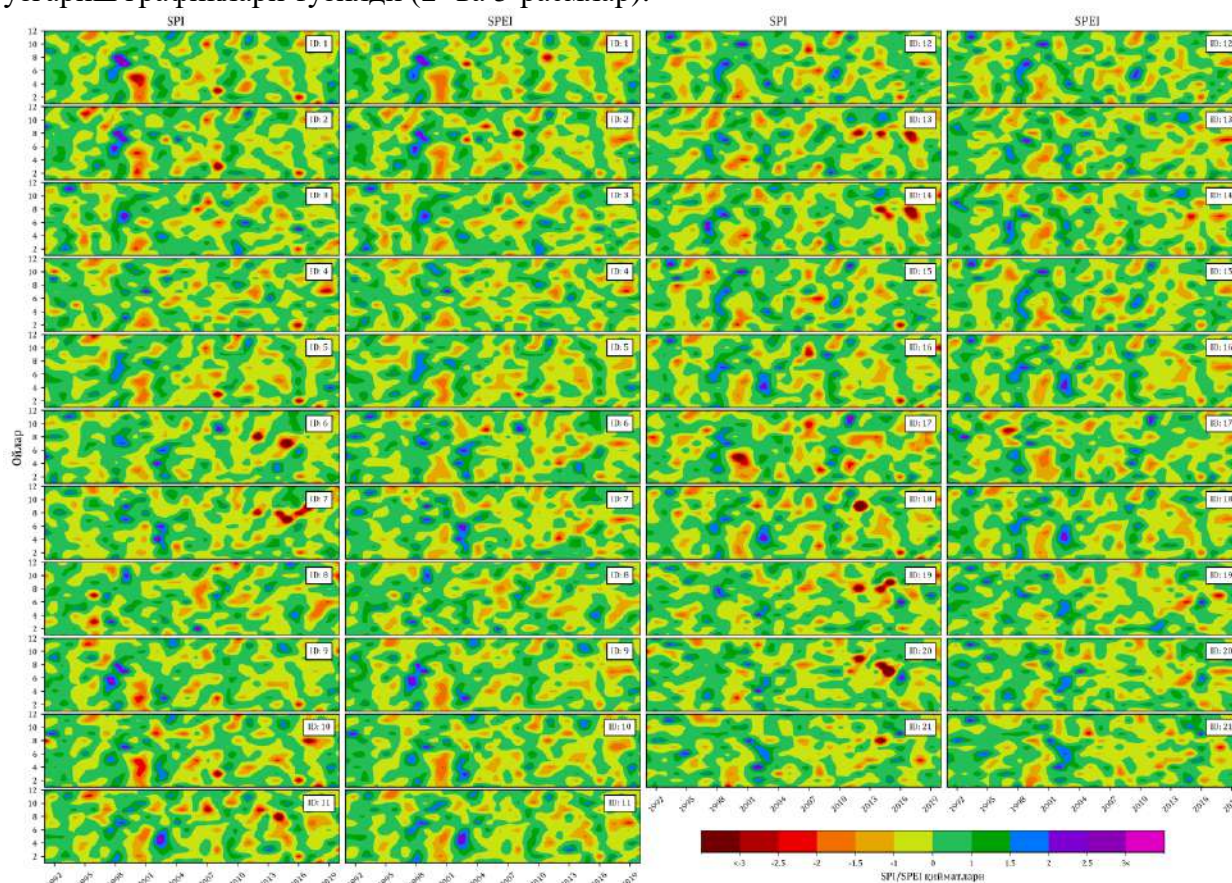
Table 3

Changes in vapor pressure (ΔVP), moisture deficit (ΔEd), dew point temperature ($\Delta \tau$), and relative humidity (RH) at different air temperatures and intensity of atmospheric drought (ΔK)

ΔK (%)	t (°C)	Δe (гПа)	Δd (гПа)	$\Delta \tau$ (°C)	f (%)
76-90	25	7,5 ÷ 5,3	24 ÷ 26	3,1 ÷ -2,0	24
	30	10,2 ÷ 7,6	31 ÷ 35	7,3 ÷ 3,2	24
	35	13,7 ÷ 10,3	43 ÷ 46	11,7 ÷ 7,4	25
	40	18,9 ÷ 13,8	55 ÷ 60	16,5 ÷ 11,8	26
91-105	25	5,2 ÷ 3,8	37 ÷ 30	-2,1 ÷ -6,3	17
	30	7,6 ÷ 5,3	36 ÷ 38	3,1 ÷ -2,0	18
	35	10,1 ÷ 7,7	47 ÷ 50	7,1 ÷ 3,2	18
	40	13,7 ÷ 10,2	61 ÷ 64	11,8 ÷ 7,2	19
91-105	25	-	-	-	-
	30	5,2 ÷ 3,8	39 ÷ 42	-1,8 ÷ -6,4	14
	35	7,4 ÷ 5,3	51 ÷ 53	3,3 ÷ -1,9	14
	40	10,0 ÷ 7,5	65 ÷ 67	7,1 ÷ 3,4	14
> 120	25	-	-	-	-
	30	< 3,8	> 42	< -6,4	10
	35	< 5,3	> 53	< -1,9	9
	40	< 7,5	> 67	< 3,4	10

SPI ва SPEI индекслари R-statistical дастурий таъминоти базасида мавжуд “spi 1.1” ва “SPEI” дастурлари, ТГК индекси эса муаллифлар томонидан ишлаб чиқилган алгоритм асосида Python дастурий таъминоти воситасида ҳисобланди.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Бутун Ўзбекистон учун 1991-2020 йй. даврида метеорологик қурғоқчилик тақсимооти SPI ва SPEI индекслари асосида ҳисобланди ҳамда чўл, воҳа ва тоғли минтақаларда жойлашган 21 та метеорология станциялари худуди учун намланиш шароитларининг вақт давомидаги ўзгариш графиклари тузилди (2- ва 5-расмлар).



2-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 1 ойлик SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариши (1991-2020 йй.)

Изоҳ: Станция ID рақамлари 1-жадвалдаги тартибга мос.

Рис. 2. Временное изменение месячных индексов SPI и SPEI на выбранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

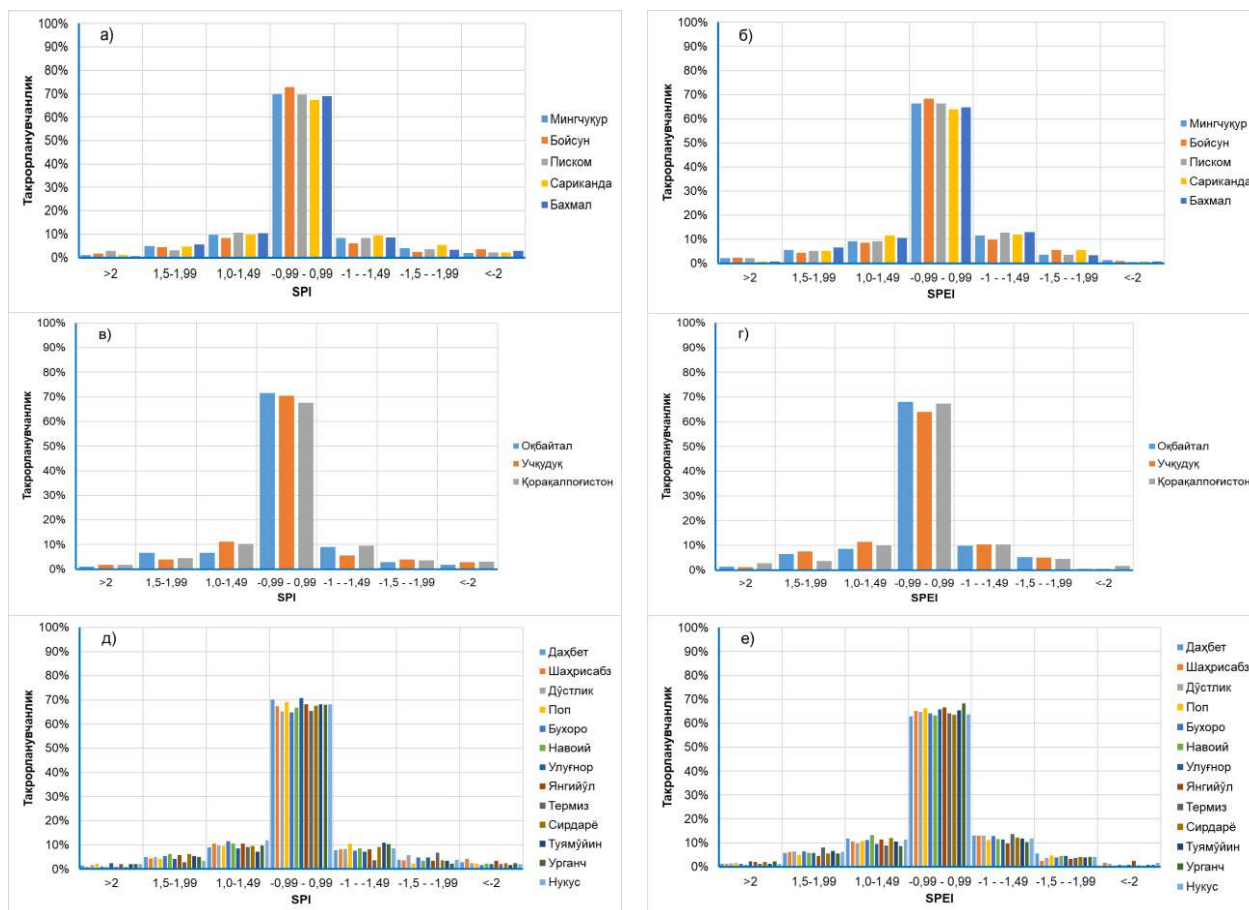
Примечание: ID номера станций соответствуют порядку, указанному в Таблице 1.

Fig. 2. Temporal change of monthly SPI and SPEI indices at selected stations of Uzbekistan (1991-2020)

Note: Station ID numbers correspond to the order given in Table 1.

2-расмда келтирилган маълумотлар асосида 1 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича нам ва қуруқ келган йиллар ажратиб олинди. Ўзгариш графикларининг кўрсатишича, SPI индекси бўйича қайд этилган қурғоқчилик кузатилган даврлар тақсимооти SPEI индексидан ҳам сақланиб қолишига қарамай, SPEI индекси бўйича қурғоқчиликнинг экстремал даражаси ҳар доим ҳам кузатилмайди. Ўрганилган станцияларда 1 ойлик SPI ва SPEI

индекслари таққосланганда 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Ҳар икки индекслар бўйича экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги 1,0-3,0% ни ташкил этган. 1 ойлик SPI индексида экстремал қурғоқчилик шароитлари ҳам 1,0-3,0% чегараларида қайд этилган бўлса, SPEI индексида бу кўрсаткич камроқ, яъни 0-1,0% ни ташкил этган (3-расм).



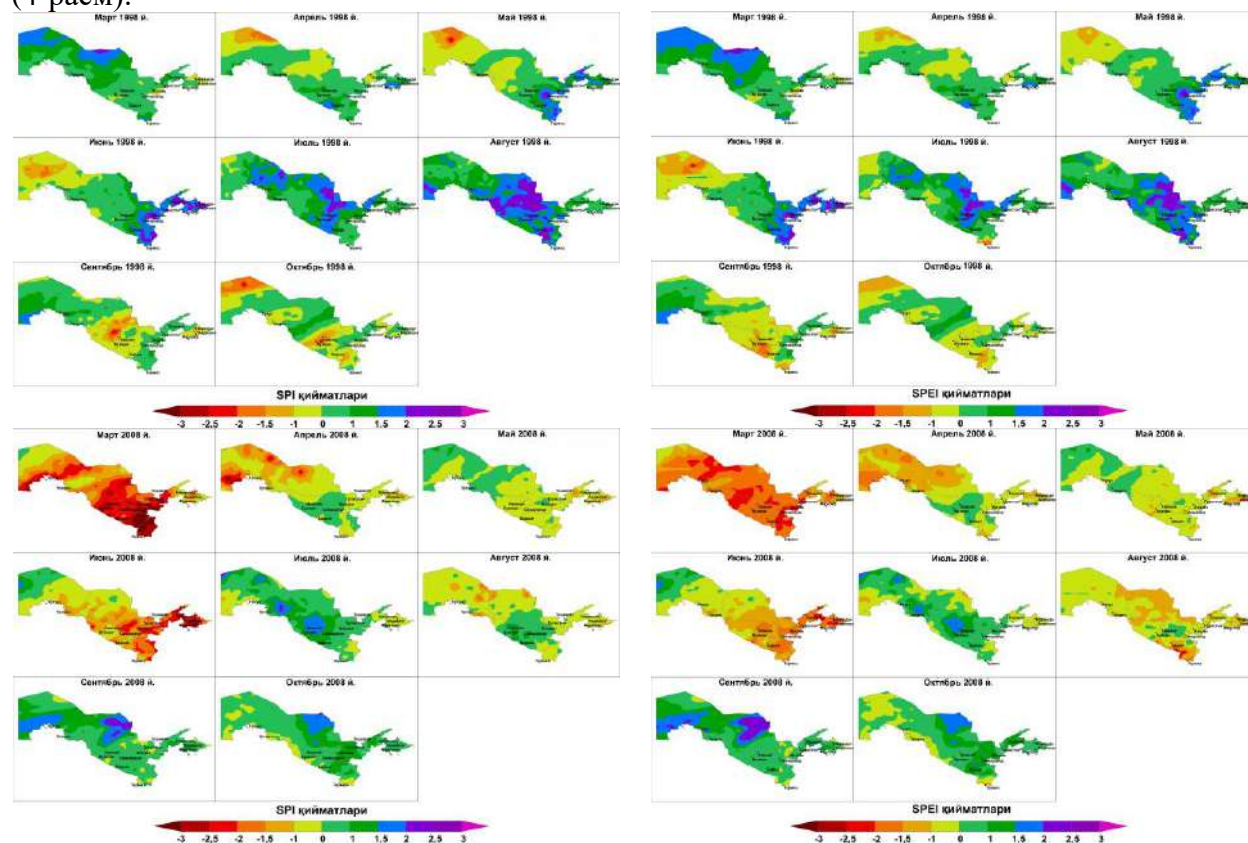
3-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 1 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича намланиш даражаларининг такрорланувчанлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 3. Повторяемость степени увлажненности по месячным индексам SPI и SPEI на выбранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 3. Frequency of humidity levels according to monthly SPI and SPEI indices at selected stations in Uzbekistan (1991-2020)

Ишда Ўзбекистон ҳудуди бўйича нам келган 1998 йил ва қурғоқчил йиллар каторидан 2008 йил учун 1 ойлик SPI ва SPEI индекслари тақсимоат карталари тузилди (4-расм). Расмдан кўриниб турибдики, нам 1998 йилнинг баҳор-ёз мавсумларида шимолий ҳудудлардан ташқари барча ҳудудлар бўйлаб меъёрдан юқори намланиш қайд этилган бўлса, сентябрда Марказий Қизилқум ва Фарғона водийсининг марказий қисмида, октябрда эса республика шимоли, Марказий Қизилқум ва жанубий вилоятларда кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик шароитлари шаклланган. Қурғоқчил 2008 йилнинг март-апрель (SPI ва SPEI) ва июнь (SPI) ойларида деярли бутун республика бўйлаб мўътадилдан экстремалгача жадалликдаги қурғоқчилик кузатилган. Мазкур йилнинг июль, сентябрь ва октябрь ойларида Жанубий Оролбўйи ва Шимолий Қизилқумда намланиш меъёрдан

юқори бўлган. Қолган ойларда эса меъёр атрофидаги намланиш шароитлари қайд этилган. Шундай қилиб, тадқиқотда қамраб олинган 30 йиллик даврда нам ёки қурғоқчил келган йилларда бутун Ўзбекистон бўйлаб намланиш даражаси бир хил тақсимотга эга эмас. Масалан, жанубда нам келган 1998 йилда апрель-июнь ва октябрь шимолда, сентябрь ва октябрда эса республикамизнинг марказий қисми – Қизилқумда қурғоқчил бўлган (4-расм).



4-расм. Ўзбекистон ҳудудида нам 1998 йил ва қурғоқчил 2008 йилда 1 ойлик SPI ва SPEI индексларининг тақсимоти

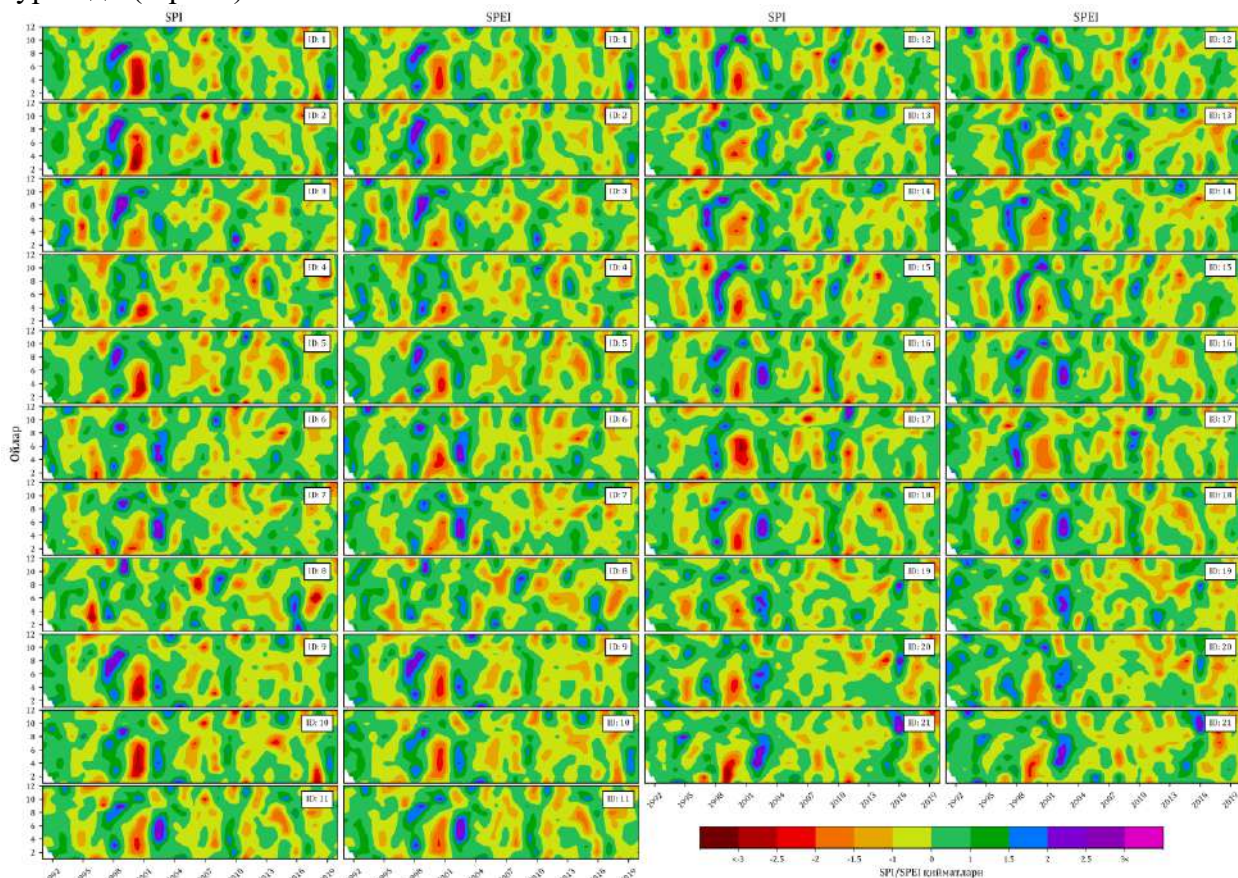
Рис. 4. Распределение месячных индексов SPI и SPEI на территории Узбекистана во влажном 1998 году и сухом 2008 году

Fig. 4. Distribution of monthly SPI and SPEI indices in Uzbekistan in wet 1998 and dry 2008

3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариши ўрганилганда, тақсимот майдонларининг 1 ойлик кўрсаткичларга нисбатан каттароқ мувофиқликка эга эканлиги яққол кўринади (5-расм). Табиийки, SPI ва SPEI индекслари 3 ойлик давр учун ёғин меъёрлари бўйича ҳисобланганда, ўртачалаштириш ҳисобига мувофиқликнинг ортиши кузатилади. Вақт давомида ўзгариш графикларининг кўрсатишича, 1 ойлик индексларда бўлгани каби, SPI индекси бўйича қайд этилган қурғоқчилик кузатилган даврлар тақсимоти SPEI индексида ҳам сақланиб қолади (5-расм). Бироқ SPEI индекси бўйича қурғоқчилик даражалари бироз кичикроқ қийматларни кўрсатди.

3 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича ҳам мос равишда тоғ, чўл ва воҳа ҳудудларидан танлаб олинган Бахмал, Учқудуқ ва Навоий станцияларида 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги Бахмалда ёз ва куз ойларида, Учқудуқда баҳор ва куз

ойларида 2,0-3,0% ни ташкил этган. Таъкидлаш жоизки, Навоийда бу даражадаги намланиш шароитлари қайд этилмаган. Экстремал даражадаги қурғоқчилик шароитлари 3 ойлик SPI индекси бўйича Бахмалда қиш ва баҳор ойларида, Учқудукда куз ойларида 2,0-3,0% такрорланувчанликка эга. Навоийда қиш ва куз ойларида мос равишда 3,0-7,0% ҳолатларда экстремал даражада қурғоқчилик шароитлари қайд этилган. SPEI индекси тақсимои экстремал даражадаги қурғоқчилик бу станцияларда кузатилмаганлигини кўрсатди (6-расм).



5-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариши (1991-2020 йй.)

Изоҳ: Станция ID рақамлари 1-жадвалдаги тартибга мос.

Рис. 5. Временное изменение 3-месячных индексов SPI и SPEI на выбранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

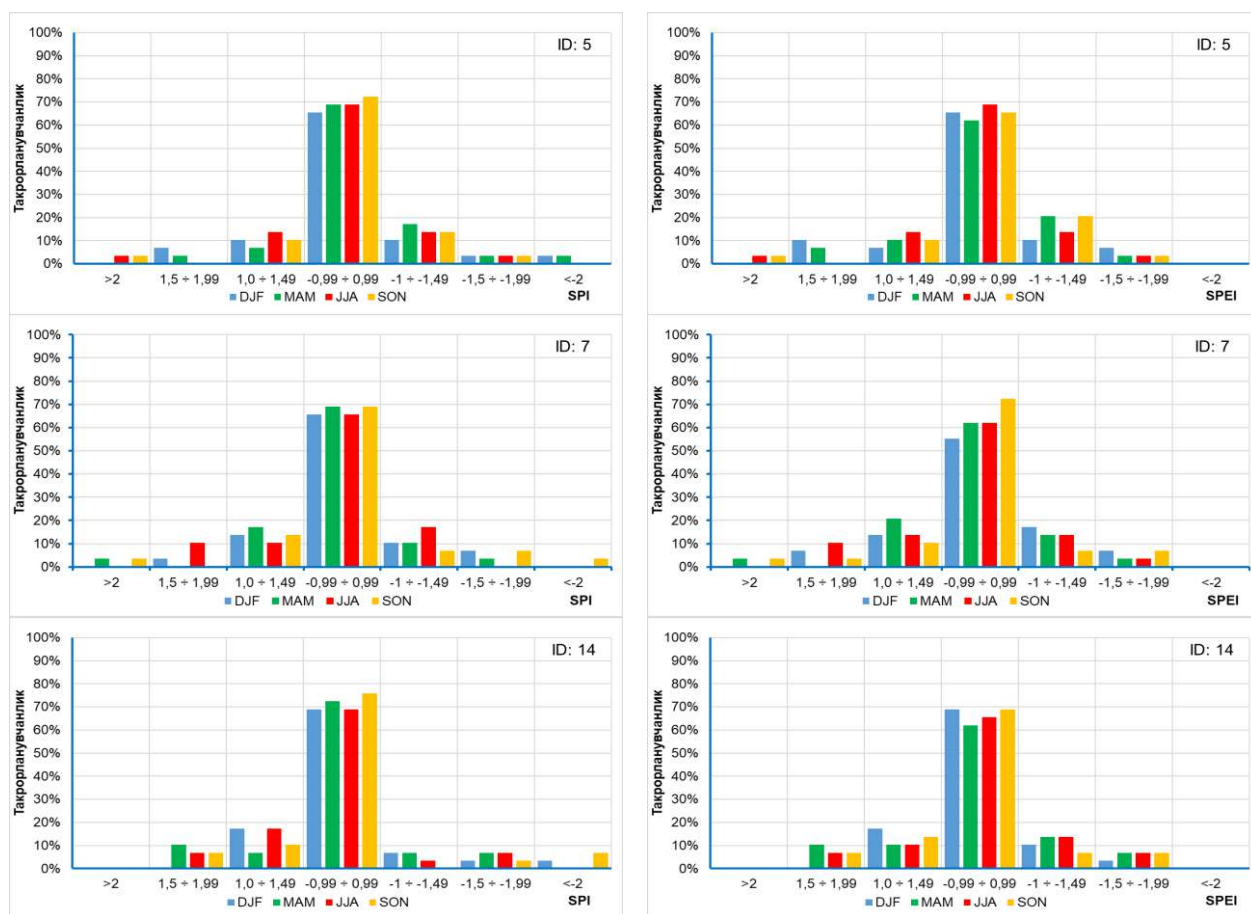
Примечание: ID номера станций соответствуют порядку, указанному в Таблице 1.

Fig. 5. Temporal change of 3-month SPI and SPEI indices at selected stations of Uzbekistan (1991-2020)

Note: Station ID numbers correspond to the order given in Table 1.

Ўзбекистон ҳудудида нам 1998 йил ва қурғоқчил 2008 йил учун тадқиқ этилаётган ҳудудда ERA5 маълумотлари асосида тузилган 3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг тақсимои карталари тузилди (7-расм). Нам йиллар қаторига кирувчи 1998 йилнинг қиш ва ёз мавсумларида Қорақалпоғистоннинг ғарбий ҳудудларидан ташқари Ўзбекистоннинг барча ҳудудларида меъёрдан юқори намланиш қайд этилган. Баҳорда мамлакатимизнинг тоғли ҳудудларида кучли, қолган ҳудудларда эса мўътадил ва кучсиз намланиш устуворлик

қилган. Куз мавсумида республикамизнинг катта қисмида кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик, Қизилқум чўлининг жанубида экстремал қурғоқчилик, Фарғона водийси, Тошкент, Сирдарё ва Жиззах вилоятларининг муайян ҳудудларида эса мўътадил намланиш шароитлари кузатишган. 2008 йилнинг қиш ва баҳор мавсумларида мамлакат ҳудуди мўътадилдан экстремалгача бўлган қурғоқчилик шароитлари, ёз мавсуми кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик, куз эса кучсиз намланиш билан тавсифланади. Нам бўлган йиллар қаторига кирувчи 1998 йилнинг қиш, баҳор ва ёз мавсумларида Ўзбекистон маркази ва жанубида, ёзда Фарғона водийсида меъёрдан юқори намланиш, куз мавсумида эса кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик қайд этилган. 2008 йилнинг қиш ва куз мавсумлари бутун республика ҳудуди меъёрга яқин намланиш билан тавсифланган. SPEI индекси тақсимоти бўйича фақат қиш мавсумида Хоразм вилояти ва Қизилқум чўли ғарбида жуда нам шароитлар кузатишган. 3 ойлик SPI ва SPEI индекслари тақсимотида баҳор мавсумида аксарият ҳудудларда экстремал даражадаги қурғоқчилик шароитлари қайд этилган. Бу йилнинг ёз мавсумида Ўзбекистоннинг ғарбий текислик қисмида меъёрга яқин намланиш устуворлик қилса, Фарғона водийси ҳамда Сурхондарё ва Қашқадарё вилоятлари экстремал қурғоқчилик шароитлари билан тавсифланади (7-расм).

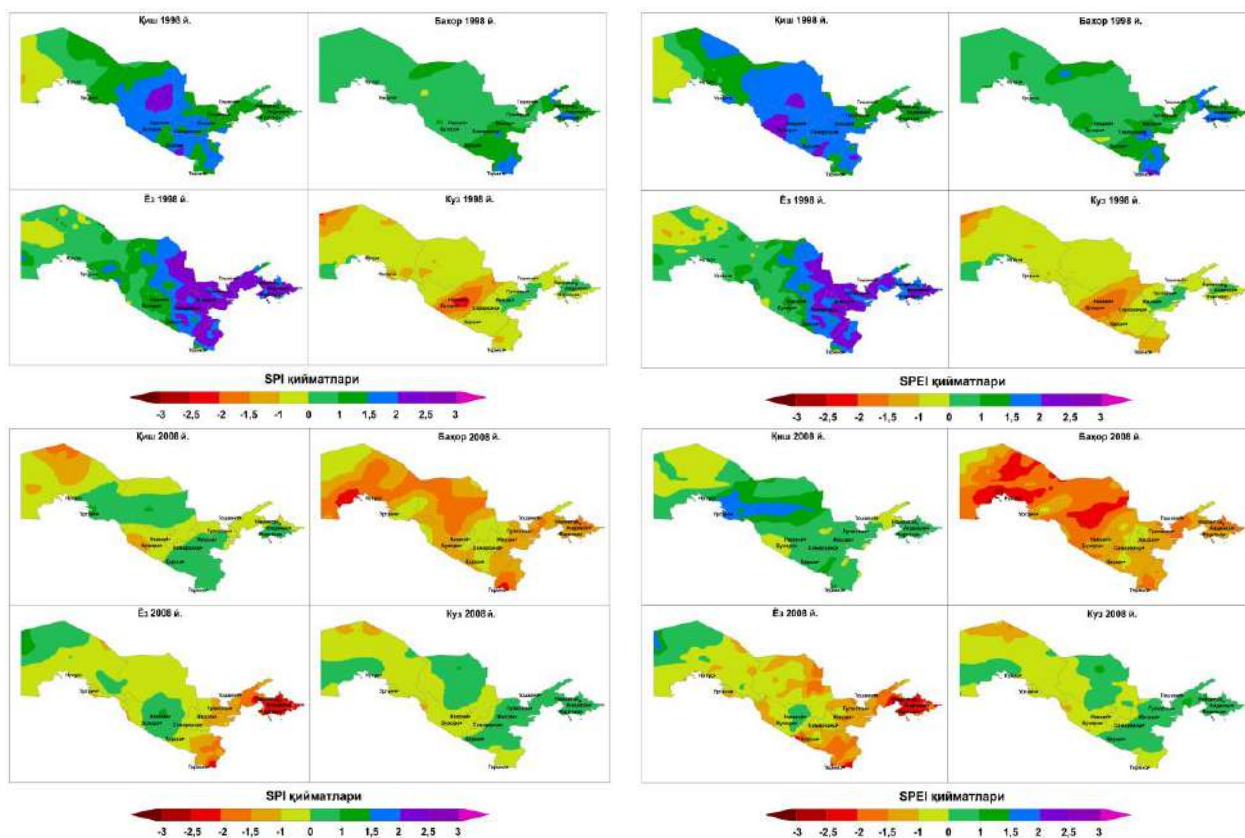


6-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 3 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича намланиш даражаларининг такрорланувчанлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 6. Повторяемость степени увлажненности по 3-месячным индексам SPI и SPEI на избранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 6. Frequency of humidity levels according to 3-month SPI and SPEI indices at selected stations in Uzbekistan (1991-2020)

Ўзбекистон худуди учун ТКК индекси асосида ҳисобланган АҚ тақорланувчанлиги ва давомийлиги тақсимотлари мос равишда 8- ва 9-расмларда келтирилган. Барча даражадаги АҚ кўп йиллик ўртача ойлик тақорланувчанлиги аксарият ҳолларда 2 та ҳолатдан ортмайди. Кучсиз АҚ нинг ойлик 3 тагача ҳолатда тақорланувчанлиги апрель-октябрь оралиғида қайд этилади. Ёз мавсумида Қорақалпоғистон Республикасининг жануби, Хоразм вилояти, Қизилқумнинг жануби-шарқий қисми, Мирзачўл ва Тошкент текислигида кучсиз АҚ нинг тақорланувчанлиги 4 та ҳолатгача ортади, Қашқадарё вилоятида эса 5 тагача ҳолатлар қайд этилган (8-расм).



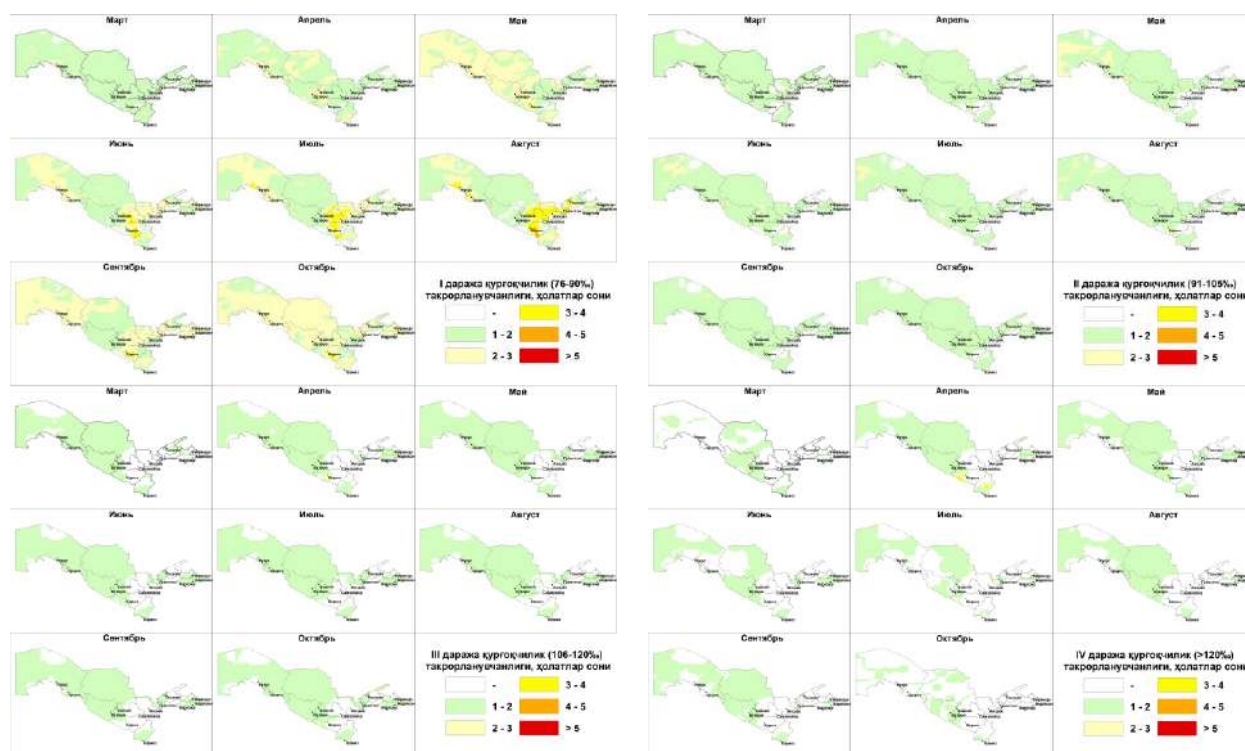
7-расм. Ўзбекистон худудида нам 1998 йил ва қурғоқчил 2008 йилда 3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг тақсимоти

Рис. 7. Распределение 3-месячных индексов SPI и SPEI на территории Узбекистана во влажном 1998 году и сухом 2008 году

Fig. 7. Distribution of 3-month SPI and SPEI indices in Uzbekistan in wet 1998 and dry 2008

Вегетация даврида кучсиз АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги республиканинг аксарият худудларида 5 кундан ортмайди (9-расм). Бироқ ёз ойларида Оролбўйи худудлари, Хоразм вилояти, Қизилқумнинг жануби-шарқий қисмлари, Сурхондарё, Мирзачўл, Тошкент текислиги ва Фарғона водийсида унинг давомийлиги 15 кунгача ортса, Қашқадарё вилоятининг айрим худудларида 20 кунгача давомийликка эга. Мўътадил АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги март ва апрелда республика бўйлаб 5 кундан ортмайди. Майда бутун Қизилқум, Оролбўйи ва Сурхондарёнинг жанубий худудларида мўътадил АҚ нинг давомийлиги 10 кунгача ортади, қолган худудларда 5 кунгача бўлган давомийлик сақланиб қолади. Ёз мавсумида

АҚ бу даражасининг давомийлиги ортиб, Оролбўйи худудининг катта қисми, Хоразм вилояти, Қизилқум чўли, Сурхондарё вилояти ва Фарғона водийсида унинг давомийлиги 15 кунгача этади. Июнь ва июлда Қашқадарё вилоятининг айрим қисмларида мўътадил АҚ 20 кунгача давом этади. Куз ойларига келиб давомийлик кўрсаткичлари камаю бошлайди ва республиканинг аксарият худудларида 5-10 кундан ортмайди. Бироқ, сентябрда Қашқадарё вилоятининг айрим чўл худудларида 15 кунгача давомийлик сақланиб қолади. Ўзбекистон худудида кучли АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги тақсимооти март-апрель ойларида АҚ бу даражасининг давомийлиги бутун Ўзбекистон бўйлаб 5 кундан ортмаслигини кўрсатди. Май-сентябрь оралиғида Устюрт, Марказий Қизилқум ва Сурхондарё вилоятининг жанубида кучли АҚ нинг давомийлиги 10 кунгача ортса, ёз ойларида Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим худудларида 15 кунгача давом этади. Сентябрга келиб давомийлик кўрсаткичлари камаю бошлайди, у фақатгина Марказий ва Жануби-шарқий Қизилқум ва Сурхондарё вилоятининг жанубида 10 кунгача, қолган худудларда 5 кунгача камаюди. Октябрга келиб кучли АҚ нинг давомийлиги Ўзбекистон бўйлаб 5 кунни ташкил этади.



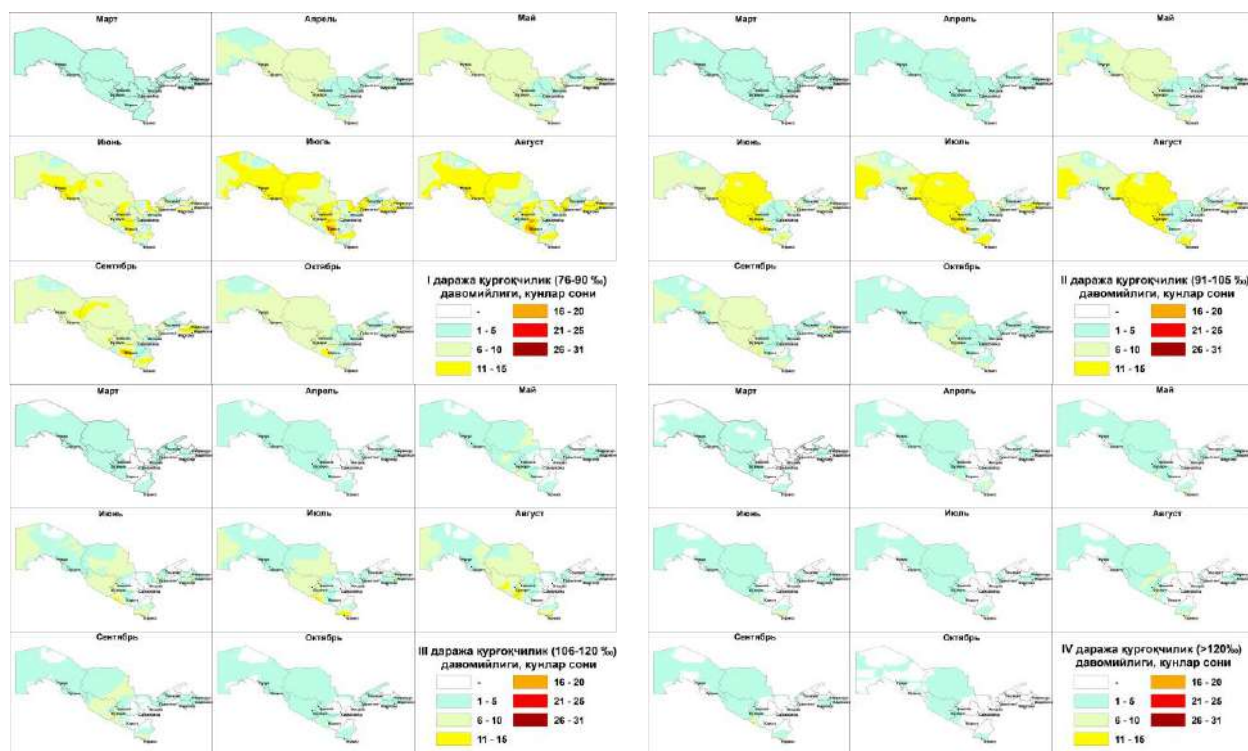
8-расм. Ўзбекистон ҳудудида ТГК индекси бўйича атмосфера қурғоқчилиги даражаларининг тақрорланувчанлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 8. Повторяемость степеней атмосферной засухи по индексу ТГК на территории Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 8. Frequency of atmospheric drought levels according to the THC index in the territory of Uzbekistan (1991-2020)

Экстремал АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик тақсимооти йил давомида унинг давомийлиги бутун Ўзбекистон бўйлаб 5 кундан ортмаслигини кўрсатди. Апрельдан сентябргача бўлган даврда экстремал АҚ фақат Навоий, Бухоро, Қашқадарё ва

Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларида қайд этилган. Таъкидлаш жоизки, суғорма деҳқончилик олиб бориладиган воҳа ҳудудларида кучли ва экстремал АҚ кузатилмаган (9-расм).



9-расм. Ўзбекистон ҳудудида ТГК индекси бўйича атмосфера қурғоқчилиги даражаларининг давомийлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 9. Продолжительность степеней атмосферной засухи по индексу ТГК на территории Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 9. Duration of atmospheric drought levels according to the THC index in the territory of Uzbekistan (1991-2020)

Хулоса. Бажарилган тадқиқот натижаларига асосланиб қуйидаги хулоса ва тавсияларни бериш мумкин.

1. Тадқиқотда камраб олинган 30 йиллик даврда нам ёки қурғоқчил келган йилларда бутун Ўзбекистон бўйлаб намланиш даражаси бир хил тақсимотга эга эмас. SPI ва SPEI индексларининг 1 ва 3 ойлик қийматлари бўйича қурғоқчилик кузатилган даврлар тақсимоти ўзаро яқин эканлигига қарамай, SPEI индекси бўйича қурғоқчиликнинг экстремал даражаси ҳар доим ҳам кузатилмайди. Ҳар икки индекс бўйича қиёслаш бажарилган станцияларда 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги 1,0-3,0% ни ташкил этади. 1 ойлик SPI индексиди экстремал қурғоқчилик шароитлари 1,0-3,0% чегараларида қайд этилса, SPEI индексиди бу кўрсаткич камроқ, 0-1,0% ни ташкил этган. 3 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича ҳам 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги 2,0-3,0% ни ташкил этган. Навоийда бу даражадаги намланиш шароитлари қайд этилмаган. Экстремал даражадаги қурғоқчилик 3 ойлик SPI индекси бўйича Бахмалда киш ва баҳор ойларида,

Учкудукда куз ойларида 2,0-3,0% такрорланувчанликка эга. Навоийда қиш ва куз ойларида мос равишда 3,0-7,0% атрофида экстремал даражада курғоқчилик шароитлари қайд этилган. SPEI индекси тақсимоти экстремал даражадаги курғоқчилик бу станцияларда кузатилмаганлигини кўрсатди.

2. Вегетация даврида кучсиз АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги республиканинг аксарият ҳудудларида 5 кундан ортмайди. Ёз ойларида кучсиз АҚ республиканинг бир қатор ҳудудларида 15-20 кунгача давомийликка эга. Мўътадил АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги баҳор ва куз ойларида республика бўйлаб 5-10 кундан ортмайди, ёзда эса 15-20 кунни ташкил этади. Кучли АҚ март-апрель ойларида Ўзбекистон бўйлаб 5 кун, май-сентябрь оралиғида Устюрт, Марказий Қизилқум ва Сурхондарё вилоятининг жанубида 10 кунгача, ёз ойларида Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларда 15 кунгача давом этади. Октябрга келиб АҚ бу даражасининг давомийлиги Ўзбекистон бўйлаб 5 кунни ташкил этади. Экстремал АҚ нинг давомийлиги бутун Ўзбекистон бўйлаб 5 кундан ортмайди. Апрельдан сентябргача бўлган даврда экстремал АҚ фақат Навоий, Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларида қайд этилади. Суғорма деҳқончилик олиб бориладиган воҳа ҳудудларида кучли ва экстремал АҚ кузатилмайди. Бу ҳолат, катта эҳтимоллик билан, суғориш ишларининг сиртдан буғланиш ва ҳаво намлигига ижобий таъсири билан изоҳланади. Бу таъсирни миқдорий баҳолаш навбатдаги тадқиқотларда амалга оширилади.

3. Ёғинлар миқдори кам бўлган суғорма деҳқончилик юритиладиган минтақаларда SPI ва SPEI индексларидан фойдаланишнинг содда ва қулайлиги курғоқчиликни баҳолашда уларнинг оптимал эканлигини аниқламайди. Бу индекслар энг ками 1 ойлик вақт масштаби учун ҳисобланиб, ёғинлар миқдорининг ҳисоб даври ичидаги тақсимотини инобатга олмайди. Шу сабабли, ҳарорат ва намлик режимининг қисқа вақт оралиқларида қишлоқ хўжалиги экинларининг физиологик ҳолатига таъсирини эътиборга олувчи ТГК индексидан ҳам фойдаланиш тавсия этилади.

Миннатдорлик. Тадқиқот Инновацион ривожланиш агентлигининг молиявий кўмагида бажарилаётган АЛ-5721122072 «Қишлоқ хўжалиги, сув ва энергия ресурсларини барқарор ривожлантириш учун ер усти кузатувлари ва геостационар метеорологик сунъий йўлдошлардан олинган куёш радиацияси маълумотларидан комплекс фойдаланиш» лойиҳаси доирасида амалга оширилди.

Муаллифлар ҳиссаси. **Б.М. Холматжанов:** мақола ғояси, раҳбарлик, натижалар таҳлили. **И.М. Махмудов, Ф.Б. Сафаров, С.У. Бегматов:** маълумотлар базасини шакллантириш, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш, мақолани расмийлаштириш. **Д.Ў. Ярашев:** SPI ва SPEI индексларини ҳисоблаш, натижалар таҳлили, карталаштириш. **Э.Ю. Рахимов:** SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариш графикларини тузиш, натижалар таҳлили. **Д.Б. Истамов:** SPI, SPEI ва ТГК индексларини ҳисоблаш дастурини ёзиш, ТГК индексини ҳисоблаш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розилигини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Бабушкин Л.Н., Когай Н.А. Физико-географическое районирование Узбекской ССР // Научные труды ТашГУ, вып. 231, 1964. – 245 с.

Уткузова Д.Н., Хан В.М., Вильфанд Р.М. Статистический анализ эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ // Оптика атмосферы и океана, 28, № 1, 2015. – С. 66-79.

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

Ault T.R. On the essentials of drought in a changing climate // Science, 2020. 368(6488). – P. 256-260. doi:10.1126/science.aaz5492.

Baudoin M-A., Vogel C., Nortje K., Naik M. Living with drought in South Africa: lessons learnt from the recent El Niño drought period // International Journal of Disaster Risk Reduction, 2017. 23: 128–137.

Brunner M.I., Tallaksen L.M. Proneness of European catchments to multiyear streamflow droughts // Water Resources Research, 2019. 55(11), 8881–8894, doi:10.1029/2019wr025903.

Cavus Y., Stahl K., Aksoy H. Drought intensity–duration–frequency curves based on deficit in precipitation and streamflow for water resources management // Hydrology and Earth System Sciences, 2023. 27: 3427–3445. <https://doi.org/10.5194/hess-27-3427-2023>, 2023.

Danandeh Mehr A., Vaheddoost B. Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey // Theoretical and Applied Climatology, 2020. 139: 1531–1542. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03071-9>

Debele S.E., Kumar P., Sahani J. et al. Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases // Environmental Research, 2019. 179, B, 108799. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108799>

Faye Ch. Comparative analysis of meteorological drought based on the SPI and SPEI indices // HighTech and Innovation Journal, 2022. 3: 15–27. <http://dx.doi.org/10.28991/HIJ-SP2022-03-02>

García-Herrera R., Díaz J., Trigo R.M., et al. A review of the European summer heat wave of 2003 // Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2010. 40: 267–306.

Garreaud R.D., Boisier J.P., Rondanelli R. et al. The central Chile mega drought (2010–2018): A climate dynamics perspective // International Journal of Climatology, 2020. 40(1): 421–439.

Hasan N.A., Dongkai Y., Al-Shibli F. SPI and SPEI drought assessment and prediction using TBATS and ARIMA Models, Jordan // Water, 2023.15: 3598. <https://doi.org/10.3390/w15203598>

Hobbins M., Wood A., Streubel D., Werner K. What drives the variability of evaporative demand across the conterminous United States? // J. Hydrometeorol, 2012. 13: 1195–1214. doi:10.1175/JHM-D-11-0101.1.

Hulme M. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973–1998 // Global Environmental Change, 2001.11(1): 19–29.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 p. doi:10.1017/9781009157896.

Kholmatjanov B.M., Abdulakhatov E.I., Begmatov S.U. et al. Bioclimatic conditions of the classic tourist route Tashkent-Samarkand-Bukhara-Khiva in Uzbekistan // WSEAS Transactions on environment and development, 2023.19: 1255–1275. DOI: 10.37394/232015.2023.19.114

Kimaiyo J.J., Mati B.M., Sang J.K., et al. Assessment of drought trends in the Upper Ewaso Ng'iro River Basin using the SPI and SPEI // Water Practice & Technology, 2023. 18(8): 1863-1879. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.122>

Liang E., Liu X., Yuan Y. et al. The 1920s drought recorded by tree rings and historical documents in the semi-arid and arid areas of northern China // Climatic Change, 2006. 79(3): 403–432.

Lloyd-Hughes B. The impracticality of a universal drought definition // Theoretical and Applied Climatology, 2014. 117(3–4), 607–611, doi:10.1007/s00704-013-1025-7.

Masante D., McCormick N., Vogt J.V. et al. 2018 – Drought and Water Crisis in South Africa. Joint Research Centre Technical Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. 31. <https://www.preventionweb.net/publications/view/58327>.

- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J.* The Relationship of drought frequency and duration to time scales / Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- McVicar T.R., Roderick M.L., Donohue R.J., Li L.T., Van Niel T.G., Thomas A. et al.* Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. // *J. Hydrol.* 2012. 416–417, 182–205. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.024.
- Muller M.* Cape Town's drought: don't blame climate change // *Nature*, 2018. 559: 174–176. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05649-1>
- Nguyen H., Wheeler M.C., Otkin J.A. et al.* Using the evaporative stress index to monitor flash drought in Australia // *Environmental Research Letters*, 2019. 14(6): 064016.
- Nicholson S.E.* A detailed look at the recent drought situation in the Greater Horn of Africa // *Journal of Arid Environments*, 2014. 103: 71–79.
- Ojha Sh.Sh., Singh V., Roshni T.* Comparison of meteorological drought using SPI and SPEI // *Civil Engineering Journal*, 2021. 7(12): 2130–2149. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2021-03091783>
- Oney M., Anli A.* Regional drought analysis with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI): Gediz Basin, Turkey // *Journal of Agricultural Sciences*, 2023. 29(4): 1032-1049. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1030782>
- Pei Z., Fang S., Wang L., Yang W.* Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in Inner Mongolia, China // *Water*, 2020. 12(7):1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Peng J., Muller J.-P., Blessing S. et al.* Can we use satellite-based FAPAR to detect drought? // *Sensors*, 2019. 19: 3662. <https://doi.org/10.3390/s19173662>, 2019.
- Peng Y., Peng T., Li Y.* Spatiotemporal characteristics of drought in northwest China based on SPEI analysis // *Atmosphere*, 2023. 14: 1188. <https://doi.org/10.3390/atmos14071188>
- Petrov Yu.V., Abdullaev A.K.* On the problem of air dryness estimation // *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010. 35: 715–719. <https://doi.org/10.3103/S1068373910100109>
- Pyarali K., Peng J., Disse M. et al.* Development and application of high resolution SPEI drought dataset for Central Asia // *Scientific Data*, 2022. 9: 172. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01279-5>
- Schubert S.D., Suarez M.J., Region P.J., Koster R.D., Bacmeister J.T.* Causes of long-term drought in the United States Great Plains // *Journal of Climate*, 2004. 17: 485-503.
- Seager R., Hoerling M., Schubert S. et al.* Causes of the 2011–14 California drought // *Journal of Climate*, 2015. 28(18): 6997–7024.
- Sheffield J., Wood E.F., Roderick M.L.* Little change in global drought over the past 60 years // *Nature*, 2012. 491, 435–438. doi:10.1038/nature11575.
- Spinoni J., Naumann G., Vogt J.V., Barbosa P.* The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012 // *Journal of Hydrology*, 2015. 3: 509–524.
- Swain D.L., Tsiang M., Haugen M. et al.* The extraordinary California drought of 2013/2014: Character, context, and the role of climate change // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014. 95: S3–S7.
- Tomas-Burguera M. et al.* Global characterization of the varying responses of the Standardized Evapotranspiration Index (SPEI) to atmospheric evaporative demand (AED) // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2020. 125: e2020JD0330178. doi:10.1029/2020jd033017
- van Dijk A.I., Beck H.E., Crosbie R.S. et al.* The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society // *Water Resources Research*, 2023. 49: 1040–1057.
- Van Loon A.F.* Hydrological drought explained // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2015. 2: 359–392.
- Vicente-Serrano S.M.* Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region // *Natural Hazards*, 2007. 40: 173–208.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I.* A Multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index // *Journal of Climate*, 2010. 23, 1696–1718.

Wang H., He S. The North China/Northeastern Asia severe summer drought in 2014 // Journal of Climate, 2015. 28: 6667–6681.

Wilhite D., Pulwarty R. Drought as hazard: understanding the natural and social context / In: Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy, CRC Press, 2017. 3–20.

WMO (World Meteorological Organization) and GWP (Global Water Partnership). Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. 2016.

Zhang X., Duan Y., Duan J. et al. A daily drought index based on evapotranspiration and its application in regional drought analyses // Science China Earth Sciences, 2022. 65(2): 317–336. <https://doi.org/10.1007/s11430-021-9822-y>

Ziari A., Medjerab A. Impact of drought in Northeastern Algeria: comparative study of the SPI and SPEI indices // Revista De Gestão Social E Ambiental, 2024. 18(9): e06591. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n9-078>

ОЦЕНКА ЗАСУХИ В УЗБЕКИСТАНЕ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСОВ SPI, SPEI И ТЕРМОГИГРОМЕТРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА СУХОСТИ ВОЗДУХА (ТГК)

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2}, С.У. БЕГМАТОВ¹, Д.У. ЯРАШЕВ¹, И.М. МАХМУДОВ¹,
Б.Х. АХМУРАТОВА², Ф.Б. САФАРОВ³, Э.Ю. РАХИМОВ⁴, Д.Б. ИСТАМОВ⁵

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, sardor0752@gmail.com

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

³ Агентство гидрометеорологической службы, sfazizbek@gmail.com

⁴ Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, ejurakhimov@gmail.com

⁵ Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, istamov@uzsci.net

Аннотация. В исследовании использовались данные об атмосферных осадках, температуре воздуха и температуре точки росы базы данных реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Количественно оценено распределение 1- и 3-месячной метеорологической засухи на территории Узбекистана в 1991-2020 гг. на основе широко используемых в мире индексов SPI и SPEI. Полученные результаты показали, что на территории республики с различными (пустыня, оазис и горы) природно-географическими условиями степень увлажненности около нормы по этим индексам, фиксируется в случаях около 70%. Повторяемость экстремальной засухи не превышает 3,0% по 1-месячным индексам и 7,0% по 3-месячным. По индексу ТГК определено, что на территории республики преобладает преимущественно слабая и умеренная атмосферная засуха (АЗ). В период с апреля по сентябрь экстремальная АЗ фиксируется лишь в некоторых районах Навоийской, Бухарской, Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей. В оазисах, где ведется орошаемое земледелие, сильная и экстремальная АЗ не наблюдается.

Индексы SPI и SPEI рассчитываются для временного масштаба не менее 1 месяца и не учитывают распределение осадков в пределах расчетного периода. Поэтому в коротких временных интервалах рекомендуется использовать индекс ТГК для учета влияния температурно-влажностного режима на физиологическое состояние сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: засуха, количество осадков, температура воздуха, температура точки росы, ERA5, SPI, SPEI, ТГК, Узбекистан.

ASSESSMENT OF DROUGHT IN UZBEKISTAN BASED ON SPI, SPEI INDICES AND THERMOHYGROMETRIC COEFFICIENT OF AIR DRYNESS (THC)

**B.M. KHOLMATJANOV^{1,2}, S.U. BEGMATOV¹, D.U. YARASHEV¹,
I.M. MAKHMUDOV¹, B.KH. AKHMURATOVA², F.B. SAFAROV³,
E.YU. RAKHIMOV⁴, D.B. ISTAMOV⁵**

¹ Hydrometeorological Research Institute, sardor0752@gmail.com

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

³ Agency of Hydrometeorological Service, sfazizbek@gmail.com

⁴ National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, eyurakhimov@gmail.com

⁵ Institute of Physics and Technics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, istamov@uzsci.net

Abstract. *The study used data on atmospheric precipitation, air temperature and dew point temperature from the ERA5 reanalysis database of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. The distribution of 1 and 3-month meteorological drought in Uzbekistan in 1991-2020 was quantitatively estimated based on the SPI and SPEI indices, which widely used in the world. The results showed that in the territory of the republic with different (desert, oasis and mountains) natural and geographical conditions, the moisturizing level near the norm according to these indices is recorded in cases of about 70%. The repeatability of extreme drought does not exceed 3.0% for 1-month indices and 7.0% for 3-month indices. According to the THC index, it was determined that weak and moderate atmospheric drought (AD) prevails in the territory of the republic. In the period from April to September, extreme AD is recorded only in some areas of the Navoi, Bukhara, Kashkadarya and Surkhandarya regions. In oases where irrigated agriculture is carried out, severe and extreme AD is not observed.*

The SPI and SPEI indices are calculated for a time scale of at least 1 month and do not take into account the distribution of precipitation within the calculation period. Therefore, in short time intervals, it is recommended to use the THC index to take into account the effect of temperature and humidity conditions on the physiological state of agricultural plants.

Keywords: *drought, precipitation, air temperature, dew point temperature, ERA5, SPI, SPEI, THC, Uzbekistan.*

REFERENCES

Babushkin L.N., Kogay N.A. Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Uzbekskoy SSR [Physical geographical zoning of the Uzbek SSR] // Nauchniye trudi TashGU, vip. 231, 1964. – 245 s. (in Russian)

Utkuzova D.N., Han V.M., Vilfand R.M. Statisticheskiy analiz epizodov ekstremalnoy zasushlivosti i uvlajnenosti na territorii RF [Statistical analysis of extreme drought and wet conditions in Russia] // Optika atmosfery i okeana, 28, № 1, 2015. – S. 66-79. (in Russian)

Petrov Yu.V., Kholmatjanov B.M., Egamberdiev Kh.T, Ishniyazova F.A., Bukov V.A., Khaydarov M.B. Noviy podhod k klassifikatsii atmosferno y zasuhi [A new approach to the atmospheric drought classification] // Gidrometeorologiya i monitoring okruzhayushchey sredy. №1, 2021. – S. 20-36. (in Russian)

УДК 550.338

ГЕНЕРАЦИЯ ВОЛН ЖАРЫ ПЛАНЕТАРНЫМИ ВОЛНАМИ РОССИИ**М.Л. АРУШАНОВ***

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

Аннотация. Наблюдаемый положительный тренд температуры и связанный с ним рост частоты и интенсивности волн жары, обусловлен собственным колебанием атмосферы второго рода (волнами Россби), точнее говоря, взаимодействием волн Россби с струйными течениями. На широтах Центральной Азии циркумглобальные волны Россби связаны с сильно извилистым струйным течением и могут вызывать одновременные волны тепла и наводнения не только в данном регионе, но и по всему северному полушарию.

В данной статье приводится обзор работ посвящённых исследованию волн жары, генерируемой волнами Россби из-за торможения западного переноса с образованием омега-блокинга (процесс блокирования), вызывающий значительное потепление в одних областях региона и наводнения в соседних областях.

Получены характерные длины волн Россби в январе и июле для северного и южного полушарий планеты. Показано, что уравнение планетарных волн, полученное Россби, применимо только к гармоническим волнам, распространяющихся без изменения формы в линейных средах. Поскольку процессы взаимодействия волн Россби с струйными течениями существенно нелинейные, фазовая скорость волны есть функция частоты, т.е. определяющим является дисперсия скорости, а значит необходимо рассматривать групповую скорость и скорость фронта волны. Представлено уравнение дисперсии гравитационно-гироскопических волн, в высокочастотной области спектра выражающее закон дисперсии гравитационно-гироскопических волн, а в низкочастотной – закон дисперсии волн Россби.

Ключевые слова: волны Россби, струйное течение, волны тепла, омега-блокинг, западный перенос, дисперсионное уравнение.

Введение. Волны жары – это устойчивые периоды в несколько дней с температурой воздуха, превышающей её норму в данном географическом районе.

Волны жары в масштабе синоптических процессов возникают в результате формирования в атмосфере малоподвижной тёплой воздушной массы, как естественное явление атмосферных процессов. Увеличение (уменьшение) частоты возникновения волн жары связано с состоянием климатической системы, динамике которой свойственна цикличность с периодами колебаний от нескольких лет до десятилетий, столетий и тысячелетий [Арушанов, 2023]. Оценка европейского климата [Klein T. et al., 2002] подтверждает, что, например, Европа за последние десятилетия переживает беспрецедентные темпы потепления.

Одновременные экстремальные метеорологические явления в различных областях планеты потенциально представляют высокие риски для здоровья человека. Глобальные волны Россби связаны с сильно извилистым струйным течением и могут вызывать одновременные волны тепла и наводнения на огромных территориях.

Экстремальные погодные явления оказывают негативное воздействие на экономику и, в целом, на все социальные сферы. Их синхронность проявления в отдельных областях планеты приводит к тенденции обострения явлений. Динамика погоды, контролируемая, в частности, динамикой струйных течений и его

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

взаимодействием с циклонами и антициклонами, приводит к ковариабельности (общей изменчивости) погоды на территориях регионального масштаба. Когда циркуляционные характеристики ослабевают с запада на восток и в струе развиваются крупные меандры с севера на юг амплитуда волн Россби значительно увеличивается и, как следствие, увеличивается эффект их воздействия на погоду [Kornhuber. et al, 2017; Petoukhov, 2013].

Целью работы является исследование географического распределения волн жары на планете, выявление закономерностей этого распределения, исследование пространственного спектра колебаний волн Россби в январе и июле в северном и южном полушариях.

Используемые данные. Для получения спектра колебаний планетарных волн Россби были использованы данные реанализа ERA5 *ECMWF* геопотенциала 500 гПа по кругам широты с шагом сетки 2,5×2,5 градуса за период 1948-2023 годы. За указанный период было выполнено осреднение этих данных по кругам широты в каждом узле долготно-широтной сетки с шагом 2,5 градуса. Таким образом для каждого круга широты было получено в 144 узлах среднезональное значение \overline{H}_{500} – матрица размером 144×73 (включая северное и южное полушарии).

Методы исследования. Для реализации поставленной цели были использованы методы спектрального анализа, основанные на вейвлет преобразовании заданного ряда физической величины (в нашем случае геопотенциала на поверхности 500 гПа), приводящего к двумерному распределению спектра колебаний (амплитудная вейвлет функция) и интегральному спектру энергии (скейлограмма) [Арушанов, 2015]. Аналитическое выражение для дисперсии волн в атмосфере получено на основании теории мелкой воды [Гольдштейн, 2000; Ляпидевский, Тешуков, 2000].

Волны жары на планете. Период 1986 по 2024 годы характеризуется ежегодным числом экстремально высоких температур. Необходимо отметить, что за этот период величина повышения минимальных (ночных) температур оказывается больше величины повышения дневных температур, а также, что за последние 100 лет в глобальном масштабе наблюдалась тенденция к более высоким температурам, но эта тенденция была неустойчивой. Начиная с 1986 года тренд температуры почти в три раза превышает тренд за последние сто лет (рис. 1) в целом [Arushanov, 2023], а первое двадцатилетие XXI века является самым тёплым за всё время инструментальных наблюдений.

На рис. 1 можно видеть, что в Северном полушарии, начиная с 1995 года, рост температуры близок к экспоненциальному. В этом отношении 2024 год с момента инструментальных наблюдений побил все температурные максимумы, хотя он ещё не закончился. На рис. 2 показано географическое распределение аномалии среднесуточной температуры на европейской части континента в июле 2024 года, а на рис. 3 – по всей планете.

На европейском континенте среднемесячная температура превысила её норму на 2-4°C (рис. 2). В странах средиземноморья приземная температура достигала 40-44°C. Устойчивые волны жары в отсутствие осадков явились причиной многочисленных пожаров. Исключение не составил и французский курорт Биарриц с мягким прохладным климатом на берегу Бискайского залива. Здесь температура воздуха поднималась почти до 43°C, что было зафиксировано впервые. Максимумы температуры за время инструментальных наблюдений были впервые зафиксированы в Боснии и Хорватии, от южной Франции до северного Шпицбергена (рис. 3).

В целом в подавляющей части северного полушария, начиная с конца прошлого столетия, среднегодовая температура воздуха выше нормы относительно базового периода 1960-1990 годы. Сказанное можно видеть на рис. 4а для июля 2024 года.

Исключение составляет Индия и океанические акватории (широты субтропического кольца повышенного давления на поверхности 500 гПа – рис. 4b), как следствие, воздействия на атмосферу функционирующего в настоящее время Ла-Нинья, приносящая относительную прохладу в эти области.

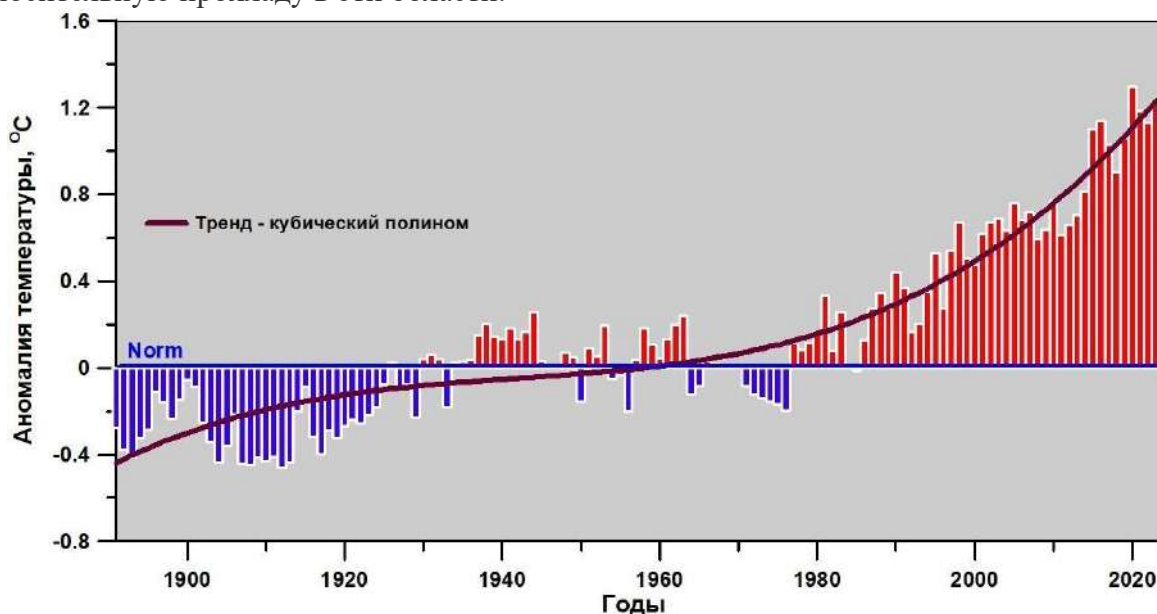


Рис. 1. Динамика аномалии среднегодовой температуры воздуха в Северном полушарии в период 1890-2023 гг.

Fig. 1. Dynamics of the anomaly of average annual air temperature in the Northern Hemisphere for the period 1890-2023

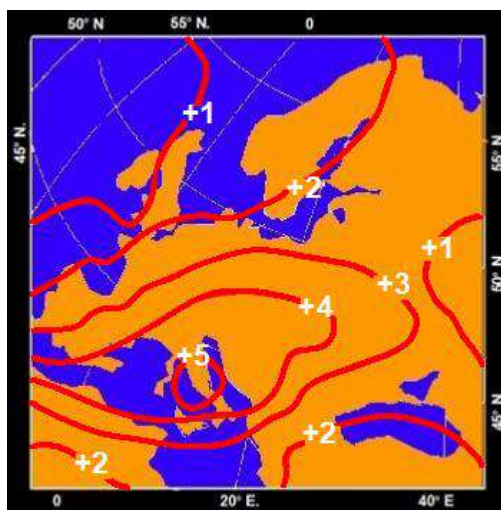


Рис. 2. Аномалия среднесуточной температуры воздуха на европейской части Северного полушария в июле 2024 года

Fig. 2. Anomaly of average daily air temperature in the European part of the Northern Hemisphere in July 2024

Таким образом, на основании представленных на рис. 2-4 распределений аномалий приземной температуры следует, что наиболее интенсивные и продолжительные волны

жары зафиксированы в Северном полушарии, в частности, на западе и северо западе США (в долине Смерти температура превысила 50°C), в Китае на многих метеостанциях зафиксированы рекордные температуры, также был побит температурный исторический максимум в Испании, на Каймановых островах.

В Южном полушарии волны жары проявляются не так активно, как в Северном полушарии, хотя исключительно высокие температуры наблюдались в юго-западной части Австралии, юге Африки и Латинской Америки (рис. 3).

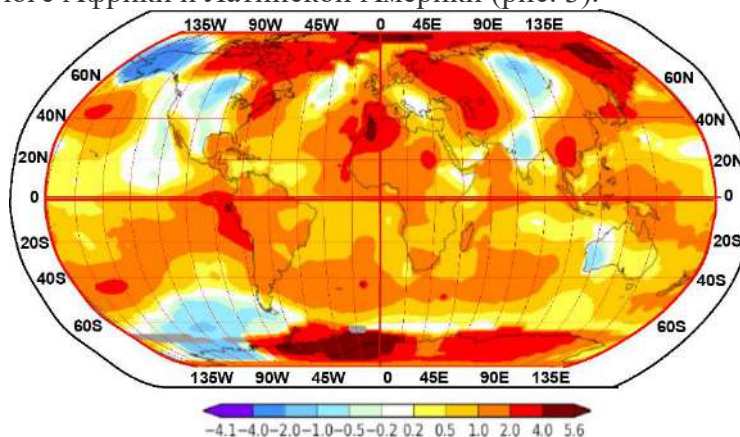


Рис. 3. Аномалия приземной температуры воздуха на планете по данным реанализа ERA5 ECMWF в июле 2024 г. относительно базового периода 1991-2020 гг.

[<https://www.kp.ru/family/ecology/izmenenie-klimata/>]

Fig. 3. Anomaly of surface air temperature on the planet according to the ERA5 ECMWF reanalysis data in July 2024 relative to the base period 1991-2020

[<https://www.kp.ru/family/ecology/izmenenie-klimata/>]

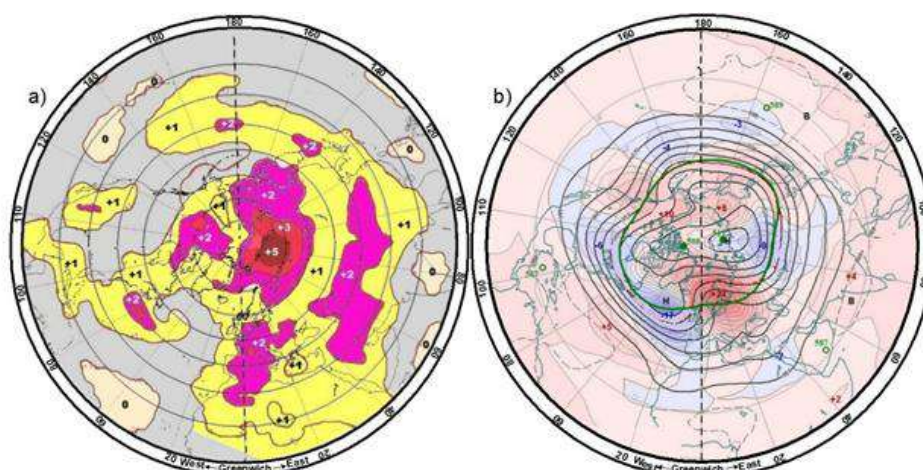


Рис. 4. Аномалия температуры воздуха в Северном полушарии в июле 2024 года (a); климатическое поле давления поверхности 500 гПа (b)

Примечание: субтропическое кольцо повышенного давления выделено синим цветом;

— климатическое положение планетарной фронтальной зоны.

Fig. 4. Air temperature anomaly in the Northern Hemisphere in July 2024 (a); climatic field of surface pressure at 500 hPa (b)

Note: the subtropical ring of high pressure is highlighted in blue;

— climatic position of the planetary frontal zone.

Различие в проявлении интенсивности и географическим захватом волн жары в обеих полушариях объясняется очевидной причиной, а именно, водная поверхность в Северном полушарии занимает 61% поверхности земного шара, а в Южном полушарии – 81%. Как не раз было указано [Арушанов, 2023], что климатическую систему, включающую внутренние и внешние факторы, необходимо рассматривать как открытую термодинамическую систему, в которой одной из составляющих является океан. Океан генерирует более 50% кислорода в атмосфере Земли и более 90% энергии, генерируемой человечеством за счёт излишков избытков в выбросах углекислого газа, аккумулируется в океане. Большая консервативность океана по отношению к атмосфере является важнейшим фактором в долгопериодных климатических изменениях. Иначе говоря, теплоёмкость морской воды почти в четыре раза больше теплоёмкости воздуха, т.е. океану требуется в несколько тысяч раз больше времени, чем атмосфере для изменений своего термического состояния. Вследствии наблюдаемого положительного тренда температуры воздуха более 90% дополнительной энергии поглощается океаном, увеличивая его теплосодержание, а это значит, что не менее важным фактором, а по существу, главнейшим, чем «волны жары» являются «волны океанического тепла», получившие специальное название «*global warming is the ocean warming*». В настоящее время (2000-2020 годы) дисбаланс приходящей радиации и уходящей коротковолновой и длинноволновой радиации составляет $0,9 \text{ Вт/м}^2$, в то время как за период 1970-1990 годы эта величина составляла $0,25 \text{ Вт/м}^2$. Таким образом, накапливаясь в климатической системе, избыток тепловой энергии поддерживает наблюдаемое глобальное потепление, а вместе с тем увеличивает частоту и интенсивность волн жары. Наиболее точная оценка дисбаланса в будущем является ключевой в рамках оценки изменений климатической системы. Важно отметить, что нагревание океана, проявляющееся в увеличении его теплосодержания, продолжается и тогда, когда тренд температуры воздуха становится нулевым или даже тогда, когда он меняет знак.

В докладе UNESCO «*State of the World Ocean in 2024*» отмечено, что темпы потепления океана ускорились в два раза за последние 20 лет – температура океана выросла в среднем на $1,45^\circ\text{C}$, причём в Средиземном море, тропической части Атлантического океана и Южных океанах потепление выросло выше 2°C и, как следствие, увеличился уровень океана (40% глобального подъёма уровня моря происходит из-за потепления океана).

Подъём уровня океана, помимо его расширения за счёт глобального потепления, происходит в результате таяния ледников Арктики, Гренландии и Антарктиды. Если обратиться к рис. 3, то отчётливо видно, что максимальные положительные аномалии температуры воздуха сосредоточены в Антарктиде ($+12^\circ\text{C}$), высокие аномалии в Гренландии ($+5^\circ\text{C}$). Однако здесь таяние происходит не только «сверху» вызванное глобальным потеплением, но и «снизу» – за счёт геотермального тепла. Повышенная активность геотермального тепла вызвано усилением восходящих движений магмы, как следствие диссонанса ядра Земли [Арушанов, 2023].

На рис. 5 представлена аномалия температуры поверхности мирового океана относительно базового климатического периода 1991-2020 гг. Аномалия температуры большей части водной поверхности выше нормы, достигая рекордных значений около 5°C . При этом, если, например, в XIX веке рекордные показатели аномалии температуры мирового океана были около 2%, в настоящее время эта цифра достигла 57% мировых вод.

Генерация волн жары волнами Россби. Волны Россби в атмосфере – это результат сдвига вихревых потоков под воздействием силы Кориолиса $F_k = 2\omega v \sin(\varphi)$

(ω – угловая скорость вращения Земли, v – скорость ветра, φ – широта), являющейся функцией широты [Rossby, 1939; Rossby, 1940]. Глобальные волны Россби, взаимодействуя со струйными течениями при определённой атмосферной циркуляции, вызывают волны тепла в одних областях планеты и наводнения в других по всему северному полушарию [Teng et al., 2013; Schubert et al., 2014; Kornhuber et al., 2017; Coumou et al., 2014]. В среднестатистических условиях волны Россби, например, в летнее время, проходят Евразию за четыре-пять дней.

Однако, когда фронтовое воздушное движение блокируется, т.е. нарушаются среднестатистические условия, возникают очаги высокого устойчивого давления (антициклоны) с знойным неподвижным воздухом, образуя волны жары.

Струйное течение и вихри Россби являются генераторами перемещения барических образований. Скорость движения вихрей зависит от величины градиента температуры между Северным полюсом и территориями с умеренным климатом. Если эта величина незначительная, то вихри замедляются или же вовсе останавливаются. Устанавливается стабильная антициклональная погода, приводящая, например, в Центральной Азии к жаре и засухе.

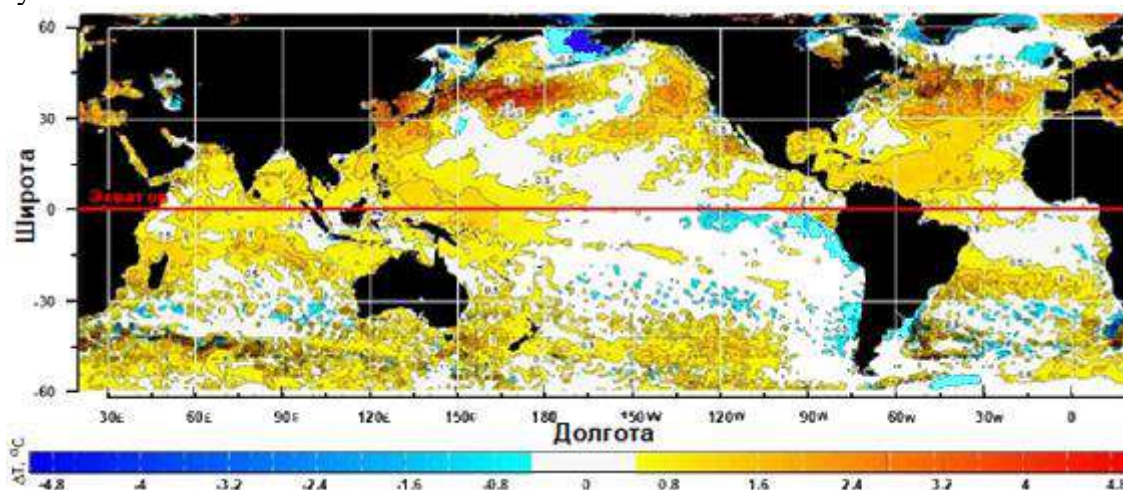


Рис. 5. Аномалия температуры океана (август 2024 года)

[<https://www.ospo.noaa.gov/data/sst/anomaly/2019/anomnight.8.8.2019.gif>]

Fig. 5. Ocean Temperature Anomaly (August 2024)

[<https://www.ospo.noaa.gov/data/sst/anomaly/2019/anomnight.8.8.2019.gif>]

Волны Россби, как и любые волны в физике, имеют свой спектр колебаний от низкочастотной области до высокочастотной. Каждая область колебаний определяется своим волновым числом k :

$$k = \frac{w}{v} = \frac{2\pi}{\lambda},$$

где: w – циклическая частота, v – скорость волны; λ – длина волны, а волновое уравнение планетарных волн Россби [Rossby, 1939] представил в виде

$$C_f = wt - kx = U - \frac{1}{4\pi^2} l^2, \quad (1)$$

где: C_f – фазовая скорость волны; U – фоновый ветер запад-восток; $l=2w \cdot \sin\varphi$ – параметр Кориолиса; φ – широта; t – время; x – координата перемещения (одномерный случай).

Простое уравнение (1) применимо только к гармоническим волнам, распространяющихся без изменения формы в линейных средах. В противном случае C_f есть функция частоты (длины волны), т.е. вступает в силу дисперсия скорости. Тогда имеет место групповая скорость и скорость фронта волны.

При больших числах Рейнольдса в атмосфере турбулентное движение является причиной генератора вихрей и зональных течений. Движение в таких условиях согласно теореме Тейлора-Праудмена* [Гольдштейн, 2014] представляет наложение двумерного движения в плоскости, перпендикулярной оси вращения, и однородного движения вдоль оси вращения. Поскольку синоптические масштабы движения значительно превышают всю толщу атмосферы, то принимая приближение линейного роста силы Кориолиса вдоль меридиана (в приближение β -плоскости), возможно описывать синоптическое движение в виде волн.

Таким образом, физическая природа волн Россби, находящихся под воздействием преобладающей силы Кориолиса, обусловлена значительными масштабами L по осям X , Y и малым числом Кибеля-Россби.

В рамках теории мелкой воды получено уравнение [Ляпидевский, Тешуков, 2000], описывающее дисперсию волн в атмосфере, во вращающейся вместе с Землёй локальной декартовой системой координат:

$$w = \left(w^2 - 4\Omega_z^2 - \mathbf{k}_\perp^2 c_3^2 \right) - \frac{2k_x \Omega_y}{R} c_3^2 = 0, \quad (2)$$

где: Ω_z – проекция скорости вращения системы на местную вертикаль; Ω_y – проекция скорости вращения системы на меридиан; c_3 – адиабатическая скорость звука, R – радиус планеты; $\mathbf{k}_\perp = k_x^2 + k_y^2$, k_x – волновое число вдоль широты; k_y – вдоль меридиана.

Решение уравнения (1) в высокочастотной области спектра представляет собой закон дисперсии гравитационно-гироскопических волн, а в низкочастотной – закон дисперсии волн Россби:

$$w_R = - \frac{2k_x \Omega_y}{R \left(\mathbf{k}_\perp^2 + \frac{4\Omega_z^2}{c_3^2} \right)}. \quad (3)$$

При выполнении условия $L \geq r_R = \frac{c_3}{2\Omega_z}$ (режим Россби с учётом дозвуковых скоростей) вращение системы существенно влияет на динамику и свойства волновых структур. Типичным результатом этого влияния является процесс блокирования, вызывающий жару и засуху в одном регионе и обильные осадки в соседних областях.

Процесс «блокировки» – малоподвижная область высокого давления, называемая «омега» (рис. 6), как отмечалось выше, возникает по причине торможения волн Россби.

С повышением глобальной температуры интенсивность и продолжительность волн жары возрастает. В цикле работ [Kornhuber et al., 2017; Kornhuber et al., 2019; Kornhuber et al., 2020; Mancini, 2022] показано, что из набора составлявших волн Россби с различными волновыми числами наиболее стабильными оказываются волны с волновыми числами 5 и

* Согласно теореме Тейлора-Праудмена из-за вращения твёрдого ядра скорость потоков постоянна вдоль вертикальной оси образующихся таким образом столбов Тейлора, заключённых внутри цилиндра, ограничивающего внутреннее ядро, и подобных циклонам и антициклонам в атмосфере Земли.

7, приводящие к установлению жары в одних областях и наводнений в соседних. Очень важным результатом этих работ является полученное на строгом уровне с использованием модели ECA** (event-condition-action) [Donges et al., 2016] одновременность событий волн жары в нескольких регионах (рис. 7).

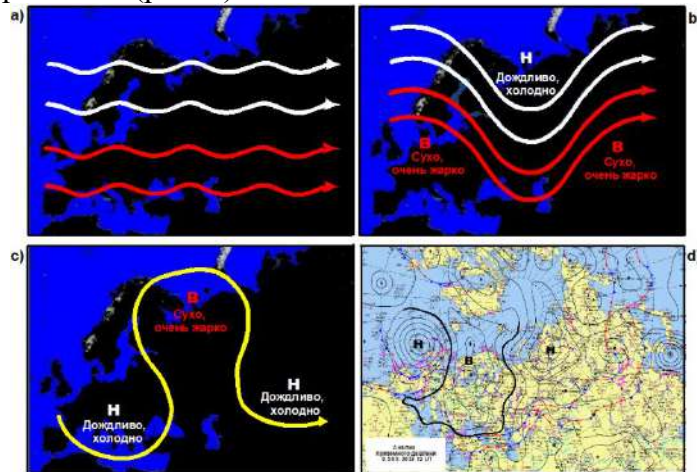


Рис. 6. Схемы западного переноса (а), торможения западного переноса (b), омега-блокировки (с) и процесс «омега-блокировка» на приземной карте давления 05.09.2022 (d), вызвавший жару на европейской территории России

Fig. 6. Schemes of westerly transport (a), braking of westerly transport (b), omega-blocking (c) and the “omega-blocking” process on the surface pressure map of 05/09/2022 (d), which caused heat in the European territory of Russia

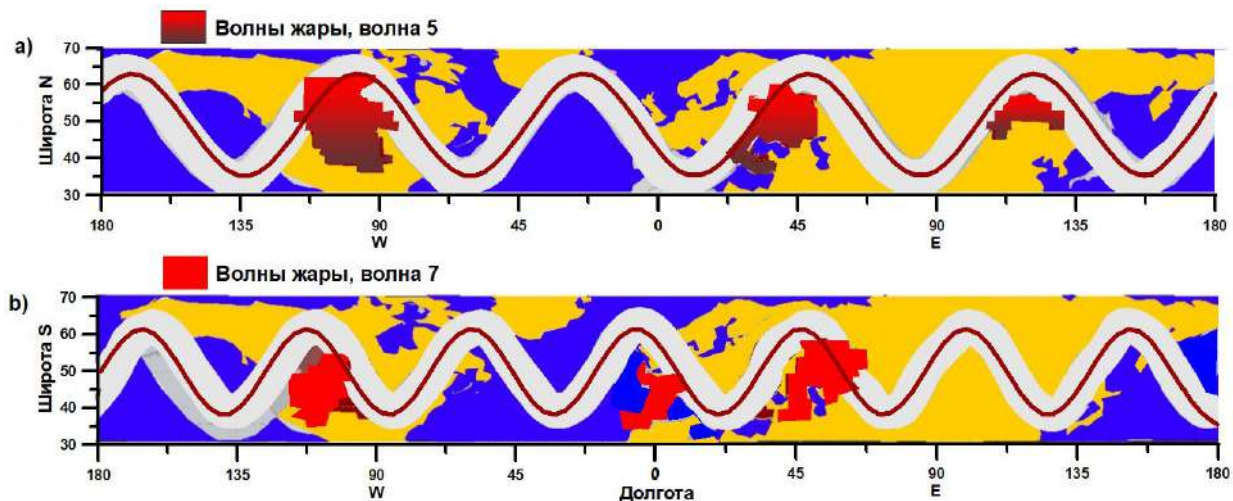


Рис. 7. Временная синхронизация волн жары в различных регионах планеты северного полушария, генерируемых волной 5 (a) и волной 7 (b) [Kornhuber et al., 2020]

Fig. 7. Temporal synchronization of heat waves in different regions of the planet in the northern hemisphere, generated by wave 5 (a) and wave 7 (b) [Kornhuber et al., 2020].

** Модель, позволяющая диагностировать одновременность возникновения различных процессов по определённому заданным правилам.

Спектр колебаний волн Россби. Уравнение (3) даёт теоретическое распределение волн по частотам от высокочастотной области спектра (гравитационно-гироскопические волны) до низкочастотной (волны Россби). Экспериментальный спектр волн Россби можно получить, рассматривая, например, поля геопотенциала поверхности 500гПа. В данной работе был использован этот подход. Для этого использовались по всей планете данные реанализа ERA5 ECMWF в узлах долготно-широтной сетки с шагом 2,5×2,5 градуса за период 1948-2023 годы. Для каждого круга широты за указанный период было выполнено осреднение значений H_{500} в каждом узле сетки (рис. 8).

Как следует из рис. 9 в спектре колебаний волн Россби в Северном и в Южном полушариях в январе и июле наблюдаются максимумы в высокочастотном и среднечастотном диапазонах и максимум в низкочастотной области спектра. При этом длины волн одинаковые для Северного и для Южного полушарий и, по-видимому, сохраняются в течении года (табл. 1).

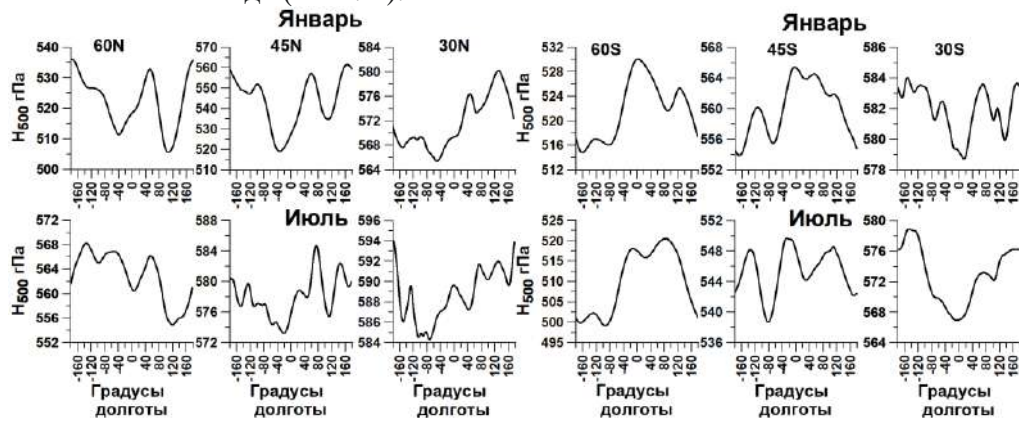


Рис. 8. Среднезональное распределение геопотенциала H_{500} в Северном и Южном полушариях планеты в январе и июле

Fig. 8. Average zonal distribution of the H_{500} geopotential in the Northern and Southern hemispheres of the planet in January and July

Интегральный вейвлет спектр волн Россби представлен на рис. 9.

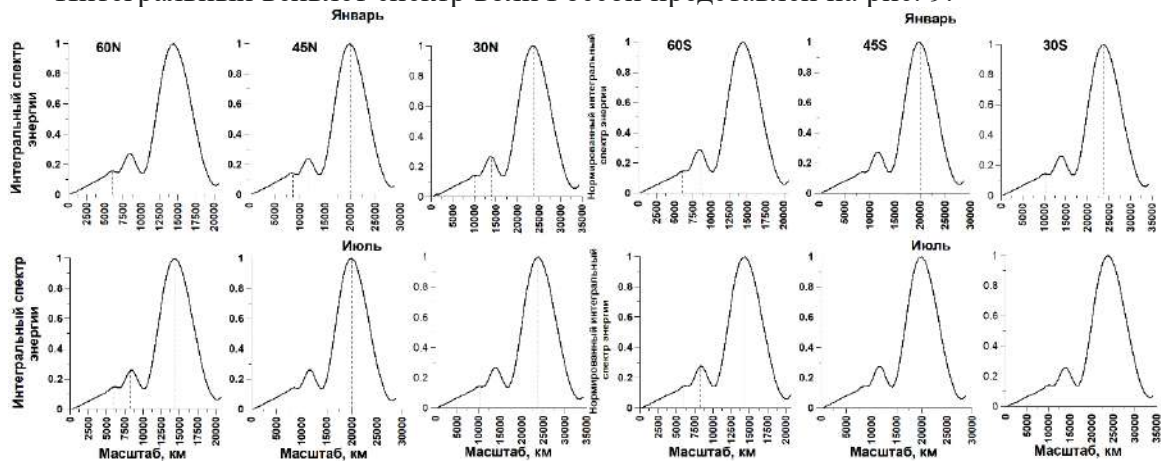


Рис. 9. Интегральный вейвлет спектр среднезональных значений геопотенциала H_{500} в январе и июле в Северном и Южном полушариях

Fig. 9. Integral wavelet spectrum of zonal average values of the H_{500} geopotential in January and July in the Northern and Southern Hemispheres

Устойчивость волн Россби с соответствующими длинами волн по мере их перемещения по кругу широты с запада на восток наглядно показана на рис. 10 для Северного полушария, где приведены амплитудные вейвлет функции, построенные для 60° с.ш, 45° с.ш и 30° с.ш. Совершенно аналогичные амплитудные вейвлет функции для Южного полушария, что собственно следует из таблицы 1 и рис. 9.

Таблица 1

Длины волн Россби

Table 1

Rossby wavelengths

Месяц	Северные и южные широты, град.					
	60		45		30	
	Масштаб					
	Длина волны, км		Длина волны, км		Длина волны, км	
	Высокие и средние частоты	Низкие частоты	Высокие и средние частоты	Низкие частоты	Высокие и средние частоты	Низкие частоты
Январь	6250 8250	14375	8750 14000	20000	1000 13850	28750
Июль	6250 8250	14375	8750 14000	20000	1000 13850	28750

Таким образом, по мере движения с запада на восток планетарные Волны Россби в области средних и высоких частот остаются стабильными по всей длине круга широты, а на высоких частотах имеют тенденцию симметричного, относительно средней величины масштаба, смещения в область более низких частот (рис. 10).

Заключение. Наблюдаемое с нарастающей интенсивностью с 1998 года глобальное потепление, главным образом вызванное влиянием внешнего (галактического) циклического фактора с периодом 1200 лет, уменьшило контраст температуры между Арктикой и тропиками, ослабив западный перенос. Тем самым активизировало взаимодействие волн Россби со струйным зональным течением, результатом которого является повышение частоты и интенсивности крупномасштабных аномалий общей циркуляции атмосферы, таких как блокирующие антициклоны (атмосферные блокинги), способствующие возникновению погодных экстремумов (волн жары, наводнений).

Таким образом, характерной особенностью волн Россби является их самоорганизация, генерирующая крупномасштабные вихри и зональные ветры.

Интенсивные, с растущей продолжительностью волны тепла, становятся трендом на планете. Охватывая регионы планеты, волны тепла создают много проблем не только в настоящем, но и в будущем, создавая засухи и с ними неурожаи, участвовавшие пожары на огромных территориях, ставшие летней нормой.

Автор прочитал и согласен с подготовленной к публикации версией рукописи.

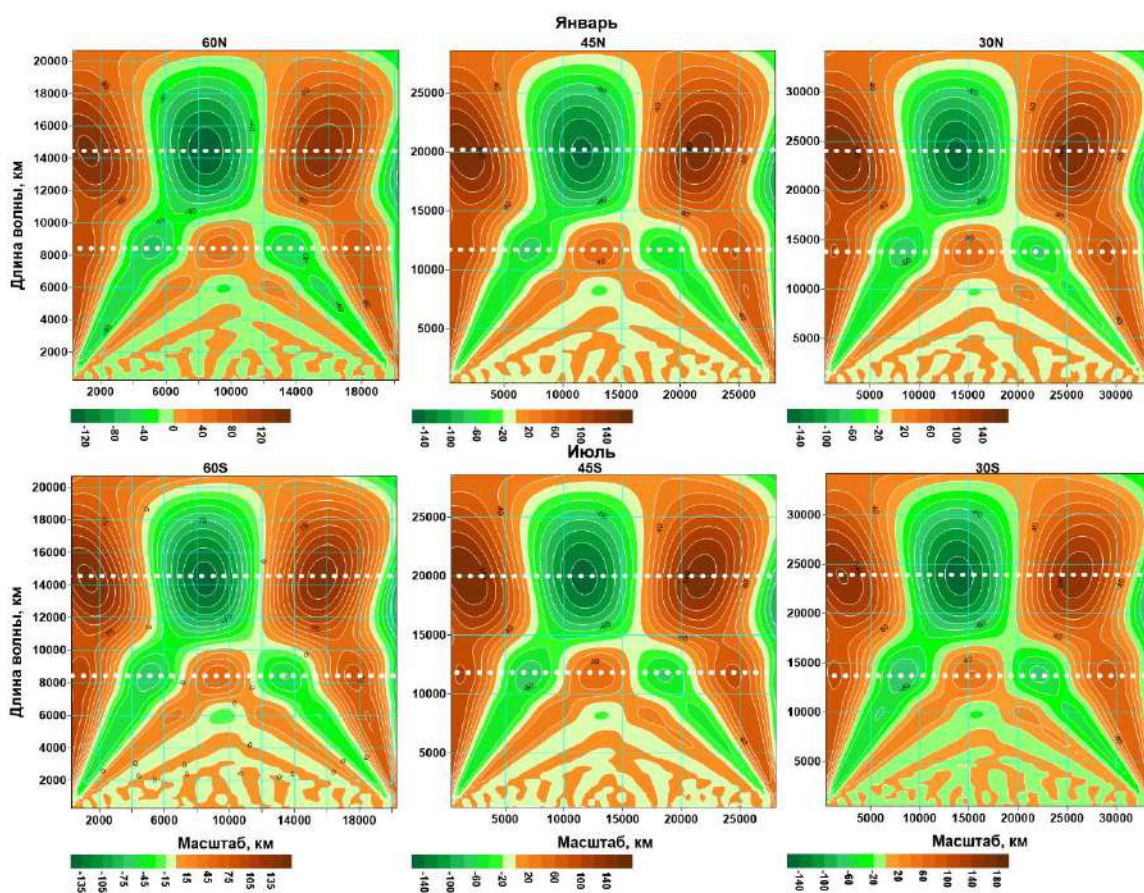


Рис. 10. Амплитудная вейвлет функция среднезонального геопотенциала H_{500} для Северного полушария

Примечание: белые пунктирные линии – показатель устойчивости волн по мере их продвижения по кругу широты на данной частоте (длине волны).

Fig. 10. Amplitude wavelet function of the zonal average geopotential H_{500} for the Northern Hemisphere

Note: white dotted lines are an indicator of the stability of waves as they move along the circle of latitude at a given frequency (wavelength).

ЛИТЕРАТУРА

Арушанов М.Л. Практические вопросы использования вейвлет преобразования в метеорологии. – Ташкент: НИГМИ, 2015. – 41 с.

Белоненко Т.В., Новоселова Е.В. Методы оценки бароклинного радиуса деформации Россби. – С-Пб.: Государственный университет. – 2019. – 25 с.

Гольдштейн Р. В., Городцов В. А. Механика сплошных сред. Часть 1. – М.: Наука, 2000. – 256 с.

Ляпидевский В.Ю., Теушков В.М. Математические модели распространения длинных волн в неоднородной жидкости. – Новосибирск: Сибирское отделение Академии наук РФ. – 2000. – 419 с.

Arushanov M.L. Climate dynamics. Space factors. – Hamburg: LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 144 p.

Coumou D., Petoukhov V., Rahmstorf S., Petri S. & Schellnhuber H.J. Quasiresonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer / Proc. Natl Acad. Sci. USA 111. – 2014, 12331–12336.

Donges J., Schleussner C.F., Siegmund J.F. & Donner R.V. Event coincidence analysis for quantifying statistical interrelationships between event time series // Eur. Phys. J. Spec. Top. 225. – 2016. – PP. 471-487.

Kornhuber K., Coumou D., Vogel E., Lesk C., Donges J.F., Lehmann J. and Horton R.M. Amplified Rossby waves enhance risk of concurrent heatwaves in major breadbasket regions // Nature Climate Change, vol 48. – 2020. – PP. 48-53.

Kornhuber K. et al. Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. Environ // Res. Lett. 14. –2020. – PP. 1-7.

Kornhuber K. et al. Summertime planetary wave-resonance in the northern and southern hemisphere // J. Clim. N30. – 2017. – PP. 6133-6150.

Kornhuber K., Petoukhov V., Petri S., Rahmstorf S. & Coumou D. Evidence for wave resonance as a key mechanism for generating highamplitude quasi-stationary waves in boreal summer // Clim. Dynam. 49. – 2019.

Osman M. B., Coatsc S., Dasd S.B., McConnell J.R. and North N.C. Atlantic jet stream projections in the context of the past 1250 years // PNAS, v. 118, No. 38. – 2021. – P. 1-7.

Palmen E., Newton C. Circulation systems of the atmosphere. – L.: Gidrometeoizdat, 1973. – 375 p.

Petoukhov V., Rahmstorf S., Petri S. & Schellnhuber H.J. Quasiresonant amplification of planetary waves and recent northern hemisphere weather extremes // Proc. Natl Acad. Sci. USA 110. – 2013. – PP. 5336–5341.

Rosby C.-G. Planetary flow patterns in the atmosphere, Quart. // J. Royal Meteorological Society. 1940. V. 66. – PP. 68–87

Rosby C.-G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacement of the semi-permanent centers of action // J. Marine Research. 1939. V. 2. – PP. 38–55.

Schubert S.D., Wang H., Koster R.D., Suarez M.J. & Groisman P.Y. Northern Eurasian heat waves and droughts // J. Clim. 27. 2014. – PP. 169-207.

Teng H., Branstator G., Wang H., Meehl G.A. & Washington W.M. Probability of US heat waves affected by a subseasonal planetary wave pattern // Nat. Geosci. 6. - 2013. – PP. 1056–1061.

Electronic resources:

Mancini M. Rossby waves affect our weather and tides, but what are They? URL: <https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geophysics/rossby-waves.htm>, 2022.

Trouet V. et al. Jet stream controls on European climate and agriculture since 1300 ce. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07985-x>

ПЛАНЕТАР РОССБИ ТЎЛҚИНЛАРИ ОРҚАЛИ ИССИҚЛИК ТЎЛҚИНЛАРИНИНГ ГЕНЕРАЦИЯСИ

М.Л. АРУШАНОВ

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

Аннотация. Кузатилаётган ҳароратнинг мусбат тренди ва у билан боғлиқ иссиқлик тўлқинларининг частотаси ва интенсивлигининг ортиши, иккинчи турдаги атмосферанинг табиий тебранишларига (Россби тўлқинларига) боғлиқ, аниқроғи, Россби тўлқинларининг найсимон оқимлари билан ўзаро таъсири натижасида юзага келади. Ўрта Осиё кенгликларида циркумглобал Россби тўлқинлари ўта айланма найсимон оқим билан боғлиқ бўлиб, нафақат бу минтақада, балки бутун шимолий ярим шарда бир вақтнинг ўзида иссиқлик тўлқинлари ва сув тошқинларини келтириб чиқариши мумкин.

Ушбу мақолада Россби тўлқинлари туфайли ғарбий ҳаво оқимининг секинлашиши ва омега-блокинг (блокировка(ўтқазмаслик) жараёни) ҳосил бўлиши билан боғлиқ минтақанинг айрим ҳудудларида сезиларли исийи ва қўшни ҳудудларда сув тошиқини келтириб чиқарадиган жараёнларнинг ўрганилишига бағишланган ишларни шарҳи келтирилган.

Январь ва июль ойларида сайёрамизнинг шимолий ва жанубий ярим шарлари учун характерли Россби тўлқин узунликлари келтирилган. Сайёравий тўлқинлар учун Россби тенгламаси фақат чизиқли муҳитда шаклини ўзгартирмасдан тарқаладиган гармоник тўлқинларга тегишлилиги кўрсатилган. Россби тўлқинларининг найсимон оқимлари билан ўзаро таъсири жараёнлари сезиларли даражада чизиқли бўлмаганлиги сабабли, тўлқиннинг фаза тезлиги частотанинг функциясидир, яъни тезлик дисперсияси ҳал қиладиган омил бўлади ва, демак, гуруҳ тезлиги ва тўлқиннинг фронтал тезлигини ҳисобга олиши керак. Гравитацион-гироскопик тўлқинларнинг дисперсия тенгламаси келтирилган, бу тенглама спектрнинг юқори частотали қисмида гравитацион-гироскопик тўлқинларнинг дисперсия қонунини, қуйи частотали қисмида -Россби тўлқинларнинг дисперсия қонуни ифодалайди.

Калим сўзлар: Россби тўлқинлари, найсимон оқим, иссиқлик тўлқинлари, омега-блокинг, ғарбий оқим, дисперсия тенгламаси.

GENERATION OF HEAT WAVES BY PLANETARY WAVES OF ROSSBY

M.L. ARUSHANOV

Hydrometeorological Research Institute, mikl-arushanov@rambler.ru

Abstract. *The observed positive temperature trend and the associated increase in the frequency and intensity of heat waves are due to the atmosphere's own oscillations of the second kind (Rossby waves), or more precisely, the interaction of Rossby waves with jet streams. At the latitudes of Central Asia, circumglobal Rossby waves are associated with a highly sinuous jet stream and can cause simultaneous heat waves and floods not only in this region, but throughout the entire Northern Hemisphere.*

This article provides a review of works devoted to the study of heat waves generated by Rossby waves due to the inhibition of the westerly transport with the formation of omega blocking (blocking process), causing significant warming in some areas of the region and flooding in neighboring areas.

The characteristic lengths of Rossby waves in January and July for the northern and southern hemispheres of the planet are obtained. It is shown that the planetary wave equation obtained by Rossby is applicable only to harmonic waves propagating without changing their shape in linear media. Since the processes of interaction of Rossby waves with jet streams are essentially nonlinear, the phase velocity of the wave is a function of frequency, i.e. the determining factor is the velocity dispersion, which means that it is necessary to consider the group velocity and the wave front velocity. The equation of dispersion of gravity-gyroscopic waves is presented, which in the high-frequency region of the spectrum expresses the dispersion law of gravity-gyroscopic waves, and in the low-frequency region - the dispersion law of Rossby waves.

Keywords: *Rossby waves, jet stream, heat waves, omega blocking, westerly transport, dispersion equation.*

REFERENCES

Arushanov M.L. *Practicheskie voprosy ispolzovaniya veivlet preobrazovaniya v meteorologii [Practical issues of using wavelet transform in meteorology]* – Tashkent: NIGMI, 2015. – 41 s. (in Russian)

Belonenko T.V., Novoselova E.V. Metody ocenki baroklinnogo radiusa deformacii Rossbi [Methods for Estimating the Baroclinic Rossby Deformation Radius]. – S-Pb.: Gosudarstvennyi Universitet. – 2019. – 25 s. (in Russian)

Goldstein R.V., Gorodtsov V.A. Mehanika sploshnyh sred. Chast 1 [Continuum mechanics. Part 1]. – M.: Nauka, 2000. – 256 s. (in Russian)

Lyapidevskiy V.Yu., Teshukov V.M. Matematicheskie modeli rasprostraneniya dlennyh voln v neodnorodnoi jidcosti [Mathematical models of propagation of long waves in an inhomogeneous liquid]. – Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie Akademii Nauk. – 2000. – 419 s. (in Russian)

УДК: 551.524:575.1

SKY IMAGER ЁРДАМИДА БУЛУТ ҚОПЛАМАСИ ДАРАЖАСИНИ АНИҚЛАШ

Э.Ю. РАХИМОВ^{1*}, А.А. ИМЯМИНОВ¹, Б.Ю. ОМОНОВ¹

¹ Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги хузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти, ejurakhimov@gmail.com, abдуманнов7445@gmail.com, bahromomonov0627@gmail.com

Аннотация. Мақолада қуёш фотоэлектрик тизимларининг (ФЭТ) самарадорлигини ошириш учун осмонни булут қоплаш даражасини аниқлашда sky imager қурилмасидан фойдаланиш имконияти ўрганилган. Муаллифлар томонидан HikVision камерасидан фойдаланиб, рақамли тасвирни қайта ишлаш орқали осмоннинг булут билан қопланиш даражасини автоматик аниқлаш тизими ишлаб чиқилган. Тадқиқот булут динамикасини кузатиш ва қуёш радиациясини прогнозлаш орқали ФЭТ самарадорлигини яхшилашга қаратилган. Тизим Python дастурлаш тили ёрдамида амалга оширилиб, булут ҳаракатини қуёш ҳолати маълумотлари билан биргалликда таҳлил қилади. Олинган натижалар ушбу тизим қуёш энергиясини прогнозлашни яхшилашни кўрсатди. Таклиф этилган усулни келажакда Ўзгидромет тизимларига интеграциялаш қайта тикланувчи энергия манбаларидан самарали фойдаланишга имкон беради.

Калит сўзлар: фотоэлектрик станция (ФЭС), кўриш майдони (FOV), умумий осмон тасвирлари (TSI), sky imager, булут қопламаси.

Кириш. Қуёш фотоэлектрик тизимлари каби қайта тикланувчи энергия манбалари келажак энергия тизимлари учун асосий компонент ҳисобланади [Intergovernmental ...]. Қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасида, хусусан, қуёш энергиясидан фойдаланишга асосланган технологияларнинг ривожланиши ва сайёрамизда қуёш фотоэлектрик станциялари сонининг ортиши энергия ишлаб чиқариш соҳасидаги янги тенденциялардир.

Кенг миқёсдаги фотоэлектрик тизим (ФЭТ)лар интеграциясидаги муаммолардан бири энергия ишлаб чиқаришнинг беқарорлиги ҳисобланади. Фотоэлектрик станцияларнинг электр энергияси ишлаб чиқаришига таъсир кўрсатувчи турли омиллар орасида булутлилик асосий ҳисобланиб, перпендикуляр юзага тўғри радиациянинг келишига таъсир қилади ва қуёш электр станцияларининг кундузги соатларда барқарор ишлашига тўсқинлик қилади. Бинобарин, бундай ҳодисаларни олдиндан билиш учун булутларнинг ҳолати ва ҳаракати маълум бўлиши керак [Si et al., 2021]. ФЭТ нинг энергия ишлаб чиқариш самарадорлиги булутларнинг ўтиши туфайли қисқа вақт оралиғида катта

* Масъул муаллиф: ejurakhimov@gmail.com, тел.: +998 97 741-68-95

ўзгаришларга учраши мумкин. Шу сабабли Қуёш диски атрофида булутлар қачон пайдо бўлишини билиш қуёш фотоэлектрик станциялар операторлари учун муҳим маълумот ҳисобланади [Alonso & Batlles, 2014].

Атмосферанинг энг ўзгарувчан таркибий қисмларидан бири сифатида булутлар вақт ва маконда ўз ўлчами ва шаклини ўзгартириб туради. Улар, биринчи навбатда радиация оқими ва ҳаво ҳароратига таъсир кўрсатиб, об-ҳаво ва иқлим ўзгаришида катта рол ўйнайди. Булутлар, одатда, ер сиртига тушувчи қуёш радиациясини камайтиради. Бироқ айрим ҳолларда улар умумий радиация оқимини кутилган очиқ осмон қийматидан ошиб кетишига олиб келиши мумкин [Pfister et al., 2003]. Булутлиликни ўрганиш бир қатор соҳаларда амалий аҳамиятга эга бўлган масала ҳисобланади.

Жаҳонда осмонни булут қоплашини аниқлаш ишларини амалга оширишда sky imager қурилмаларидан кенг фойдаланилади. Бутун кўринадиган осмоннинг ярим шарсимон тасвирларини олиш учун TSI 440A қурилмаси [Huang et al., 2013]; All Sky Imager (ASI-16) [Al-lahham et al., 2020]; осмон тасвирларини олиш учун балиқ кўзи (fisheye) камераси [West et al., 2014]; PROMES-CNRS осмон тасвирлагичи [Chauvin et al., 2015a] дан фойдаланиб бажарилган илмий ишлар бу турдаги тадқиқотларга мисол бўлади (1-расм).



1-расм. Осмон тасвирларини олувчи қурилмалар

Рис. 1. Устройства для съёмки неба

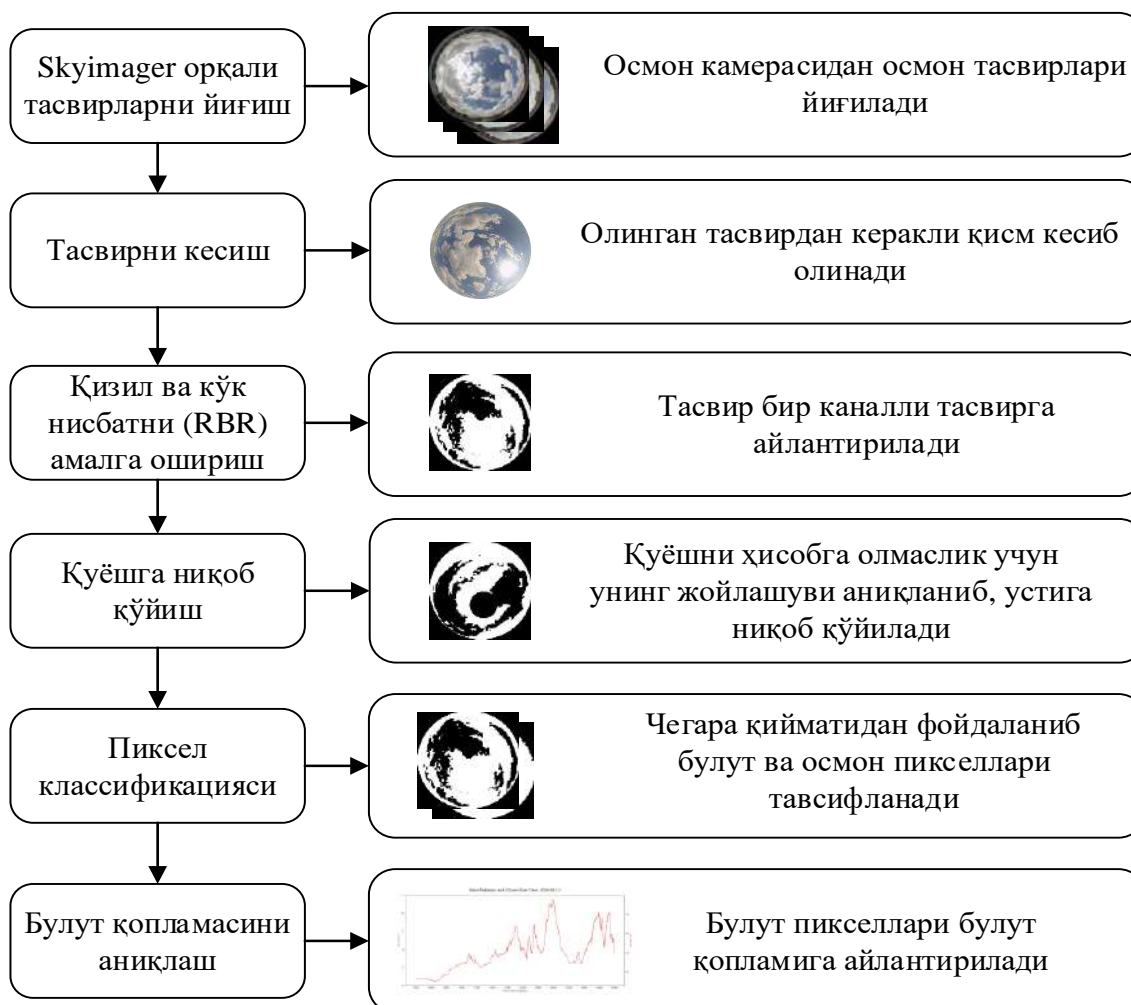
Fig. 1. Sky imaging devices

Бу қурилмалар юқори сифатли осмон тасвирларини олишда ва булутлилик даражасини таҳлил қилишда самарали натижалар беради. Аммо ушбу қурилмалардан фойдаланиш қимматлиги туфайли иқтисодий жиҳатдан қийинчилик туғдиради. Мазкур тадқиқотда юқоридаги қурилмалардан фарқли равишда HikVison камерасидан фойдаланилган ва осмон қопламасининг рақамли тасвирини қайта ишлаш асосида осмонни булут қоплаш даражасини автоматик аниқлаш тизими ишлаб чиқилган ҳамда атмосфера ва об-ҳаво шароитларини мониторинг қилиш, булутлилик даражасини аниқлаш ва қуёш технологияси учун оптимал шароитларни таъминлашда бу тизимдан фойдаланиш мумкинлиги асосланган.

Тадқиқот объекти ва предмети. Қайта тикланувчи энергия манбалари, хусусан, қуёш ФЭТ самарадорлигини ошириш ва барқарорлигини таъминлаш мақсадида булут қопламаси даражасини аниқлаш учун рақамли тасвирни қайта ишлашга асосланган

автоматик тизимни яратиш ишнинг **объекти** ҳисобланади. Тадқиқот **предмети** куёш фотоэлектрик тизимларининг ишлашига булут қопламасининг таъсирини баҳолаш ва булут динамикасини таҳлил қилиш орқали куёш энергиясини прогноزلашни яхшилашга йўналтирилган усуллар ва алгоритмлар бўлиб, улар Python дастурлаш тили ёрдамида амалга оширилган.

Тадқиқот методологияси. Тадқиқотда осмон қопламасининг рақамли тасвирини қайта ишлаш асосида осмонни булут қоплаш даражасини автоматик аниқлашда кўп босқичли усулдан фойдаланилди. Қўлланиладиган методология 2-расмда кўрсатилганидек, 6 босқичдан иборат.



2-расм. Тадқиқотда ишлатиладиган усулнинг қисқача тавсифи

Рис. 2. Краткое описание метода, используемого в исследовании

Fig. 2. A brief description of the method used in the study

1. Осмон тасвирлагичи (sky imager) орқали маълумотларни йиғиш. Осмон тасвирларини олиш орқали булутлилик даражасини аниқлаш мақсадида sky imager қурилмаси ўрнига мамлакатимизда мавжуд бўлган ва нархи бошқаларига нисбатан арзонроқ бўлган HikVision (1/2.8 дюймли CMOS сенсорига асосланган HikVision hiwatch Di 351 хавфсизлик камераси, 1.16 м 2.2 линзали, 2048 x 1536 максимал тасвир сифатини

25 кадр/с тезликда ёзиб олишни қўллаб-қувватлайди, 3 МП) камераси Энергетика вазирлиги хузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти (41.3274585° ш.к., 69.2934634° шқ.у.) биносининг том қисмига ўрнатилди (3-расм). Ўрнатилган балиқ кўзи (Fisheye) камераси доимий равишда ҳар икки дақиқа оралиғида осмон тасвирларини суратга олади, маълумотлар компьютер хотирасига сақлаб борилади.

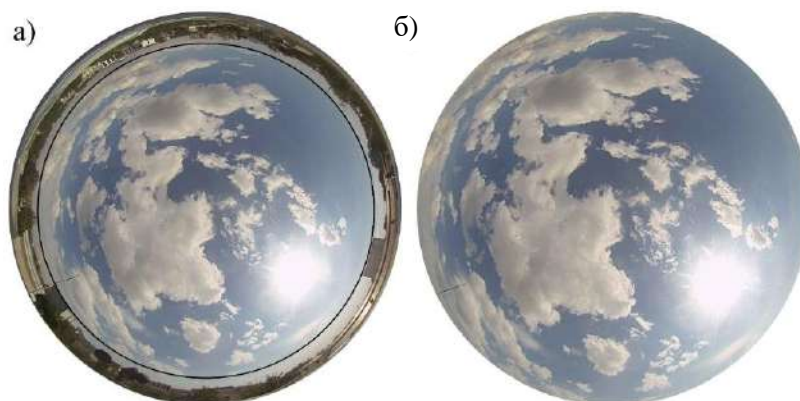


3-расм. Камера ўрнатилган жой

Рис. 3. Места установки камеры

Fig. 3. Place where the camera is installed

2. *Тасвирни кесиб олиш.* Бинонинг ён атропоида баланд бинолар борлигини ҳисобга олган ҳолда тасвирга олинаётганда унинг маълум бир қисми кесиб олинади (4-расм).



4-расм. Тасвирни кесиб олиш: а – асл тасвир, б – кесиб олинган тасвир

Рис. 4. Обрезка изображения: а – исходное изображение, б – обрезанное изображение

Fig. 4. Image cropping: a – original image, b – cropped image

3. *Қизил ва кўк нисбатни (RBR) амалга ошириш.* Булутнинг турли хил қопламалари ўз динамикаси орқали ер сиртига етиб келувчи куёш радиацияси миқдорини ўзгартириб юборади. Булутлилик тасвирларини, уларнинг статистик хусусиятларига кўра,

икки гуруҳга бўлиниши мумкин: унимодал ва бимодал. Унимодал тасвирлар одатда битта элементдан (булут ёки осмон), бимодал тасвирлар эса булут ва осмон элементларидан иборат бўлади [Li et al., 2011]. Тасвирни осмон ва булутга ажратиш учун тасвирда осмон, булут ва қуёш зоналарини аниқлаш керак [Dissawa et al., 2017]. Қалин қатламли булутлар қуёш нурланишининг интенсивлигини 80-90% га камайтириши мумкин. Муайян шароитларда баланд конвектив булутлар булутсиз об-ҳаво билан таққослаганда унинг қийматини 10-15% га ошириши мумкин [Matuszko et al., 2011]. 5-расмда турли булутлилик даражалари келтирилган.



5-расм. Булутлилик даражалари

Рис. 5. Уровни облачности

Fig. 5. Cloudiness levels

Осмоннинг булут билан қопланиши куйидагича таснифланади [Huo & Lu, 2017]:

- осмон бутунлай булутлар билан қопланган бўлса (100%), булутлилик 10 балл деб белгиланади;

- осмоннинг 5% дан 10% гача қисми булутлар билан қопланган бўлса, булутлилик 1 балл деб белгиланади;

- осмоннинг 15% дан 20% гача қисми булутлар билан қопланган бўлса, булутлилик 2 балл деб белгиланади.

Бошқача айтганда, осмоннинг булут билан қопланиш даражасига қараб 0 дан 10 баллгача қийматлар белгиланади. Ҳар бир балл қиймати осмоннинг қанча қисми булутлар билан қопланганлигини кўрсатади. Масалан:

- 0 балл: булут қоплами 0% (бутунлай очиқ осмон);

- 1 балл: булут қоплами 5-10%;

- 2 балл: булут қоплами 15-20%;

- ..

- 10 балл: булут қоплами 100% (бутунлай булутли осмон).

Осмон тасвирлари орқали булутларни таснифлашда одатда Skripps Океанография Институтининг томонидан ишлаб чиқилган қизил-кўк нисбати (RBR) тушунчасидан фойдаланилади [Johnson et al., 1989]. RBR тасвирнинг қизил ва кўк каналлари ўртасидаги нисбатни ифодалайди. Бу нисбат тарқалган ёруғликнинг булутдан (қиймат 1 га яқин) ёки кўк осмондан (қиймат 1) келишини кўрсатади [Schmidt et al., 2016]. Турли олимлар

томонидан таклиф қилинган қизил-кўк нисбатни амалга оширишнинг бошқа усуллари 1-жадвалда келтирилган [Chauvin et al., 2015b; Lothon et al., 2019].

1-жадвал

Қизил ва кўк нисбатини (RBR) амалга ошириш усуллари

Таблица 1

Методы реализации соотношения красного и синего (RBR)

Table 1

Methods of implementing Red to Blue Ratio (RBR)

Усул номи	Тенгламалар	Диапазон
Red/Blue Difference (RBD)	$RBD = R - B$	[-255,255]
Red/Blue Ratio (RBR)	$RBR = \frac{R}{B}$	[0,255]
Normalized Red/Blue (NRB)	$NRB = \frac{R}{R + B}$	[0,1]
Normalized Difference Red/Blue (NDRB)	$NDRB = \frac{R - B}{R + B}$	[-1,1]
Saturation (Sat)	$Sat = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$	[0,1]
Euclidean Geometric Distance (EGD)	$EGD = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 + \frac{(R + G + B)^2}{3}}$	[0,208]

Бу усулларнинг айримларини кўриб чиқамиз.

Red/Blue Ratio (RBR). RBR усули тасвирлардаги қизил ва кўк каналлар нисбати асосида булутларни аниқлашга қаратилган. Ушбу усулда тасвирдаги қизил ва кўк ранглар орасидаги нисбий фарқга қараб, булутлар ва бошқа объектлар ажратилади. Булутлар, одатда, юқори қизил ва паст кўк нисбат билан ажралиб туради. Шунинг учун бу усул булутларни аниқлаш учун самаралироқ ҳисобланади. RBR усули соддалиги ва тезлиги билан ажралиб туради, чунки ҳисоблаш учун кам ресурс талаб қилади. Бироқ, у ёруғлик шароитлари ва тасвир параметрларига сезгирроқ, бу эса унинг ишончилигини маълум даражада пасайтириши мумкин.

Normalized Red/Blue (NRB). NRB усули тасвирлардаги қизил ва кўк каналлар ўртасидаги фарқни нормаллаштириш орқали булутларни аниқлашга қаратилган. Ушбу усулда қизил ва кўк каналлар ўртасидаги нисбатни ҳисоблаш ўрнига, қизил канални қизил ва кўк каналлар йиғиндисига нормаллаштириш орқали аниқроқ натижаларга эришилади. Бундай нормаллаштириш тасвирнинг ёруғлик жадаллиги ўзгаришига нисбатан барқарорликни таъминлайди. NRB усули, ёруғлик шароитлари ва тасвир параметрларига камроқ сезгир бўлганлиги сабабли, объектларни фарқлашда ишончлироқ ҳисобланади. Шунга қарамай, бу усул содда усулларга қараганда ҳисоблаш жиҳатидан кўпроқ ресурс талаб қилиши мумкин.

Normalized Difference Red/Blue (NDRB): NDRB усули тасвирлардаги қизил ва кўк каналлар ўртасидаги нисбий фарқни нормаллаштириш орқали булутларни аниқлаш учун қўлланилади. Бу усулда қизил ва кўк каналлар фарқи уларнинг йиғиндисига бўлиниб, ёруғлик шароити ва тасвир параметрларига камроқ сезгирликка эришилади. NDRB булутларни бошқа объектлардан аниқ ажратиш учун самарали бўлиб, осмон

динамикасини кузатиш ва қуёш радиациясини прогнозлашда ишончли натижаларни таъминлайди [Marquez et al., 2013].

Жадвалда келтирилган барча усуллар булутлиликини аниқлашда фойдаланилади. Бироқ улар тасвир сифати, ёруғлик шароитлари ва бошқа омилларга боғлиқ равишда турли натижалар беради.

4. Қуёшни ниқоблаш. Тасвирларни таҳлил қилишда қуёшнинг ёрқинлиги катта муаммолар туғдириши мумкин. Қуёшнинг кучли нурланиши тасвирни ҳаддан ташқари ёрқин қилиб, бошқа элементларнинг аниқлигини пасайтиради. Шу сабабли Қуёш тасвирини ниқоблаш орқали унинг таъсирини камайтириш зарур. Қуёшни ниқоблаш жараёни қуйидаги асосий босқичларни ўз ичига олади:

- бинар тасвирдан контурлар аниқланади. Контурлар тасвирдаги объектларнинг чегараларини аниқлашда фойдаланилади. Бу жараён ёрдамида тасвирдаги барча объектларнинг чегаралари топилади;

- топилган контурлар орасидан энг катта контур танланади. Бу контур одатда Қуёшнинг тасвири бўлади, чунки Қуёш тасвирдаги энг ёрқин ва катта объект ҳисобланади. Энг катта контурни танлаш орқали тасвирдаги бошқа кичик объектлар инобатга олинмайди;

- энг катта контурга минимал айлана мослаштирилади. Бу айлана Қуёшнинг тасвири атрофида энг кичик диаметрга эга бўлади. Минимал айланани топиш жараёни контур атрофида жойлашган нуқталарни ҳисобга олиб, энг кичик радиусли айланани аниқлашни ўз ичига олади;

- топилган айлананинг радиуси муайян коэффицент ёрдамида камайтирилади. Бу жараён орқали тасвирнинг фақат энг марказий ва ёрқин қисми ниқобланади. Радиусни камайтириш тасвирнинг қолган қисмидаги маълумотларни сақлаб қолиш ва фақат Қуёшнинг энг ёрқин қисмини ниқоблашга ёрдам беради (6-расм);

- камайтирилган радиусга эга айлана асосида ниқоб яратилади. Бу ниқоб Қуёш тасвири устига жойланади ва қуёшнинг таъсирини камайтиради. Ниқоб ёрдамида тасвирнинг Қуёш қисми қора рангга бўялади ва тасвирнинг қолган қисми сақланиб қолади.



6-расм. Олинган тасвирда Қуёшни ниқоблаш

Рис. 6. Маскировка Солнца на полученном изображении

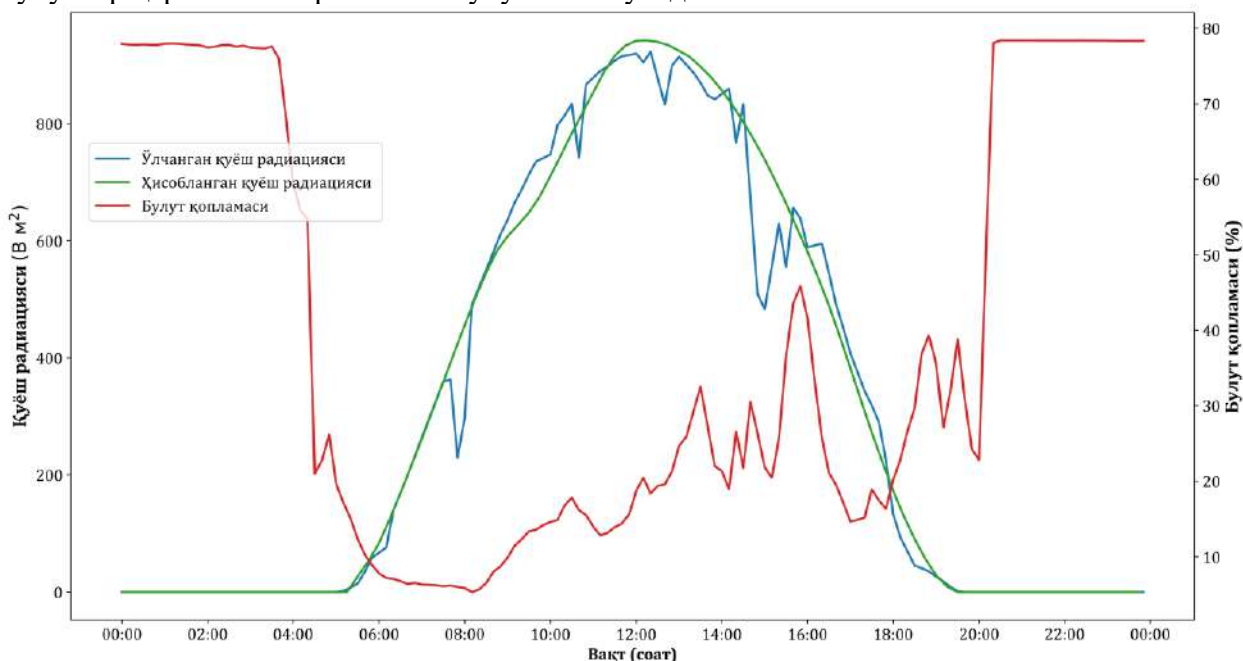
Fig. 6. Masking the Sun in the resulting image

5. Пиксел таснифи. Расм чегараси (thresholding) асосан пикселларни таснифлаш муаммосидир. Унинг асосий мақсади берилган тасвирнинг пикселларини икки синф – объект ва фонга тегишлилигини ажратишдир [Wong & Sahoo, 1989]. Thresholding жараёнида тасвирдаги пиксел қийматлари белгиланган threshold (чегаравий қиймат) билан солиштирилади. Threshold қийматидан юқори бўлган пиксел оқ рангга, паст бўлганлари эса қора рангга ўзгартирилади. Чегаравий қийматни ўзгартириш орқали булутни турли

шароитларда аниқлаш мумкин бўлади. Шунинг учун бу қийматнинг оптималини аниқлаш муҳим рол ўйнайди.

6. Булут қопламасини аниқлаш. Ишлаб чиқилган дастурий таъминотнинг якуний натижаси сифатида дастур ҳар 2 дақиқада 0-100% оралиғида осмоннинг булут қоплаш даражасини маълумотлар базасига ёзиб боради. Бу базадан керакли вақт учун осмонни булут қоплаш даражасини аниқлаш мумкин бўлади.

Асосий натижалар ва уларнинг таҳлили. Институт ҳудудида ўлчанган ҳамда ҳисобланган (мавжуд ҳисоблаш усуллари ёрдамида аниқланган [Duffie & Beckman, 2013; Tiwari et al., 2016]) горизонтал сиртга тушувчи йиғинди қуёш радиацияси миқдорлари ва ишлаб чиқилган дастур натижаларини умумлаштириш 7-расмда келтирилган. Одатда, Қуёш гардишини булут қопламаганда, ер сиртига етиб келувчи қуёш радиацияси деярли юқори аниқликларда ҳисобланади. Аммо, булут қопламаси пайдо бўлса, радиация қиймати ўзгаришни бошлайди, ҳисобланган қиймат ва реал ўлчанган қиймат орасида тафовут юзага келади. Тафовут катта-кичиклиги осмонни булут қоплаш даражасига мос бўлади. Тафовутнинг айти шундай ўзгаришларини 7-расмда кўришимиз мумкин. Ер сиртига тушувчи қуёш радиацияси миқдори булутлилик даражасига боғлиқлиги ва булутлилик даражасининг ортиши билан қуёш радиациясининг камайиши расмдан яққол кўриниб турибди. Тадқиқот ишининг бу натижалари булутларнинг Қуёш гардишини қоплаши ҳамда қуёш радиациясига таъсирини батафсил ўрганиш, баҳолаш ва келажакда булутлар ҳаракатини прогнозлаш учун асос бўлади.



7-расм. Булутлилик даражасининг ер сиртига тушувчи қуёш радиациясига таъсири

Рис. 7. Влияние уровня облачности на солнечную радиацию, поступающую на поверхность Земли

Fig. 7. Effect of cloudiness level on solar radiation falling on the earth's surface

Ишлаб чиқилган тизим куйидаги амалий аҳамиятга эга.

Қуёш энергиясини прогнозига таъсир. Мазкур тизим Ўзбекистонда яқин келажакда режалаштирилган 8 ГВт қуёш электростанцияларида энергия ишлаб чиқаришнинг қисқа муддатли прогнози учун ишончли маълумот манбаи сифатида хизмат қилиши мумкин.

Булут қопламасининг куёш радиациясига таъсирини аниқ баҳолаш, энергия манбаларининг барқарор ишлашини таъминлайди.

Иқтисодий ва техник афзалликлар. Арзон HikVision камераларидан фойдаланиш орқали тадқиқот жараёни арзонлаштирилди. Шунингдек, инсон омилининг камайтирилиши кузатув жараёнларини янада автоматлаштириб, натижаларнинг ишончлилигини оширди.

Ер усти ва сунъий йўлдош маълумотларини интеграциялаш. Автоматлаштирилган тизим ёрдамида булут қопламаси тўғрисидаги сунъий йўлдош маълумотларини ер усти кузатувлари билан верификация қилиш имконияти яратилади. Бу эса об-ҳаво маълумотлари аниқлигини сезиларли даражада оширади.

Ўзгидромет тизимлари билан интеграция. Ишлаб чиқилган тизим келажақда Ўзгидромет тизимлари билан бирлаштирилса, бутун мамлакат бўйлаб осмонни кузатиш ва куёш энергияси прогнози учун кенг имкониятлар яратади.

Хулоса. Тадқиқот натижасида HikVision хавфсизлик камераси ёрдамида осмонни булут қоплаш даражасини (0–100% оралиғида) аниқлашга мўлжалланган автоматик тизим ишлаб чиқилди ва унинг самарадорлиги асосланди. Мазкур тизим Ўзбекистонда ҳозирги кунда мавжуд бўлган инсон омилига асосланган ва маълумотлар ҳар 3 соатда олинадиган усулларга нисбатан аниқлиги ва тезкорлиги билан юқори самарадорликни таъминлайди.

Тизимни ишлаб чиқишда қўлланилган методология, аниқ алгоритмлар ва ер усти кузатувларига асосланган булутларни кузатиш тизимлари ёрдамида, куёш фотоэлектрик тизимларининг ишлашини оптималлаштириш ва куёш энергияси прогнозининг аниқлигини ошириш имкониятини яратади. Натижада, қайта тикланувчи энергия манбаларидан самарали фойдаланиш ва барқарор энергия тизимларига ўтиш осонлашади. Ишлаб чиқилган технология нафақат илмий тадқиқотлар, балки амалий қўллаш соҳалари учун ҳам кенг истиқбол очиб беради.

Миннатдорлик. Мазкур тадқиқот иши Инновацион ривожланиш агентлигининг молиявий кўмагида бажарилаётган АЛ-5721122072 «Иқлимнинг даврийлиги ва аномаллигини инобатга олган ҳолда узлуксиз энергия таъминотида фотоэлектрик тизимларни режалаштириш учун куёш радиациясининг ўзгаришини квазиреал вақт оралиғида баҳолаш ва башоратлашнинг математик моделини ишлаб чиқиш» лойиҳаси доирасида амалга оширилди.

Муаллифлар хиссаси. **Э.Ю. Раҳимов:** мақола ғояси, методология, натижалар таҳлили, натижаларни текшириш, раҳбарлик. **А.А. Имяминов:** маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, мақолани расмийлаштириш, мақола матнини ёзиш. **Б.Ю. Омонов:** натижалар таҳлили, натижаларни текшириш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розилигини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Al-lahham A., Theeb O., Elalem K., Alshawi T.A., Alshebeili S.A. Sky Imager-based forecast of solar irradiance using machine learning // *Electronics*, 9(10), 2020. – PP. 1700. <https://doi.org/10.3390/electronics9101700>.

Alonso J., Batlles F.J. Short and medium-term cloudiness forecasting using remote sensing techniques and sky camera imagery // *Energy*, Volume 73, 2014. – PP. 890-897. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.101>.

Chauvin R., Nou J., Thil S., Grieu S. Modelling the clear-sky intensity distribution using a sky imager // *Solar Energy*, Volume 119, 2015a. – PP. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.026>.

Chauvin R., Nou J., Thil S., Traoré A., Grieu S. Cloud detection methodology based on a sky-imaging system // *Energy Procedia*, 2015b. Volume 69 – PP. 1970-1980. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.198>.

Dissawa D.M.L.H., Ekanayake M.P.B., Godaliyadda G.M.R.I., Ekanayake J.B., Agalgaonkar A.P. Cloud motion tracking for short-term on-site cloud coverage prediction / 2017 Seventeenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Colombo, Sri Lanka, 2017. – PP. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICTER.2017.8257803>.

Duffie J.A., Beckman W.A. Solar engineering of thermal processes // New Jersey, 2013.

Huang H. et al. Cloud motion estimation for short-term solar irradiation prediction / 2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Vancouver, BC, Canada, 2013. – PP. 696-701. <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2013.6688040>.

Huo J., Lu D. Comparison of cloud cover from all-sky imager and meteorological observer // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2012. – PP. 1093-1101. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00006.1>.

IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (Chapter 9). Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2011. <http://www.ipcc-wg3.de/srren-report/>.

Johnson R.W., Hering W.S., Shields J.E. Automated visibility cloud cover measurements with a solid-state imaging system. University of California San Diego, Scripps Institution of Oceanography, Marine Physical Lab, 1986.

Li Q., Lu W., Yang J. A hybrid thresholding algorithm for cloud detection on ground-based color images // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2011. – PP. 1286-1296. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00009.1>.

Lothon M., Barnéoud P., Gabella O., Lohou F., Derrien S., Rondi S., Chiriaco M., Bastin S., Dupont J.-C., Haeffelin M., Badosa J., Pascal N., Montoux N. ELIFAN, an algorithm for the estimation of cloud cover from sky imagers // *Atmospheric Measurement Techniques*, 2019. 12. – PP. 5519–5534. <https://doi.org/10.5194/amt-12-5519-2019>.

Marquez R., Coimbra C.F.M. Intra-hour DNI forecasting based on cloud tracking image analysis // *Solar Energy*, 2013 Volume 91. – PP. 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.018>.

Matuszko D. Influence of the extent and genera of cloud cover on solar radiation intensity. 2011. <https://doi.org/10.1002/joc.2432>.

Pfister G., Mckenzie R.L., Liley J.B., Thomas A. Cloud coverage based on all-sky imaging and its impact on surface solar irradiance // *Journal of Applied*, 2003. – PP. 1421-1434. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<1421>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<1421>2.0.CO;2).

Schmidt T., Kalisch J., Lorenz E., Heinemann D. Evaluating the spatio-temporal performance of sky-imager-based solar irradiance analysis and forecasts // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 2016. – PP. 3399–3412. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3399-2016>.

Si Y., Wang H., Wang Y., Yang H., Chen Y., Liu Q., Chen S., Zheng N. Effects of single-layer low clouds on the surface solar radiation in East Asia // *Solar Energy*, 2021. Volume 224. – PP. 1099-1106. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.047>.

Tiwari G.N., Tiwari A., Shyam S. Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications. 1st ed., 2016.

West S.R., Rowe D., Sayeef S., Berry A. Short-term irradiance forecasting using skycams: motivation and development // *Solar Energy*, 2014. Volume 110. – PP. 188-207. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.038>.

Wong A.K.C., Sahoo P.K. A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1989. 19(4). – PP. 866-871. <https://doi.org/10.1109/21.35351>.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОБЛАЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ SKY IMAGER**Э.Ю. РАХИМОВ¹, А.А. ИМЯМИНОВ¹, Б.Ю. ОМОНОВ¹**

¹ Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, eyurakhimov@gmail.com, abdumannop7445@gmail.com, bahromomonov0627@gmail.com

Аннотация. В статье исследована возможность использования устройства sky imager для определения уровня облачности на небе с целью повышения эффективности солнечных фотоэлектрических систем (ФЭС). Авторами разработана автоматизированная система определения степени облачности с использованием цифровой обработки изображений, полученных камерой HikVision. Исследование направлено на повышение эффективности ФЭС путем наблюдения за динамикой облаков и прогнозирования солнечной радиации. Система реализована с использованием языка программирования Python и анализирует движение облаков в сочетании с данными о положении солнца. Полученные результаты показывают, что предложенная система улучшает прогнозирование солнечной энергии. Предлагаемый метод имеет потенциал для интеграции в системы Узгидромета, что позволит более эффективно использовать возобновляемые источники энергии.

Ключевые слова: фотоэлектрическая станция (ФЭС), поле зрения (FOV), общие изображения неба (TSI), sky imager, облачное покрытие.

DETERMINING THE LEVEL OF CLOUD COVER USING THE SKY IMAGER**E.YU. RAKHIMOV¹, A.A. IMYAMINOV¹, B.YU. OMONOV¹**

¹ National Scientific Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, eyurakhimov@gmail.com, abdumannop7445@gmail.com, bahromomonov0627@gmail.com

Abstract: The article examines the potential of using a sky imager device to determine the level of cloud coverage in the sky to enhance the efficiency of solar photovoltaic (PV) systems. The authors developed an automated system for detecting cloud coverage based on digital image processing using a HikVision camera. The study aims to improve the efficiency of PV systems by monitoring cloud dynamics and forecasting solar radiation. Implemented using the Python programming language, the system analyzes cloud movement in conjunction with solar position data. The results demonstrate that the proposed system enhances solar energy forecasting. The suggested method has potential for future integration into Uzhydromet systems, enabling more efficient use of renewable energy sources.

Keywords: photovoltaic station, field of view (FOV), total sky images (TSI), sky imager, cloud cover.

ГИДРОЛОГИЯ / HYDROLOGY

УДК:556.535.6+556.048

**ТОҒ ДАРЁЛАРИ МУАЛЛАҚ ОҚИЗИҚЛАРИ ҲОСИЛ БЎЛИШИНИНГ
МЕТЕОРОЛОГИК ОМИЛЛАРГА БОҒЛИҚЛИГИ****О.Т. ХОЛТОЖИЕВА^{1*}, З.Ф. ХАКИМОВА¹, Ф.Ҳ. ҲИКМАТОВ¹, Н.А. РАХИМОВ²**

¹ Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, hikmatov_f@mail.ru, oujamolxoltojiyeva@gmail.com, zilola_khakimova@inbox.ru

² Тошкент вилояти Гидрометеорология маркази, rahimovnurilla@gmail.com

***Аннотация.** Мақола тоғ дарёлари муаллақ оқизикларининг ҳосил бўлишига метеорологик омилларнинг таъсирини статистик баҳолашга бағишланган. Ишда мазкур масала Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзаси дарёлари мисолида ёритилган. Гидрометеорологик ўзгарувчилар орасидаги кўп ҳадли боғланишларни статистик баҳолашга оид ҳисоблаш ишлари Г.А.Алексеев усулида амалга оширилган. Ўзгарувчилар орасидаги боғланишларнинг нормаллаштирилган регрессия тенгламалари олинган ва уларнинг аниқлиги баҳоланган.*

***Калит сўзлар:** дарё, сув сарфи, муаллақ оқизиклар, атмосфера ёгинлари, ҳаво ҳарорати, корреляция коэффициенти, регрессия тенгламаси, баҳолаш.*

Кириш. Тоғ дарёлари муаллақ оқизиклари гидрологик режимини ўрганиш катта илмий ва амалий аҳамиятга эга. Масаланинг илмий аҳамияти шундаки, дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини ўрганиш натижалари улар ҳавзаларида кечадиган сув эрозияси жараёни қонуниятларини аниқлаш, улар асосида тоғли ҳудудлар рельефини реконструкция қилиш имконини беради. Ушбу йўналишдаги тадқиқотларнинг амалий аҳамияти ҳам жуда катта. Жумладан, муаллақ оқизиклар оқими кўп жиҳатдан дарёлар ўзанининг шаклланишига, сув омборларининг лойқа оқизиклар билан тўлиб бориш жадаллигига ва гидротехник иншоотларнинг ишлаш режимига таъсир кўрсатади. Ўрганилаётган Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзасида Тошкент вилояти суғориладиган ерларининг сув таъминотини яхшилаш мақсадида қурилган Оҳангарон, Туябўғиз, Чорбоғ сув омборлари мавжудлигини ҳисобга олсак, ишда кўрилаётган масаланинг аҳамияти янада яққол кўзга ташланади.

Ўрта Осиё дарёлари муаллақ оқизиклари режимини ўрганишга қаратилган дастлабки тадқиқотлар В.Л.Шульц [Шульц, 1965], О.П.Щеглова [Щеглова, 1972, 1984], К.С.Кабанова [Кабанова, 1952], Ю.Н.Иванов [Иванов, 1967], А.Р.Расулов [Расулов, 1972], С.Р.Саидова [Саидова, 1976], З.С.Сирлибоева [Сирлибоева, 1980] ва бошқа олимлар томонидан амалга оширилган. Охирги йилларда ушбу муаммо доирасида Ф.Ҳикматов [Ҳикматов, 2011], Х.К.Ташметов [Ташметов, 1981], Д.П.Айтбоев [Айтбоев, 2006], К.Р.Раҳмонов [Раҳмонов, 2008], Г.У.Жумабоева [Жумабоева, 2019] ва бошқалар муваффақиятли изланишлар олиб бормоқдалар.

Юқорида номлари тилга олинган олимлар томонидан бажарилган ишлар асосан Ўрта Осиё ҳудудига жойлашган йирик дарёлар муаллақ оқизиклари мисолида бажарилган. Ушбу масалани Оҳангарон, Туябўғиз ҳамда Чорбоғ сув омборларини сув

* Масъул муаллиф: oujamolxoltojiyeva@gmail.com, тел.: +998 99 853-83-54

билан таъминлайдиган Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзаси дарёлари мисолида ўрганиш долзарб аҳамият касб этади.

Мақолани тайёрлаш жараёнида географик умумлаштириш, гидрологик аналогия, гидрологик ҳисоблашларнинг замонавий усулларида фойдаланилди. Ўрганилаётган дарёлар муаллақ оқизиклари оқимининг иқлимий омилларга боғлиқлигини статистик баҳолашда Г.А.Алексеев [Алексеев, 1971] таклиф этган корреляцион боғланишларни объектив тенглаштириш ва нормаллаштириш усули қўлланилди.

Тадқиқот ишининг асосий **мақсади** Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзасидаги тоғ дарёлари муаллақ оқизиклари билан уларнинг ҳосил бўлишига таъсир этувчи метеорологик омиллар орасидаги боғлиқликни статистик баҳолашдан иборат. Ушбу мақсадни амалга ошириш учун куйидаги **вазифалар** белгиланди ва ишда ўз ечимини топди: 1) Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзаси дарёлари табиий сув режимини кузатадиган гидрологик постларни танлаш, уларда ўлчанган сув ва муаллақ оқизиклар сарфлари ҳақидаги маълумотларни тўплаш, бирламчи қайта ишлаш, умумлаштириш; 2) репрезентатив метеорологик кузатиш пунктларини танлаш, уларда ўлчанган атмосфера ёғинлари ва ҳаво ҳарорати маълумотларини тўплаш, уларни бирламчи қайта ишлаш, маълумотлар базасини яратиш; 3) дарёлар муаллақ оқизиклари сарфлари билан иқлимий омиллар орасидаги жуфт ва кўпхадли корреляцион боғланишларни статистик баҳолаш.

Тадқиқот объекти сифатида танлаб олинган Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзаси, В.Л.Шульц [Шульц, 1965] тавсифлаганидек, жануб ва шарқда Курама ва Чотқол тоғ тизмалари билан, шимолда Талас Олатови, шимоли-ғарбда Угом ва уларнинг тармоқлари билан чегараланган. Жануби-ғарбда эса ҳавза чегарасини Сирдарё ўзанидан ўтказиш мумкин. Маълумки, ҳавзанинг асосий қисми Ўзбекистоннинг Тошкент вилояти ҳудудида, қолган қисми эса Қозоғистон ҳамда Қирғизистон Республикалари сарҳадларида жойлашган. Чирчиқ ва Оҳангарон дарёлари Сирдарёнинг нисбатан йирик ўнг ирмоқларидан бўлиб, улар аслида иккита мустақил ҳавзадан иборат. Лекин гидрологик тадқиқотларда бу икки дарё ҳавзаларини В.Л.Шульц [Шульц, 1965], А.Р.Расулов [Расулов, 1991] ва бошқалар тажрибаларига таянган ҳолда, бир ҳавзага бирлаштириб ўрганиш анча қулайлик яратади (1-жадвал).

Атмосфера ёғинлари, Ўрта Осиёнинг барча тоғли ҳудудидаги каби Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзасида ҳам нотекис тақсимланган. Бу ҳолат ёғинлар миқдорининг ҳавза майдони ҳамда йил давомида мавсумий ва ойлар бўйича тақсимланишида акс этади. Энг кам ёғинлар ҳавзанинг жануби-ғарбий қисмига тўғри келади. Бу ерларда йиллик ёғин миқдори 250-300 мм ни ташкил этади. Ёғинлар миқдори ҳавзанинг шимоли-шарқий томонига қараб ортиб боради. Писком метеорология станциясида ўртача 850 мм ёғин қайд этилган. Писком водийсининг баланд тоғли қисмида йиллик ёғин миқдори 1800 мм ва ундан кўп бўлади. Ёғинлар йил фасллари бўйича ҳам нотекис тақсимланган. Йиллик ёғин миқдорининг 40-45 фоизи баҳорга, 5-10 фоизи ёзга, 20-25 фоизи кузга, 30-35 фоизи қиш фаслига тўғри келади. Март ойи ёғинлар миқдорининг кўплиги билан ажралиб туради (1-расм).

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Дарёларнинг лойқа оқизиклари ҳақидаги таълимот асосчилари Г.В.Лопатин [Лопатин, 1949], Г.И.Шамов [Шамов, 1959], А.В.Караушев [Караушев, 1977], Н.И.Маккавеев [Маккавеев, 1955], Р.С.Чалов [Чалов, 1979] ва бошқалар қайд этганларидек, дарёларнинг муаллақ оқими сув сарфлари билан чамбарчас боғлиқдир. Ишда шу ҳолат эътиборга олиниб, ўрганилаётган дарёларнинг муаллақ оқизиклари билан сув сарфлари орасидаги боғланишлар графиклари чизилди ва улар таҳлил қилинди (2-расм).

1-жадвал

Дарёларнинг асосий гидрологик тавсифлари

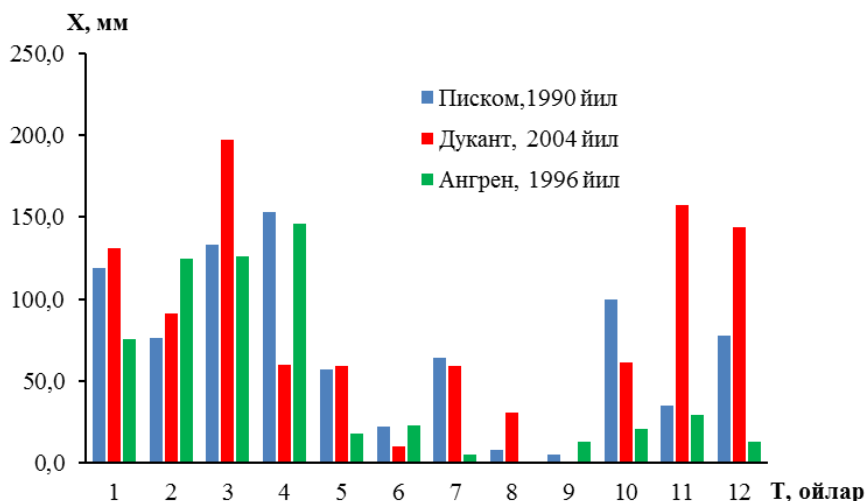
Таблица 1

Основные гидрологические характеристики рек

Table 1

Basic hydrological indicators of rivers

Т.р.	Дарё – қузатиш жойи	Сув тўплаш майдони, F, км ²	Ҳавзанинг ўртача баландлиги H _{ўр.} , м	Қузатиш йиллари	
				сув сарфи	муаллақ оқизиклар сарфи
1	Чотқол – Худойдотсой	6580	2660	1965-2020	1965-2020
2	Писком – Муллала	2540	2740	1965-2020	1965-2020
3	Ойгаинг – қуйилиши	1010	3010	1950-2015	1934-1992
4	Чиралма - қуйилиши	103	2700	1934-2015	1934-1992
5	Майдонтол - қуйилиши	471	3130	1934-2015	1934-1992
6	Угом - Хожикент	869	2030	1950-2020	1950-2020
7	Оҳангарон – Ертош қ.	1110	1169	1971-2020	1971-2020
8	Қизилчасой – Ертош қ.	51,6	2340	1951-2020	1967-1992
9	Нишбошсой – Нишбош қ.	141	2050	1951-2020	1962-1992
10	Жиблансой – Жиблан қ.	19	1960	1981-2020	1981-2020
11	Дукантсой – Дукант ш.	201	2210	1971-2020	1973-1992
12	Қорабоғсой – Самарчук қ.	166	1031	1949-2020	1962-2020
13	Шаугазсой – Қоратош қ.	65,8	1660	1951-2020	1962-1992
14	Абжазсой – Абжазсой қ.	70,5	1590	1978-2020	1980-2020

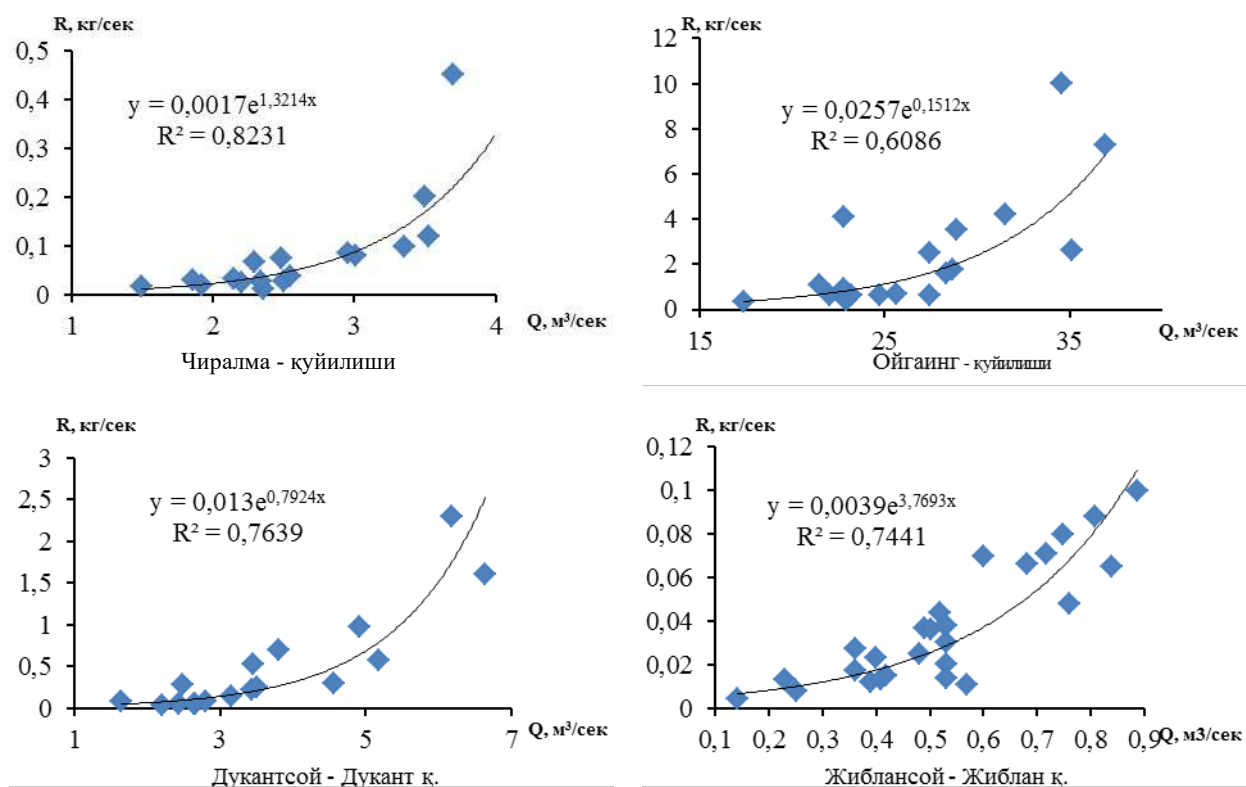


1-расм. Атмосфера ёғинлари ойлик миқдорларининг йил давомида тақсимланиши

Рис. 1. Внутригодовое распределение месячных сумм атмосферных осадков

Fig. 1. Annual distribution of monthly atmospheric precipitation

Графиклар асосида дарёларнинг сув ва муаллақ оқизиклар сарфлари боғлиқлигини ифодаловчи регрессия тенгламалари олинди ва уларнинг аниқлиги баҳоланди (2-жадвал). Мазкур тенгламалар асосида Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзасидаги тоғ дарёларида муаллақ оқизиклар оқими маълумотларидаги узилишлар тикланиб, бир маънолига келтирилди.



2-расм. Дарёларнинг ўртача йиллик муаллақ оқизиклари (\bar{R}_r) билан сув сарфлари (\bar{Q}_r) орасидаги боғланишлар графиклари

Рис. 2. Графики связи между средними годовыми расходами взвешенных наносов (\bar{R}_r) и воды (\bar{Q}_r)

Fig. 2. Graphs of the relationship between the average annual flow rates of suspended sediment (\bar{R}_r) and water (\bar{Q}_r)

Ушбу графикларнинг регрессия тенгламалари асосида муаллақ оқизиклар сарфлари маълумотларидаги узилишлар тикланди. Натижада барча дарёларнинг ўртача йиллик оқизиклар сарфлари бир маъноли қаторларга келтирилди. Чирчиқ-Охангарон ҳавзаси дарёлари сув ва муаллақ оқизиклар сарфлари боғлиқлигини ифодаловчи регрессия тенгламалари тузилди ва уларнинг аниқлиги баҳоланди. Регрессия тенгламаларининг деярли 60 фоизи 0,800 дан йирик қийматларни ташкил этди. Тенгламаларнинг 30 фоизи 0,700 дан баланд бўлди. Чиралма дарёсида (0,900) бу қиймат энг йирик кўрсаткичга эга бўлди. Фақат айрим дарёларда, яъни Қорабоғсой (0,516) ва Абжазсойда (0,643) бу қийматлар нисбатан кичикроқ қийматларни ташкил этди.

Атмосфера ёгинларининг тури (қор, ёмғир), К.С.Кабанова [Кабанова, 1952], О.П.Щеглова [Щеглова, 1972, 1983], Ф.Х.Ҳикматов [Ҳикматов, 2011] ва бошқаларнинг тадқиқотларида қайд этилганидек, дарёларнинг лойқа оқизиклари ҳосил бўлишига турлича таъсир кўрсатади. Шу туфайли дарёлар муаллақ оқизиклари оқимиға иқлимий омилларнинг таъсирини баҳолашда уларнинг ёгинлар тури, яъни қор ва ёмғир кўринишида ёғиши ҳисобга олинди.

2-жадвал

**Дарёларнинг сув ва муаллақ окизиклари сарфлари боғлиқлигини ифодаловчи
регрессия тенгламалари**

Таблица 2

**Уравнения регрессии зависимостей между расходами воды и взвешенных наносов
рек**

Table 2

**Regression equations for the relationships between water flows and suspended sediments of
rivers**

Т.р.	Дарё*	Регрессия тенгламаси	$r \pm \sigma_r$
1	Чотқол	$R_{\text{ўрт}} = 0,934 \cdot e^{0,027 \cdot Q}$	$0,876 \pm 0,017$
2	Писком	$R_{\text{ўрт}} = 0,203 \cdot e^{0,048 \cdot Q}$	$0,811 \pm 0,033$
3	Ойгаинг	$R_{\text{ўрт}} = 0,0257 \cdot e^{0,1512 \cdot Q}$	$0,864 \pm 0,044$
4	Чиралма	$R_{\text{ўрт}} = 0,0017 \cdot e^{1,3214 \cdot Q}$	$0,900 \pm 0,031$
5	Майдонтол	$R_{\text{ўрт}} = 0,042 \cdot e^{0,19 \cdot Q}$	$0,766 \pm 0,072$
6	Угом	$R_{\text{ўрт}} = 0,421 \cdot e^{0,111 \cdot Q}$	$0,787 \pm 0,032$
7	Оҳангарон	$R_{\text{ўрт}} = 0,133 e^{0,145 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,817 \pm 0,035$
8	Қизилчасой	$R_{\text{ўрт}} = 0,005 e^{2,67 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,778 \pm 0,058$
9	Нишбошсой	$R_{\text{ўрт}} = 0,015 e^{0,443 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,787 \pm 0,057$
10	Жиблансой	$R_{\text{ўрт}} = 0,0039 e^{3,7693 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,898 \pm 0,026$
11	Дукантсой	$R_{\text{ўрт}} = 0,013 e^{0,792 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,874 \pm 0,039$
12	Қорабоғсой	$R_{\text{ўрт}} = 0,021 e^{0,465 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,516 \pm 0,070$
13	Шаугазсой	$R_{\text{ўрт}} = 0,0011 e^{3,88 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,804 \pm 0,049$
14	Абжазсой	$R_{\text{ўрт}} = 0,006 e^{2,233 \cdot Q_{\text{ўрт}}}$	$0,643 \pm 0,075$

Изоҳ: * кузатиш пунктлари номи 1-жадвалда келтирилган; $r \pm \sigma_r$ – корреляция коэффициенти ва унинг хатолиги.

Примечание: * наименование точек наблюдения приведено в таблице 1; $r \pm \sigma_r$ – коэффициент корреляции и его ошибка.

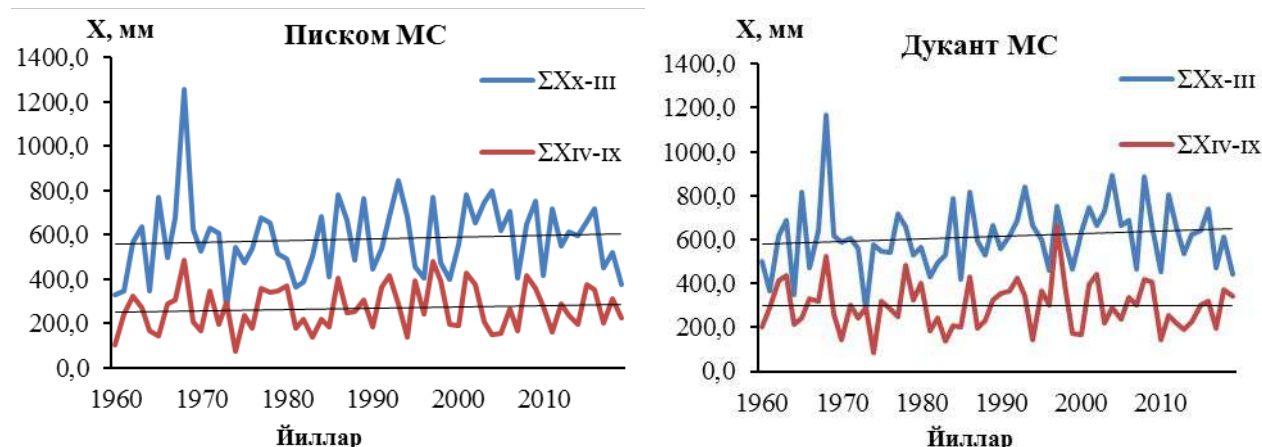
Note: * names of observation points are given in Table 1; $r \pm \sigma_r$ – correlation coefficient and its error.

Ёғинлар икки турга, яъни қишки (ΣX_{X-III}) ва ёзги (ΣX_{IV-IX}) ёғинларга ажратилди. Қишки ёғинларга октябрь-март ойларида асосан қор шаклида, ёзги ёғинларга эса апрель-сентябрь ойларида кўпроқ ёмғир кўринишидаги ёғадиган ёғинлар киради (3-расм).

Ҳарорат режимининг индекси сифатида ўрганилаётган дарёлар ҳавзаларидаги метеорология станцияларида илиқ ярим йилликда (апрель-сентябрь) кузатилган ўртача ҳаво ҳарорати (\bar{t}_{IV-IX}) маълумотларидан фойдаландик.

Ҳисоблашлар Г.А.Алексеев [Алексеев, 1971] таклиф этган корреляцион боғланишларни объектив тенглаштириш ва нормаллаштириш усулида бажарилди. Чунки мазкур усулнинг афзалликлари куйидагиларда акс этади: 1) кўп ҳадли боғланишлар зичлиги статистик баҳоланади; 2) ҳар бир дарё учун кўпҳадли боғланишларнинг нормаллаштирилган регрессия тенгламалари тузилади; 3) нормаллаштирилган регрессия тенгламаларига аргументларнинг қўшган ҳиссалари ва уларнинг самарадорлиги баҳоланади.

Мазкур усулни гидрометеорологик ҳисоблашлар амалиётида қўллаш механизми Г.А.Алексеев [Алексеев, 1971], Ф.Х.Ҳикматов [Ҳикматов, 2011] ва бошқаларнинг тадқиқотларида батафсил баён этилган.



3-расм. Қишки (ΣX_{X-III}) ва ёзги (ΣX_{IV-IX}) ёғинлар йиғиндиларининг йиллараро тебранишлари (1960-2020 йй.)

Рис. 3. Многолетние колебания сумм зимних (ΣX_{X-III}) и летних (ΣX_{IV-IX}) осадков (1960-2020 гг.)

Fig. 3. Long-term fluctuations in the amounts of winter (ΣX_{X-III}) and summer (ΣX_{IV-IX}) precipitation (1960-2020)

Мазкур тадқиқотда ҳисоблашлар қуйидаги кетма-кетликда амалга оширилди:

- 1) ўзгарувчилар, яъни дарёларнинг ўртача йиллик муаллақ оқизиклари сарфлари ($\bar{R}_{\bar{R}}$), қишки (ΣX_{X-III}) ва ёзги (ΣX_{IV-IX}) ёғинлар ҳамда ёзги ҳаво ҳарорати (\bar{t}_{IV-IX}) миқдорларидан ташкил топган қаторлари ўсиб бориш тартибида қайта тузилди;
- 2) уларнинг ўсиб боровчи қаторларидаги тартиб рақамлари асосида қатор аъзоларининг эмпирик эҳтимолликлар ҳисобланди;
- 3) ўзгарувчиларнинг, яъни муаллақ оқизиклар сарфлари [$U_0(\bar{R}_{\bar{R}})$], қишки [$U_1(\Sigma X_{X-III})$] ва ёзги [$U_2(\Sigma X_{IV-IX})$] атмосфера ёғинлари ҳамда ёзги ҳаво ҳарорати [$U_3(\bar{t}_{IV-IX})$] нинг меъёрлаштирилган қийматлари аниқланди;
- 4) гидрометеорологик ўзгарувчилар нормаллаштирилган қийматларининг жуфт кўпайтмалари ҳисобланди;
- 5) жуфт кўпайтмаларнинг йиғиндилари асосида эмпирик ковариация коэффицентлари ($\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \mu_{12}, \mu_{13}, \mu_{23}$) ва жуфт корреляция коэффицентлари ($r_{01}, r_{02}, r_{03}, r_{12}, r_{13}, r_{23}$) Г.А.Алексеев [Алексеев, 1971] таклиф этган ифодалар асосида ҳисобланди;
- 6) жуфт корреляция коэффицентларининг ҳисобланган қийматлари ва номаълум регрессия коэффицентларидан ($\alpha_{01}, \alpha_{02}, \alpha_{03}$) иборат чизикли тенгламалар системаси тузилди;
- 7) ушбу чизикли тенгламалар системасидаги номаълум регрессия коэффицентларидан ($\alpha_{01}, \alpha_{02}, \alpha_{03}$) қийматлари ҳисобланди;
- 8) регрессия коэффицентларини ҳисобга олган ҳолда, нормаллаштирилган регрессия тенгламаси тузилди;
- 9) нормаллаштирилган регрессия тенгламасининг аниқлиги кўрсаткичи – тўлиқ корреляция коэффиенти (r_0) ва унинг хатолиги (σ_{r_0}) ҳисобланди.

Тадқиқотда бажарилиши лозим бўлган ишлар юқорида баён этилган кетма-кетликда амалга оширилди. Унинг навбатдаги босқичида ўрганилаётган дарёлар муаллақ оқизиклари сарфлари билан иқлимий омиллар орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффицентлари ($r_{01}, r_{02}, r_{03}, r_{12}, r_{13}$ ва r_{23}) аниқланди. Ҳисоблашлар биринчи базавий (ББИД, 1961-1990 йй.) ва жорий (ЖИД, 1991-2020 йй.) иқлимий даврлар учун амалга оширилди (3-жадвал).

Муаллақ оқизиклар сарфлари билан қишки ёғинлар орасидаги боғланишлар жуфт корреляция коэффициентларининг энг катта қиймати ($r=0,835$) ББИДда Писком (Муллала) дарёсида қайд этилган бўлса, энг кичик қиймати ($r=0,430$) Нишбошсойга (Нишбош қ.) тўғри келди. ЖИДда корреляция коэффициентининг энг катта кўрсаткичи ($r=0,801$) Чотқол (Худойдотсой д.к.), энг кичик қиймати ($r=0,086$) эса Қорабоғсой (Самарчук қ.) учун олинди.

Дарёларнинг муаллақ оқизиклари сарфлари билан ёзги ёғинлар орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффициентлари ББИДда $0,289 \div 0,696$ ораликда ўзгарди. ЖИДда эса уларнинг ўзгаришлари $0,224 \div 0,621$ ораликни ташкил қилди. Шунингдек, дарёлар муаллақ оқизиклари оқими билан ёзги ҳаво ҳарорати орасидаги боғланишлар жуфт корреляция коэффициентлари қийматларининг кўпчилик ҳолатларда манфий қийматларга эга бўлганлигини алоҳида қайд этиш лозим.

3-жадвал

Муаллақ оқизиклар сарфлари билан метеорологик омиллар орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффициентлари

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции связей между расходами взвешенных наносов и метеорологическими факторами

Table 3

Pair correlation coefficients of relationships between suspended sediment flow and meteorological factors

Т.р.	Дарё*	Жуфт корреляция коэффициентлари		
		r_{01}	r_{02}	r_{03}
1	Чотқол	0,514/0,801	0,501/0,478	-0,331/-0,397
2	Писком	0,835/0,498	0,466/0,457	-0,233/-0,461
3	Ойгаинг	0,685/0,345	0,325/0,409	-0,285/-0,250
4	Чиралма	0,857/0,300	0,501/0,266	-0,218/-0,190
5	Майдонтол	0,787/0,104	0,456/0,399	-0,268/-0,111
6	Угом	0,596/0,633	0,289/0,495	-0,382/-0,385
7	Охангарон	0,781/0,456	0,538/0,497	-0,252/-0,585
8	Қизилчасой	0,477/0,758	0,550/0,521	-0,201/-0,639
9	Нишбошсой	0,430/0,539	0,607/0,368	-0,388/-0,699
10	Жиблансой	0,601/0,433	0,377/0,464	-0,422/-0,331
11	Дукантсой	0,668/0,504	0,512/0,621	-0,003/-0,292
12	Қорабоғсой	0,696/0,086	0,446/0,224	-0,385/0,235
13	Шаугазсой	0,484/0,639	0,696/0,480	-0,457/-0,469
14	Абжазсой	0,614/0,133	0,479/0,359	-0,351/-0,073

Изоҳ: * кузатиш пунктлари номи 1-жадвалда келтирилган. r_{01} , r_{02} , r_{03} – муаллақ оқизиклар сарфлари билан, мос равишда, қишки ва ёзги ёғинлар ҳамда ёзги ҳаво ҳароратлари орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффициентлари; касрнинг сурати ББИДга, махражи эса ЖИДга тегишли.

Примечание: * наименование точек наблюдения приведено в таблице 1. r_{01} , r_{02} , r_{03} – парные коэффициенты корреляции связей между расходами взвешенного наноса, зимними и летними осадками и летними температурами воздуха соответственно; числитель дроби принадлежит ПБКП, а знаменатель ТКП.

Note: * names of observation points are given in Table 1. r_{01} , r_{02} , r_{03} – pairwise correlation coefficients of relationships between suspended sediment discharges, winter and summer precipitation and summer air temperatures, respectively; the numerator of the fraction belongs to FBCP, and the denominator belongs to CCP.

Регрессия коэффициентларининг (α_{01} , α_{02} , α_{03}) қийматларини аниқлаш мақсадида юқорида қайд этилган қуйидаги уч номаълумли чизикли тенгламалар системаси тузилди:

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

Ушбу системанинг бош (Δ) ва ёрдамчи (Δ_{01} , Δ_{02} , Δ_{03}) детерминантлари Крамер усулида аниқланди. Сўнг, уларнинг нисбатлари асосида, регрессия коэффициентларининг қийматлари қуйидаги ифодалар ёрдамида ҳисобланди:

$$a) \alpha_{01} = \frac{\Delta_{01}}{\Delta}, \quad b) \alpha_{02} = \frac{\Delta_{02}}{\Delta}, \quad в) \alpha_{03} = \frac{\Delta_{03}}{\Delta}. \quad (2)$$

Регрессия коэффициентлари ўрганилаётган Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзасидаги ҳар бир дарё учун аниқланди (4-жадвал).

4-жадвал

Регрессия ва тўлиқ корреляция коэффициентларининг қийматлари

Таблица 4

Значения коэффициентов регрессии и полных коэффициентов корреляции

Table 4

Values of regression coefficients and full correlation coefficients

Т.р.	Дарё – кузатиш жойи	α_{01}	α_{02}	α_{03}	$r_0 \pm \sigma_{r_0}$
1	Чотқол	0,739/0,432	0,099/0,363	-0,152/-0,109	0,830±0,065/0,669±0,106
2	Писком	0,766/0,410	0,185/0,410	0,008/-0,244	0,853±0,067/0,710±0,095
3	Ойгаинг	0,699/0,224	0,058/0,325	0,083/-0,003	0,722±0,092/0,459±0,168
4	Чиралма	0,779/0,276	0,287/0,256	0,177/0,042	0,922±0,029/0,399±0,179
5	Майдонтол	0,724/0,095	0,162/0,562	0,023/0,275	0,806±0,067/0,514±0,157
6	Угом	0,599/0,557	0,240/0,352	-0,394/-0,081	0,759±0,081/0,747±0,085
7	Оҳангарон	0,707/0,229	0,298/0,220	0,140/0,373	0,864±0,049/0,657±0,109
8	Қизилчасой	0,293/0,571	0,488/0,199	0,131/-0,236	0,829±0,060/0,659±0,109
9	Нишбошсой	0,172/0,248	0,489/0,045	-0,061/-0,595	0,752±0,084/0,628±0,116
10	Жиблансой	0,491/0,329	0,082/0,210	-0,203/-0,081	0,642±0,113/0,496±0,145
11	Дукантсой	0,553/0,351	0,380/0,578	0,154/0,151	0,762±0,081/0,752±0,084
12	Қорабоғсой	0,615/0,158	0,064/0,468	-0,166/0,551	0,722±0,092/0,499±0,144
13	Шаугазсой	0,181/0,522	0,555/0,280	-0,093/0,045	0,699±0,098/0,718±0,093
14	Абжазсой	0,491/0,064	0,250/0,440	0,064/0,191	0,667±0,107/0,425±0,158

Изоҳ: * кузатиш пунктлари номи 1-жадвалда келтирилган. α_{01} , α_{02} ва α_{03} – регрессия коэффициентлари; $r_0 \pm \sigma_{r_0}$ – тўлиқ корреляция коэффициенти ва унинг хатолиги; касрнинг сурати ББИДга, махражи эса ЖИДга тегишли.

Примечание: * наименование точек наблюдения приведено в таблице 1. α_{01} , α_{02} и α_{03} – коэффициенты регрессии; $r_0 \pm \sigma_{r_0}$ – полный коэффициент корреляции и его ошибка; числитель дроби принадлежит ПБКП, а знаменатель ТКП.

Note: * names of observation points are given in Table 1. α_{01} , α_{02} and α_{03} – regression coefficients; $r_0 \pm \sigma_{r_0}$ – total correlation coefficient and its error; the numerator of the fraction belongs to FBCP and the denominator belongs to CCP.

Регрессия коэффициентларининг ҳисобланган қийматлари ўрганилаётган барча дарёлар учун нормаллаштирилган регрессия тенгламаларини тузиш имконини беради. Дарёларнинг муаллақ оқизиклари билан иқлимий омиллар орасидаги боғланишларни ифодаловчи ушбу тенгламалар қуйидаги умумий кўринишга эга бўлди:

$$U_0(\bar{R}_{\text{д}}) = \alpha_{01} \cdot U_1(\Sigma X_{\text{X-III}}) + \alpha_{02} \cdot U_2(\Sigma X_{\text{IV-IX}}) + \alpha_{03} U_3(\bar{t}_{\text{IV-IX}}),$$

ифодада $U_0(\bar{R}_{\text{д}})$, $U_1(\Sigma X_{\text{X-III}})$, $U_2(\Sigma X_{\text{IV-IX}})$, $U_3(\bar{t}_{\text{IV-IX}})$ – ўзгарувчиларнинг нормаллаштирилган қийматлари.

Дарёлар муаллақ оқизиклари оқимини миқдорий баҳолаш имконини берадиган нормаллаштирилган регрессия тенгламаларининг аниқлиги баҳоланди (4-жадвал). Шу мақсадда боғланишлар зичлигини ифодаловчи тўлиқ корреляция коэффициентлари (r_0) ва уларнинг хатоликлари (σ_{r_0}) ҳисобланди. Ушбу умумий кўринишдаги тенглама алоҳида олинган дарё учун регрессия коэффициентларининг қийматлари билан фарқ қилади.

Нормаллаштирилган регрессия тенгламасида қишки ёғинларнинг аҳамиятини ифодалайдиган регрессия коэффициентларининг қийматлари ББИД учун $0,172 \div 0,766$ ораликда ўзгарди. ЖИДда бу кўрсаткичлар $0,064 \div 0,571$ ораликда ўзгарди. Мазкур тенгламада ёзги ёғинларнинг муаллақ оқизиклар оқими ҳосил бўлишига қўшган хиссаларини ифодаловчи регрессия коэффициентларининг қийматлари ББИДда $0,058 \div 0,55$ ораликда, ЖИДда эса $0,199 \div 0,578$ ораликда ўзгарди. Ёзги ҳаво ҳарорати ($\bar{t}_{\text{IV-IX}}$) нинг аҳамиятини ифодалайдиган регрессия коэффициентларининг қийматлари айрим дарёларда манфий қийматларга эга бўлди.

Бажарилган тадқиқотнинг асосий **хулосалари** сифатида қуйидагиларни қайд этиш мумкин.

1. Чирчиқ-Оҳангарон ҳавзасидаги табиий сув режимига эга бўлган тоғ дарёларида сув сарфлари доимий кузатиладиган гидрологик постлар маълумотлари тўпланди. Улардаги узилишлар тикланиб, муаллақ оқизиклар қаторлари бир маънолига келтирилди.

2. Дарёлар муаллақ оқизиклар оқими ҳосил бўлишининг метеорологик омилларга боғлиқлиги статистик баҳоланди. Ҳисоблашлар Г.А.Алексеев таклиф этган корреляцион боғланишларни объектив тенглаштириш ва нормаллаштириш усулини қўллаш асосида амалга оширилди.

3. Дарёлар муаллақ оқизикларини баҳолаш имконини берадиган нормаллаштирилган регрессия тенгламалари олинди. Ушбу тенгламаларининг аниқлигини ифодаловчи тўлиқ корреляция коэффициентлари ва уларнинг хатоликлари ҳисобланди. Тўлиқ корреляция коэффициентларининг қийматлари ББИДда $0,642 \div 0,922$ ораликда, ЖИДда эса $0,399 \div 0,752$ ораликда ўзгарди. Тенгламалардан дарёлар муаллақ оқизиклари оқими миқдорини баҳолашга оид гидрологик ҳисоблашларда фойдаланиш тавсия этилади.

Миннатдорлик. Муаллифлар ушбу илмий мақолани тайёрлаш жараёнида ўз ёрдами ва илмий маслаҳатларини аямаган Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Куруклик гидрологияси ва метеорология кафедраси профессор-ўқитувчиларига ўзларининг чуқур миннатдорчиликларини изҳор этадилар.

Муаллифлар ҳиссаси. **Ф. Ҳикматов:** методология, мақола ғояси, раҳбарлик, олинган натижаларнинг таҳлили, мақолани расмийлаштириш. **О.Т. Холтожиева:** мақола матнини ёзиш, гидрологик ҳисоблашларни бажариш, олинган натижаларнинг таҳлили, мақолани расмийлаштириш. **З.Ф. Ҳакимова:** маълумотларни тўплаш, мавзу доирасида тегишли гидрологик ҳисоблашларни бажариш. **Н.А. Рахимов:** тадқиқот учун зарур бўлган гидрометеорологик маълумотларни тўплаш, уларни бирламчи қайта ишлаш. Муаллифлар

кўлёманинг нашрга тавсия этилган матнини ўқиб чиқдилар ва ўз розиликларини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

- Алексеев Г.А.* Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 363 с.
- Айтбаев Д.П.* Оценка эрозионной деятельности и стока взвешенных наносов рек Чирчик-Ахангаранского бассейна. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Ташкент, 2006. – 26 с.
- Жумабаева Г.У., Рахмонов К.Р.* Тоғ дарёлари муаллақ окизиклари ва сув сарфларининг ўзгарувчанлиги ҳақида // Ўзбекистон география жамияти, 56-жилд, – 2019. – Б. 221-224.
- 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.: Гидрометеоиздат, 1977. – 272 с.
- Лопатин Г.В.* О водной эрозии и стока наносов в горной области Средней Азии // Вопросы географии. – 1949. – N 15. – С. 193-204.
- Маккаев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 346 с.
- Расулов А.Р.* Формирование стока взвешенных наносов и смыл с поверхности бассейна р. Угом. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Ташкент, 1972. – 28 с.
- Рахмонов К.Р.* Чирчик-Охангарон хавзаси дарёлари муаллақ окизикларининг экстремал кийматларини аниқлаш // Ўзбекистон География жамияти ахбороти, 32-жилд, – 2008. – Б. 50-51.
- Саидова С.Р.* Внутрисуточный ход мутности воды рек бассейна Чирчика // Сб. науч. трудов ТашГУ. – 1976. – N 523. – С. 85-95.
- Сирлибаева З.С.* К вопросу о расчете максимальных расходов взвешенных наносов на реках бассейна Карадарьи // Сб. науч. трудов ТашГУ. – 1980. – N 624. – С. 43-49.
- Ташметов Х.К.* Генетический анализ стока взвешенных наносов горных рек Грузии / Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов по водному хозяйству “Внедрение НИР в водное хозяйство”. – Ташкент, 1981. – С. 142-144.
- Хикматов Ф.Х.* Водная эрозия и сток взвешенных наносов горных рек Средней Азии. – Ташкент: «Fan va technology», 2011. – 248 с.
- Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 232 с.
- Шамов Г.И.* Речные наносы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 378 с.
- Щеглова О.П.* Генетический анализ и картографирование стока взвешенных наносов рек Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 127 с.
- Шульц В.Л.* Реки Средней Азии. Ч. 1,2. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 691 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

О.Т. ХОЛТОЖИЕВА¹, З.Ф. ХАКИМОВА¹, Ф.Х. ХИКМАТОВ¹, Н.А. РАХИМОВ²

¹ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

² Ташкентский областной гидрометеорологический центр

Аннотация. Статья посвящена статистической оценке влияния метеорологических факторов на формирование стока взвешенных наносов горных рек. Этот вопрос освещен в работе на примере рек Чирчик-Ахангаранского бассейна. Вычисления произведены с применением

объективного метода выравнивания и нормализации корреляционных связей, предложенного Г.А.Алексеевым. Получены нормированные уравнения регрессии связей между переменными и оценена их точность.

Ключевые слова: река, расходы воды взвешенные наносы, атмосферные осадки, температура воздуха, коэффициент корреляции, уравнение регрессии, оценка.

DEPENDENCE OF FORMATION OF SUSPENDED SEDIMENT IN MOUNTAIN RIVERS ON METEOROLOGICAL FACTORS

O.T. KHOLTOJIEVA¹, Z.F. KHAKIMOVA¹, F.X. XIKMATOV¹, N.A. RAHIMOV²

¹ National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

² Tashkent regional Hydrometeorological center

Abstract. The article is devoted to a statistical assessment of the influence of meteorological factors on the formation of suspended sediment in mountain rivers. This issue is illuminated in the work using the example of the rivers of the Chirchik-Akhangaran basin. Calculations were made using the objective method of alignment and normalization of correlations proposed by G.A. Alekseev. Normalized regression equations for relationships between variables were obtained and their accuracy was assessed.

Keywords: river, water flow, suspended sediment, precipitation, air temperature, correlation coefficient, regression equation, assessment.

REFERENCES

Alekseev G.A. Obyektivnye metody vyrovnivaniya i normalizatsii korelyatsionnih svyazey [Objective methods for leveling and normalizing correlations]. – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – 363 s. (in Russian)

Aytbaev D.P. Otsenka erozionnoy deyatelnosti i stoka vzveshennykh nanosov rek Chirchik-Ahangaranskogo basseyna [Evaluation of erosive detail in the stock of suspended particles in the Chirchik-Ohangaran Basin]. Autoref. diss. ... condidate. geogr. science – Tashkent, 2006. – 26 s. (in Russian)

Jumabaeva G.U., Rahmonov K.R. Tog daryolari muallaq oqizidlari va suv sarflarining ozgaruvchanligi haqida [On the variability of mountain rivers suspended flow and water consumption] // Ozbekiston Geografiya jamiyati axboroti, 56-jild, – 2019. – B. 221-224. (in Uzbek)

Ivanov Y.N. Stock vzveshennykh nanosov rek basseyna Sirdaryi [Suspended sediment runoff of rivers in the Syrdarya basin]. – Tr. SANIGMI. – 1967. – Vip. 36(51). – 309 s. (in Russian)

Kabanova K.S. Geneticheskiy analiz rejime stoka vzveshennih nanosov rek Sredney Azii [Genetic analysis of the suspended sediment flow regime of rivers in Central Asia] // Uchen. zap. LGU. Ser. geograficheskaya. – 1952. – № 152. – Vip. 8. – S. 107-158. (in Russian)

Karushev A.V. Teoriya i metodi rascheta rechnih nanosov [Theory and methods for calculating river sediments]. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 272 s. (in Russian)

Lopatin G.V. O vodnoy erozii i stoka nanosov o gornoy oblasti Sredney Azii [On water erosion and sediment runoff in the mountainous region of Central Asia] // Voprosi geografii. – 1949. – N 15. – S. 193-204. (in Russian)

Makkaveev N.I. Ruslo reki i eroziya v ee basseyne [River bed and erosion in its basin]. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. – 346 s. (in Russian)

Rasulov A.R. Formirovanie stoka vzveshennykh nanosov i smyv s poverkhnosti basseyna r. Ugom [Formation of suspended sediment runoff and washout from the urface of the river basin. Ugom]. Autoref. diss. ... condidate. geogr. science. – Tashkent, 1972. – 28 s. (in Russian)

Rahmonov K.R. Chirchik-Ohangaron havzasi daryolari muallaq oqizidlarning ekstremal qiymatlarini aniqlash [Determining the extreme values of the suspended discharges of rivers of the Chirchik-Ohangaron basin] // Ozbekiston Geografiya jamiyati axboroti, 32-jild, – 2008. – B. 50-51.

(in Uzbek)

Saidova S.R. Vnutrisutochnyy hod mutnosti vody rek pool Chirchika [Daily variation of water turbidity in the rivers of the Chirchik basin] // Sb. nauch. trudov TashGU. – 1976. – N 523. – S. 85-95. (in Russian)

Sirlibaeva Z.S. K voprosu o raschete maksimalnih rashodov vzveshennih nanosov na rekax basseynе Karadari [On the issue of calculating the maximum discharge of suspended sediment on the rivers of the Kara Darya basin] // Sb. nauch. trudov TashGU. – 1980. – N 624, – S. 43-49. (in Russian)

Tashmetov H.K. Geneticheskiy analiz stoka vzveshennih nanosov gornih rek Gruzii [Genetic analysis of suspended sediment runoff in Georgian mountain rivers] / Tezisy dokladov Respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodih uchenih i spetsialistov po vodnomu hozyaystvu “Vnedrenie NIR v vodnoe hozyaystvo”. – Tashkent, 1981. – S. 142-144. (in Russian)

Xikmatov F.X. Vodnaya eroziya i stok vzveshennix nanosov gornih rek Sredney Azii [Water erosion and suspended sediment runoff in mountain rivers of Central Asia]. – Tashkent: "Fan va texnologiya", 2011. – 248 s. (in Russian)

Chalov R.S. Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsesov [Geographical studies of channel processes]. – M.: Izd-vo MGU, 1979. – 232 s. (in Russian)

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

Sheglola O.P. Geneticheskiy analiz i kartografirovaniye stoka vzveshennykh nanosov rek Sredney Azii [Genetic analysis and mapping of suspended sediment flow in rivers of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 127 s. (in Russian)

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

УДК 556.54.133

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

Т.А. АХМЕДОВА¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, t.akhmedova1962@gmail.com

Аннотация. В данной статье описан метод отсеков с применением системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Используя данный метод можно составить прогноз развития ситуации и предложить мероприятия по предотвращению распространения загрязнения, его локализации и, в конечном итоге, предотвращению ущерба, как природной среде, так и экономике. При разработке метода расчета переноса загрязняющих веществ в поверхностных водах выявлены условия перехода от дифференциальных уравнений к системе обыкновенных алгебраических уравнений. Расчеты выполнены по данной модели на примере участка реки Чирчик, для которого известны основные источники загрязнения.

Ключевые слова: сток, уравнение, сосредоточенный приток, загрязняющие вещества, бассейн реки, модель, качество воды, мероприятия, дифференциальное уравнение.

Введение. Ухудшение качества поверхностных вод происходит из-за наличия различных видов загрязнителей от деятельности человека, такие как сельское и коммунальное хозяйство, промышленность, строительство и т.д. Таким образом, наличие

¹ t.akhmedova1962@gmail.com, +998 90 350-35-95

различных загрязнителей в водных объектах может привести к ухудшению качества поверхностных вод.

Для проектной и эксплуатационной практики с одной стороны необходима достаточная точность решения оценки качества поверхностных вод, а с другой - высокая оперативность, позволяющая производить массовые расчеты исследуемых объектов и оценивать возможное развитие ситуации.

В настоящее время наиболее действенным путем сочетания этих свойств являются экспресс – методы, т.е. методы, позволяющие быстро и с достаточной для практических целей точностью определить скорость распространения и концентрацию загрязняющих веществ в водотоках, т.е. составить прогноз развития ситуации и предложить мероприятия по предотвращению распространения загрязнения, его локализации и, в конечном итоге, предотвращению ущерба, как природной среде, так и экономике.

Инженерные задачи, решаемые в природоохранной практике, часто требуют быстрого принятия хорошо обоснованных решений. А современные инструменты, имеющиеся в наличии, не позволяют этого сделать. В работе [Дружинин, Шишкин, 1989] указано, что широко распространенное математическое моделирование, даже с использованием персональных компьютеров, требует значительных затрат времени во всяком случае на подготовку исходных данных. С другой стороны, практика чаще всего не требует использования точного моделирования, точного совпадения используемых моделей с фактически происходящими процессами. Как отмечено, одним из наиболее важных факторов, который должен быть принят во внимание при расчете распространения и трансформации загрязняющих веществ в водных объектах, является именно адекватность фактически происходящих в природной среде процессов применяемым моделям. Там же, показано, что существует большое количество моделей различной сложности, по которым можно вести исследования распространения загрязняющих веществ в водных объектах, исследованы границы применимости моделей и выработаны рекомендации по их практическому применению.

Интенсивное хозяйственное использование водных источников с одной стороны и повышение требований к качеству забираемой из них с другой, ставит ряд задач, от правильного решения которых зависит экологическая безопасность водных объектов.

Наиболее важными из них являются: определение концентраций загрязняющих веществ в водных объектах; исследование распространения загрязняющих веществ под воздействием естественных природных факторов и специальных инженерных мероприятий, необходимых для регулирования качества воды, как в водных объектах, так и на водозаборах; оценка фактического состояния качества воды водного источника и прогноз его изменения.

Исследуемая река относится к наиболее изученным речным бассейнам Центральной Азии. Постоянные и многолетние комплексные наблюдения, проводимые Узгидрометом и специализированными институтами, позволили к настоящему времени получить достаточно подробную картину развития процессов изменения качества поверхностных вод, вызванных антропогенным воздействием [Рубинова, 2005].

В республике проводились работы по оценке гидрологических и гидрохимических характеристик реки Чирчик в разные периоды. Однако после достижения независимости Узбекистана целенаправленных мониторинговых исследований в полной мере не проводились.

Цель работы разработка оперативного метода расчета распространения загрязняющих веществ в поверхностных водах.

Объект исследования. Река Чирчик – один из крупнейших водотоков Ташкентской области Республики Узбекистан, вода которой используется для хозяйственно-питьевых, культурно-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных нужд (рис.1).

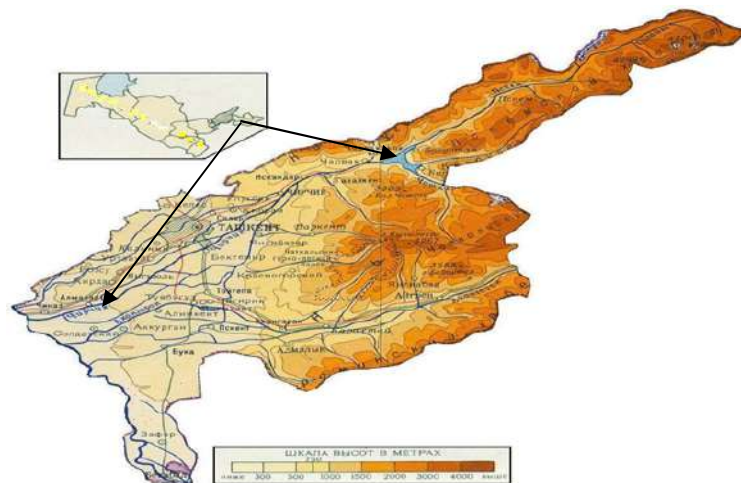


Рис. 1. Местоположение объекта исследования

Fig. 1. Location of the research object

Материалы исследования. В работе использованы архивные материалы гидрометфонда Агентства гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, материалы прежних статей автора, статей в соавторстве Е.М.Видинеевой, Ю.М.Денисовым, Д.Р.Базаровым, а также статьей Ф.Э.Рубиновой, Ю.Н.Иванова, Н.И.Дружинина, А.С.Шайна, G.K.George и других.

Методы исследования. Для обоснования первоочередных мероприятий по улучшению гидроэкологического состояния р. Чирчик и выработки стратегии управления качеством воды необходимо иметь численные оценки, позволяющие сравнивать степень воздействия различных источников загрязнения. Эта задача решалась с помощью математического моделирования процессов переноса загрязняющих веществ в р. Чирчик.

Для задач, решаемых при разработке природоохранных мероприятий, связанных в основном, с разработкой прогнозов распространения загрязняющих веществ в поверхностных водах различных водных объектов, достаточно хорошим и надежным инструментом является математическое моделирование. Основу такого моделирования составляют уравнения механики турбулентного потока. Такие уравнения могут быть использованы для описания многочисленных практически важных процессов и явлений в водной среде [Денисов, Ахмедова, 2002].

Для принятия обоснованных решений и рекомендаций по мероприятиям охраны водных объектов от загрязнения необходимо не только производство гидрохимических наблюдений, но и методика расчета для получения численных оценок степени загрязнения вод от различных источников и переноса загрязняющих веществ поверхностными водотоками.

В последние годы разработано большое количество математических моделей изменения качества воды, которые при определенных условиях могут быть использованы для прогнозных расчетов.

При наличии сосредоточенных и распределенных притоков и оттоков вдоль водотока достаточно эффективным является метод, предложенный Ю.М.Денисовым и

М.З.Зияходжаевым [Денисов, Зияходжаев, 1977], в котором учитывалась продольная сила потока, приводящая к появлению второй частной производной скорости потока по его длине. Этот метод трудоемок при численной реализации.

Задача была решена Ю.М.Денисовым и Т.А.Ахмедовой методом отсеков и применением системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка без использования нерегулярной дельта функции Дирака. Кроме того, выявлена возможность перехода от дифференциальных уравнений к системе обыкновенных алгебраических уравнений.

Очевидно, что для конкретной реки предварительно необходимо создать схему расположения объектов – сосредоточенных источников загрязнения вод, выделить береговые участки с возможным загрязнением реки от распределенного загрязнителя, наметить створы на реке, которые определяют границы отсеков. Желательно, чтобы границы отсеков совпадали с местом проведения контрольных наблюдений за гидрохимическим состоянием вод.

В этом случае появляется возможность определения значений необходимых «исходных» величин на входе потока в отсек и контроля расчетных значений концентрации загрязняющих веществ в воде на выходе потока из отсека. Для уравнений балансов используется схема притоков и оттоков для отсека.

Пусть определено N отсеков, а также количество сосредоточенных притоков N_P и водозаборов N_Z для каждого из отсеков (рис.2).

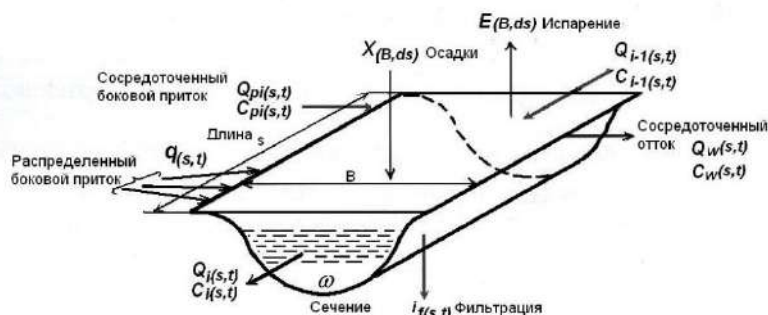


Рис. 2. Схема к выводу уравнений баланса воды и веществ в водном отсеке

Fig. 2. Diagram for the derivation of the equations of balance of water and substances in the water compartment

Уравнение водного баланса i -того отсека (индекс i -того отсека для упрощения записи пропущен, где это возможно) имеет вид:

$$\frac{dW}{dt} = Q_{i-1} - Q_i - Q_f + \sum_{j=1}^{N_P} Q_{Pj} - \sum_{m=1}^{N_Z} Q_{Zm} + (a_x - E)BS + q_P S, \quad (1)$$

где: Q_{i-1}, Q_i – расходы соответственно на входе и на выходе i -того отсека; Q_f – расход на фильтрацию; Q_{Pj}, Q_{Zm} – сосредоточенные расходы j -того притока и m -вого водозабора; $(a_x - E)$ – разность интенсивностей осадков на водную гладь и испарения с нее; B, S – соответственно средняя ширина отсека и его длина; q_P – распределенный по длине S боковой приток к отсеку.

Обозначив ω – площадь живого сечения потока; u – среднюю по ω скорость течения воды в отсеке, можно записать:

$$W = \omega S, \quad Q = \omega u \quad W = \frac{QS}{u}.$$

Как показал В.М.Денисов [Денисов, 1982] средняя по живому сечению скорость течения воды на участке русла может быть представлена соотношением:

$$u = b \sqrt{\frac{QJ}{n_s^2}}, \quad (2)$$

где: J – уклон водной поверхности отсека; n_s – коэффициент шероховатости русла рассматриваемого отсека; b – параметр ($b \approx 0,244$), подлежащий оптимизации.

Из этих соотношений следует:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2S}{3b} \sqrt{\frac{n_s^2}{JQ}} \frac{dQ}{dt}$$

Отсюда:

$$\tau_Q \frac{dQ}{dt} = Q_{i-1} - Q_i - Q_f + \sum_{j=1}^{j=N_p} Q_{pj} - \sum_{m=1}^{m=N_z} Q_{zm} + (a_x - E)BS + q_p S, \quad (3)$$

где: $\tau_Q = \frac{2S}{3b} \sqrt{\frac{n_s^2}{JQ}}$. Здесь: τ_Q – характерное время релаксации i -того отсека по его наполнению или опорожнению.

Уравнение баланса массы k -того загрязняющего вещества с концентрацией C_k в том же рассматриваемом отсеке:

$$\frac{dC_k W}{dt} = C_k(Q_{i-1} - Q_i) - C_{kf}^* Q_f + \sum_{j=1}^{j=N_p} C_{kpj} Q_{pj} - C_k \sum_{m=1}^{m=N_z} Q_{zm} + C_{kx} a_x BS + C_{kp} q_p S + \sum_r \varepsilon_{kr} W - \mu_k C_k W \quad (4)$$

где: ε_{kr} – переход k -того вещества в r -тое в единице объема в единицу времени (интенсивность его разложения или участия в химической реакции); μ_k – постоянная распада k -того вещества с размерностью обратной времени $[\mu_k] = c^{-1}$; $C_{kf}^* = C_{kf}$ – при фильтрации из отсека в грунтовые воды ($Q_f > 0$); $C_{kf}^* = C_{kg}$ – при фильтрации грунтовых вод в отсек ($Q_f < 0$).

Поскольку

$$\frac{d(C_k W)}{dt} = W \cdot \frac{dC_k}{dt} + C_k \cdot \frac{dW}{dt}, \quad \text{то} \quad \frac{dC_k}{dt} = \frac{1}{W} \left(\frac{d(C_k W)}{dt} - C_k \frac{dW}{dt} \right). \quad (5)$$

Поставив в последнее выражение необходимые соотношения, в итоге получим:

$$\tau_C \frac{dC_k}{dt} = \frac{\tau_C}{W} [C_k(Q_{i-1}) - C_{kf}^* Q_f + \sum_{j=1}^{N_p} C_{kpj} Q_{pj} + C_{kx} a_x BS + C_{kp} q_p S] + \tau_C \sum_{r=1} \varepsilon_{kr} - C_k \quad (6)$$

где: τ_C – время релаксации концентрации веществ в i -том отсеке:

$$\tau_C = \left\{ \mu_k + \frac{1}{W} [Q_{i-1} - Q_f + \sum_{j=1}^{N_p} Q_{pj} + (a_x - E)BS + q_p S] \right\}^{-1} \quad (7)$$

Системы уравнений (1) и (4) для отсеков решаются методом Рунге-Кутты четвертого порядка при заданных начальных условиях и необходимых величинах, входящих в эти уравнения.

Конечно-разностная форма записи уравнений (1) и (4) включает шаг по времени Δt .

$$\tau_{Qi} \frac{dQ_i}{dt} = \frac{\tau_{Qi}}{\Delta t} [Q_i(t + \Delta t) - Q_i] \quad (8)$$

$$\tau_{Ci} \frac{dC_i}{dt} = \frac{\tau_{Ci}}{\Delta t} [C_{Ci}(t + \Delta t) - C_{Ci}] \quad (9)$$

Отношение времени релаксации к шагу по времени $\tau/\Delta t$ является важной характеристикой. Чем оно больше, тем больший вклад в дифференциальное уравнение вносит производная по времени или в нестационарность процесса.

Основные результаты и их обсуждение. Расчеты по данной модели с вычислением времени релаксации были проведены на примере участка реки Чирчик, для которой имелось несколько створов [Ахмедова, 2007], гидрохимические данные, а также

известны основные источники коммунально-бытового и промышленного загрязнения [Базаров, Ахмедова, 2006].

Участок реки представлялся состоящим из трех отсеков ($i=1,2,3$) с длинами $S_1=6500$ м, $S_2=7200$ м, и $S_3=5800$ м. Заданы: бытовой уклон $I=0,001$; шероховатость $n=0,030$; параметр $b=0,236$; постоянная распада $\mu=1 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$; шаг по времени $\Delta t=1800$ с. В третьем отсеке нет притоков и водозабора (табл. 1). Фильтрационный и распределенный расходы, осадки и испарение. приняты нулевыми. Размерности: расходов в $\text{м}^3/\text{с}$, концентраций в $\text{г}/\text{м}^3$.

Река представляется системой из n последовательно соединенных емкостей с объемами воды в них W_i , длиной каждого отсека S_i и расходами воды, вытекающими из них Q_i (рис. 3).

Таблица 1

Исходные данные для модельного расчета

Table 1

Initial data for the model calculation

Шаг J	Вход		1 отсек		2 отсек		1 отсек		2 отсек	
	Q_{0j}	C_{0j}	Q_{p11j}	Q_{p12j}	Q_{z11j}	Q_{p21j}	Q_{z21j}	C_{p11j}	C_{p12j}	C_{p21j}
1	51,2	112	8,7	6,3	13,7	16,2	5,2	337	638	316
2	61,4	152	12,3	2,8	4,6	20,6	12,1	235	284	520
3	93,7	95	5,6	25,7	21,3	7,7	15,6	516	557	207
4	72,1	68	18,3	11,5	9,2	30,1	10	183	175	130
5	105	52	15,7	17,3	7,3	25,1	12	138	113	95
6	119	61	13,2	18,8	8,1	22,3	8,2	121	131	118
7	131	72	10,8	14,0	2,3	19,1	4,3	147	215	137
8	128	77	21	11,7	1,5	14,7	3,4	215	273	212

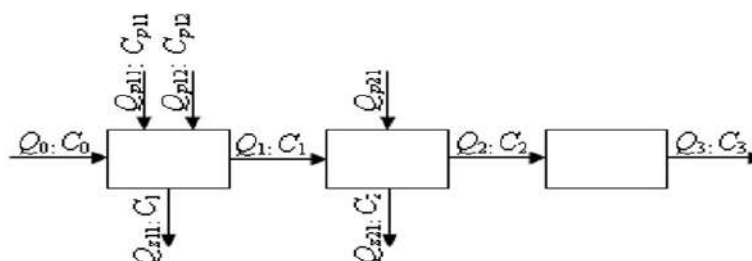


Рис. 3. Функциональная схема

Fig. 3. Functional diagram

Как видим, из таблицы 2, что время релаксации не превосходит 1,5 часов. В целом математическое моделирование физически правильно характеризует протекание процесса, описываемого дифференциальными уравнениями.

Следует отметить, что применение данных измерений с большим интервалом (ежемесячно) приводит к неустойчивости решений дифференциальных уравнений. При этом отношение $\tau/\Delta t \approx 0,002$, что практически сводит на нет влияние производной искомой величины по времени. В этом случае дифференциальные уравнения превращаются в обычные алгебраические уравнения.

Это позволяет сравнить фактические и рассчитанные концентрации загрязняющих веществ для каждого месяца года и построить график внутригодового хода концентраций

загрязняющих веществ. На рис. 4 для примера показана связь фактических величин концентрации нитритов с рассчитанными величинами (2 отсек) для среднего течения реки Чирчик. Коэффициент детерминации достаточно высок ($R^2 = 0,96$).

Таблица 2

Результаты расчетов расходов и концентраций загрязняющих веществ для трех отсеков

Table 2

The results of calculations of costs and concentrations of pollutants for three compartments

Шаг J	1 отсек		2 отсек		3 отсек	
	Q_{1j}	C_{1j}	Q_{2j}	C_{2j}	Q_{3j}	C_{3j}
<i>Начальные значения вытекающих расходов воды и концентраций веществ в отсеках</i>						
1	57,3	215	55,1	183	48,4	195
2	60,2	209	59,1	208	51,4	192
3	70,8	209	61,5	226	54,5	196
4	80,2	198	67,7	221	58	201
5	92,1	160	78,9	206	62,7	201
6	109	129	90,8	186	71,8	196
7	125	112	105	164	82	186
8	138	107	119	148	94,2	173
<i>Среднее время релаксации</i>						
секунды	4017	4714	4638	5247	3967	4737
минуты	67	79	77	87	66	79
часы	1,12	1,31	1,29	1,45	1,10	1,32

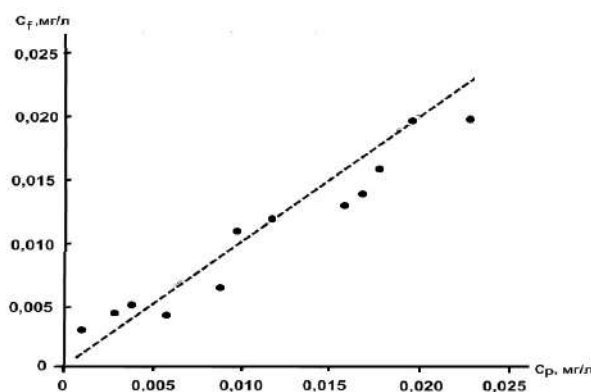


Рис. 4. График связи фактических величин C_f концентраций нитритов с рассчитанными величинами C_p (2 отсек)

Fig. 4. Graph of the relationship of the actual values of C_f concentrations of nitrites with the calculated values of C_p (2 compartment)

Выводы. Математическая модель переноса загрязняющих примесей в открытых водотоках позволяет с достаточной для практики точностью рассчитать концентрацию загрязняющих веществ в любом створе реки с учетом сосредоточенных и распределенных притоков и оттоков.

Учитывая современные недостатки мониторинга за возникновением опасных ситуаций с загрязнением вод, применение расчетных методов для оценки ситуаций представляется рациональным методом контроля.

Выполненные расчеты на фактическом материале и анализ полученной информации о фактическом состоянии реки Чирчик, позволил оценить степень влияния на качество воды отдельных источников загрязнения и предложить ряд мероприятий по защите речных вод для среднего течения р. Чирчик (от г.Газалкента до створа «в черте г.Ташкента»).

Совершенно очевидно, что в связи с дальнейшим экономическим развитием Ташкентской области и увеличением населения будет ежегодно возрастать и потребность в пресной воде, но уже в настоящее время население республики испытывает острый ее недостаток. Положительно решить эту проблему помогут следующие мероприятия:

- среди организационно-хозяйственных мероприятий важен в первую очередь, запрет на освоение водоохраной зоны дачными и фермерскими хозяйствами;

- гидроэкологические мероприятия предусматривают реконструкцию и модернизацию очистных сооружений 1-бассейна г. Чирчика (эффективность очистных сооружений 13,37-28,25%), и буферных прудов завода “Максам-Чирчик”, а также исключение сброса загрязненных вод в реку;

- агротехнические мероприятия включают насаждение по берегам реки специальных видов растений, например, камыш, которые способствуют очистке поверхностного стока;

- максимальное сокращение безвозвратных потерь при потреблении и более рациональное использование ресурсов;

- повторное использование очищенных бытовых и производственных стоков, а также перевод емких водопотребителей на оборотные схемы промышленного водоснабжения;

- улучшение технологических процессов с целью уменьшения водопотребления, основной задачей является полное прекращение сброса в реки неочищенных и необезвреженных промышленных стоков;

- улучшение технологии орошения земель. Орошение земель характеризуется большими безвозвратными потерями пресной воды. До сих пор во многих странах при транспортировке воды применяется строительство ирригационных каналов без противоильтрационной одежды. При этом потери составляют 25-40% общего их расхода.

В настоящее время профилактические мероприятия для обеспечения качества вод реки Чирчик уже проводятся, что, несомненно, способствует оздоровлению экологической обстановки региона.

ЛИТЕРАТУРА

Алаудинов Д.Х., Домладжанов К.А., Царев Б.К. Классификация створов на реке Чирчик на основе меры сходства по гидрохимическим данным // Тр. САНИГМИ. – 1998. – Вып. 155(236). – С. 143-152.

Ахмедова Т.А. Метод отсеков для расчета движения воды и растворенных в ней веществ в реке // Доклады Академии Наук РУз. – 2007. – №2. – С.51-59

Ахмедова Т.А., Видинеева Е.М., Гафуров А.А. Загрязнение реки Чирчик биогенными веществами / Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ». Санкт-Петербург, 22-24 октября 2020 г. – С. 289-292.

Базаров Д.Р., Ахмедова Т.А. Основные источники коммунально-бытового и промышленного загрязнения реки Чирчик // Вопросы мелиорации. – 2006. – №5-6. – С. 44-47

Денисов Ю. М., Ахмедова Т.А. Математическая модель формирования гидрохимического режима реки / Материалы конференции «Проблемы перехода на рыночные отношения в отраслях водного хозяйства и мелиорации Узбекистана». Ташкент, 2002. – С. 45-47.

Денисов Ю.М., Зияходжаев М.З. О движении воды в руслах рек (каналов) с учетом динамических возмущений // Известия АН РУз. Серия технических наук. – 1977. – №6. – С. 53-56.

Денисов В.М. О средней скорости равномерного движения безнапорных турбулентных потоков // Тр. САНИИ Госкомгидромета. – 1982. – Вып. 94(175). – С. 66-74.

Дружинин Н.И. Шишкин. А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 389 с.

Рубинова Ф.Э., Иванов Ю.Н. Качество воды рек бассейна Аральского моря и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности. – Ташкент: НИГМИ, 2005. – 185 с.

Шайн А.С. Интегральные оценки и их использование при долгосрочном прогнозировании качества воды рек // Комплексные оценки качества поверхностных вод. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – С. 24-33.

George G.K., Arundev R., Parvathy M., Seethal P.V., Sanjith P. Water quality analysis of edappally canal using gis mapping // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2017. Vol. 04, Is. 04, – PP. 1664-1669.

Chapman D.V., Bradley C., Gettel G.M., Hatvani I.G., Hein T., Kovacs J., Liska I., Oliver D.M., Tanos P., Trasy B., Varbiro G. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example // Environmental Science & Policy, 2016. Vol. 64. – PP. 141–154.

ЕР УСТИ СУВЛАРИДА ИФЛОСЛАНТИРУВЧИ МОДДАЛАРНИНГ КЎЧИШИ ЖАРАЁНИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ

Т.А. АХМЕДОВА¹

¹ Гидрометеорология илимий-тадқиқот институти

Аннотация. Ушбу мақолада биринчи даражали оддий дифференциал тенгламалар тизимидан фойдаланган бўлимлар усули баён қилинган. Мазкур бўлимлар усулидан фойдаланиб, ер усти сувларида содир бўладиган вазиятнинг ривожланишини башорат қилиши, ифлослантирувчи моддаларнинг тарқалишини бартараф этиши, уни локализация қилиши ва охир оқибат табиий муҳитга ҳам, иқтисодийга ҳам зарар етказилишининг олдини олиши чора-тадбирларини таклиф қилиши имконияти мавжуд. Ер усти сувларида ифлослантирувчи моддаларнинг тарқалишини ҳисоблаш усулини ишлаб чиқишда дифференциал тенгламалардан оддий алгебраик тенгламалар тизимига ўтиши шартлари аниқланди. Ушбу модель бўйича ҳисоб-китоблар жамланган ифлослантирувчи манбалари маълум бўлган Чирчиқ дарёси мисолида амалга оширилди.

Калит сўзлар: оқим, тенглама, жамланган, ирмоқ, ифлослантирувчи моддалар, дарё ҳавзаси, модель, сув сифати, тадбирлар, дифференциал тенглама.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF TRANSPORT OF POLLUTANTS IN SURFACE WATERS

T.A. AKHMEDOVA¹

¹ Hydrometeorological Research Institute

Abstract. The article describes the compartment method using a system of first-order ordinary differential equations. Using this method, it is possible to make a forecast of the development of the situation and propose measures to prevent the spread of pollution, its localization and, ultimately, the

prevention of damage to both the natural environment and the economy. When developing the method, the conditions for the transition from differential equations to a system of ordinary algebraic equations were identified. Calculations were performed using this model using the example of a section of the Chirchik River, for which the main sources of pollution are known.

Keywords: runoff, equation, concentrated inflow, pollutants, river basin, model. water quality, measures, differential equation.

REFERENCES

Allaudinov D.X., Domlajanov K.A., Tsarev B.K. Klassifikatsiya stvorov na reke Chirchik na osnovemeri skhodstva po gidrokhimicheskim dannim [Classification of gates on the Chirchik River based on a measure of similarity according to hydrochemical data] // Tr. SANIGMI. – 1998. – №155 (236). – S. 143-152. (in Russian)

Akhmedova T.A. Metod otsekov dlya rascheta dvijeniya void i rastvorennikh v ney veshestv v reke [The method of compartments for calculating the movement of water and dissolved substances in the river] // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. – 2007. – №2. –S. 51-59. (in Russian)

Akhmedova T.A., Vidineeva E.M., Gafurov A.A. Zagryaznenie reki Chirchik biogennimi veshestvami [Pollution of the Chirchik River by biogenic substances] / International Scientific and Practical Conference "Modern problems of hydrometeorology and Environmental Monitoring in the SNG». Sankt-Peterburg, 22-24 October 2020. – S. 289-292. (in Russian)

Bazarov D.R., Akhmedova T.A. Osnovnie istochniki kommunalno-bitovogo i promishlennogo zagryazneniya reki Chirchik. [The main sources of municipal and industrial pollution of the Chirchik River] // Journal Land reclamation. – 2006. Issues №5-6. – S. 44-47. (in Russian)

Denisov Yu.M., Akhmedova T.A. Matematicheskaya model formirovaniya gidrokhimicheskogo rejima reki [Mathematical model of the formation of the hydrochemical regime of the river] / Conference materials "Problems of transition to market relations in the water management and land reclamation industry of Uzbekistan". Tashkent, 2002. – S. 45-47. (in Russian)

Denisov Yu.M., Ziyakhodjayev M.Z. O dvijenii vodi v ruslakh rek(kanalov) s uchedom dinamicheskikh vozmusheniy [On the movement of water in riverbeds (channels) taking into account dynamic disturbances] // Izvestia of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. Series of Technical Sciences. – 1977. – №6. – S. 53-56. (in Russian)

Denisov V.M. O sredney skorosti ravnomernogo dvijeniya beznaporhikh turbulentnix potokov [On the average speed of uniform motion of non-pressurized turbulent flows] // Trudi SANII Goskomgidrometa. – 1982. – №. 94(175), – S. 66-74. (in Russian)

Drujinin N.I., Shishkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie zagryaznenie poverkhnostnix vod sushi [Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution]. – L.: Gidrometeoizdat, 1989. – 389 s. (in Russian)

Rubinova F.E., Ivanov YU.N. Kachestvo void rek basseyna Aralskogo moray i ego izmeneniya pod vliyaniem khozyaestvennoy deyatelnosti [The water quality of the rivers of the Aral Sea basin and its change under the influence of economic activity]. – Tashkent: 2005. –185 s. (in Russian)

Shayn A.S. Integralniye otsenki i ikh ispolzovanie pri dolgosrochnom prognozirovanie kachestva vodi rek [Integral estimates and their use in long-term forecasting of river water quality] // Comprehensive assessment of surface water quality. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – S. 24-33 (in Russian)

УДК: 556.18+556.114

АМУДАРЁ ВА СИРДАРЁ ОҚИМИ МИҚДОРЛАРИНИ ХХ АСРНИНГ БИРИНЧИ ЧОРАГИДАГИ СУВ ЎЛЧАШ МАЪЛУМОТЛАРИ АСОСИДА БАҲОЛАШ

А.З. УМАРОВ^{1*}, Ф. ҲИКМАТОВ¹

Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, umarovalisher.392.@gmail.com

***Аннотация.** Мақола Амударё ва Сирдарё оқими миқдорларини уларда ХХ асрнинг I чорагида амалга оширилган илк стационар гидрологик кузатиш маълумотлари асосида баҳолаш масалаларига бағишланган. Шу мақсадда дарёларнинг Керки ва Бекобод гидрологик постларида 1910-1925 йиллар давомида ўлчанган сув сарфлари маълумотларидан фойдаланилган. Мазкур постларда бажарилган сув ўлчаш ишлари материаллари таҳлил қилиниб, уларда аниқланган узилишлар турли усуллар ёрдамида тикланган. Ҳисоблашлар натижалари асосида ҳар икки дарёда ҳам 1917 йил кам сувли, 1921 йил кўп сувли бўлганлиги аниқланган.*

***Калит сўзлар:** дарё, гидрологик пост, сув сарфи, тиклаш, оқим миқдори, баҳолаш, кам сувли йил, кўп сувли йил, ўртача сувли йил.*

Кириш. Маълумки, мамлакатимиз иқтисодиёти турли тармоқларининг сувга бўлган эҳтиёжи, Амударё ва Сирдарё ҳавзалари дарёлари оқими ҳисобига қопланади. Амударё оқими асосан кўшни Тожикистон Республикаси ҳудудида ҳосил бўлса, Сирдарё сув ресурсларининг катта қисми қардош Қирғизистон Республикаси сарҳадларида шаклланади. Ҳар икки дарё гидрологик режими элементларини илк инструментал ўрганиш ишлари XIX асрнинг 2-ярмида ташкил этилган махсус экспедициялар мутахассислари томонидан бажарилган.

Амударё ва Сирдарёда дастлабки стационар гидрологик кузатишлар ХХ асрнинг I чорагида, уларнинг узунликлари бўйича ташкил этган гидрологик постларда, амалга оширилган. Хусусан, бундай стационар кузатишлар Сирдарёнинг Бекобод гидрологик постида 1910 йилдан, Амударёнинг Керки гидрологик постида эса 1911 йилдан бошланган [Умаров, Хайдарова, 2024].

Ҳозирги кунда Амударёда сув ўлчаш ишлари, унинг узунлиги бўйича Тожикистон, Ўзбекистон ва Туркменистон республикалари ҳудудларида жойлашган гидрологик постларда амалга оширилади. Уларда тўпланган гидрологик маълумотлар Тожикистон Республикаси, мамлакатимизнинг Сурхондарё, Қашқадарё, Навоий, Бухоро, Хоразм вилоятлари, Қорақалпоғистон Республикаси ҳамда кўшни Туркменистон Республикаси иқтисодиёти турли тармоқларининг сув билан таъминлаш муаммолари ечимига хизмат қилади.

Худди шу каби Сирдарёдаги сув ўлчаш постлари Ўзбекистон, кўшни республикалар – Тожикистон ва Қозоғистон ҳудудларида жойлашган. Уларнинг маълумотлари мамлакатимизнинг Андижон, Фарғона, Наманган, Жиззах, Сирдарё вилоятлари, Тожикистон ва Қозоғистон республикалари тегишли вилоятлари иқтисодиётининг сув истеъмолчилари ва ундан фойдаланувчи тармоқлари учун ўта муҳим ҳисобланади.

Бугунги кунда, глобал миқёсда кузатилаётган иқлим илиши жараёни натижасида, ҳар икки дарё сув ресурсларининг йилдан-йилга камайиб бориши кузатилмоқда. Шу билан бирга, кўшни Афғонистон ҳам 2023 йилнинг ноябрь ойидан бошлаб, Қўштепа

* Масъул муаллиф: umarovalisher.392.@gmail.com, тел.: +998 90 118-30-80

канални орқали, Амударёдан катта миқдорда сув ола бошлади. Мазкур ҳолатлар келажакда Амударё ва Сирдарёнинг куйи оқимида жойлашган мамлакатларда сув танқислигининг йилдан-йилга янада кучайиб боришига сабаб бўлиши аниқ. Ушбу масалалар билан боғлиқ ҳолда, Амударё ва Сирдарё оқимига тегишли бўлган тарихий гидрологик маълумотларни тўплаш, уларни бирламчи қайта ишлаш, умумлаштириш, дарёларнинг XX асрнинг I чарагида кузатилган оқими миқдорларидаги ойлик ва йиллик ўзгаришларни таҳлил қилиш, ушбу миқдорларни ҳозирги ҳолат билан солиштириш, улардан тегишли илмий-амалий хулосалар чиқариш **долзарб** масалалардан бири ҳисобланади.

Муаммонинг ўрганилганлиги. Ўрта Осиёнинг бош дарёлари – Амударё ва Сирдарёнинг XIX асрнинг 2-ярми, XX асрнинг биринчи ярми ва ундан кейинги даврлардаги гидрологик режимини тадқиқ этишнинг умумий назарий ва услубий масалалари А.К.Проскуряков [Проскуряков, 1953], Г.В.Лопатин [Лопатин, 1957], М.М.Рогов [Рогов, 1968], В.Л.Шульц ва Л.И.Шалатова [Шульц, Шалатова, 1975], И.А.Шикломанов [Шикломанов, 1989] каби олимларнинг тадқиқотларида ёритилган. Кейинчалик, яъни ўтган XX асрнинг охириги чораги ва XXI асрнинг бошларида Орол ҳавзаси, жумладан, Амударё ва Сирдарё сув ресурсларини баҳолашга оид тадқиқотлар А.А.Рафиқов [Рафиқов, 1981], В.Е.Чуб [Чуб, 2000, 2007], Ф.Э.Рубинова [Рубинова, 2005], Е.Курбанбаев [Курбанбаев, 2011] каби олимлар томонидан амалга оширилган. Ҳозирги кунда мазкур йўналишдаги тадқиқотлар Ф.Х.Ҳикматов [Ҳикматов, 2008, 2020], В.А.Рафиқов [Рафиқов, 2009], Э.И.Чембарисов [Чембарисов, 2016], А.К.Курбаниязов [Курбаниязов, 2017], Р.Т.Хожамуратова [Хожамуратова, 2020], Б.Е.Аденбаев [Аденбаев, 2020, 2021] ва бошқалар томонидан давом эттирилмоқда. Қайд этиш лозимки, юқорида номлари тилга олинган барча олимларнинг тадқиқотларида Амударё ва Сирдарё оқими миқдорларини, XX асрнинг бошларида амалга оширилган дастлабки сув ўлчаш ишлари маълумотларига таянган ҳолда, баҳолаш масалалари алоҳида тадқиқот объекти сифатида кўриб чиқилмаган.

Мазкур тадқиқотнинг асосий **мақсади** Амударё ва Сирдарё оқими миқдорларини уларда XX асрнинг I чорагида, бошланган илк стационар гидрологик кузатишлар маълумотлари асосида баҳолашга қаратилган. Ушбу мақсадни амалга ошириш учун тадқиқотда куйидаги **вазифалар** белгилаб олинди ва ўз ечимини топди: 1) Амударёнинг Керки ва Сирдарёнинг Бекобод гидрологик постларида 1910-1925 йилларда бажарилган сув ўлчаш ишлари маълумотларини тўплаш; 2) тўпланган гидрологик маълумотларни таҳлил қилиш, кузатишлардаги узилишларни тиклаш; 3) ҳар икки сув ўлчаш постлари маълумотларини аналог дарёлар ёрдамида бир маъноли гидрологик қаторларга келтириш; 4) танлаб олинган ҳисоб даври учун Амударё ва Сирдарёга хос бўлган характерли сувли йилларни аниқлаш, улар оқими миқдорларининг йиллараро тебраниши ва йил давомида ойлар бўйича тақсимланишини баҳолаш.

Тадқиқот объекти ва предмети. Ишнинг **тадқиқот объектини** Амударёнинг Керки ва Сирдарёнинг Бекобод гидрологик постларида кузатилган ўртача ойлик ва йиллик сув сарфлари маълумотлари ташкил этади. Ушбу илк гидрологик постларда амалга оширилган сув ўлчаш ишлари натижаларини таҳлил қилиш, сув сарфларининг ойлик ва йиллик миқдорий ўзгаришларини баҳолаш ҳамда улардан тегишли хулосалар чиқариш масалалари тадқиқотнинг **предметини** белгилайди.

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари. Ишни бажариш жараёнида Амударёнинг Керки ҳамда Сирдарёнинг Бекобод гидрологик постларида 1910-1925 йилларда, уларга аналог сифатида танланган Чирчик (Хожикент) дарёсида 1900-1925 йилларда кузатилган сув сарфи маълумотларидан фойдаланилди. Тадқиқотда географик таққослаш, гидрологик ўхшашлик, ўрганилаётган дарёлар сув сарфларидаги

узилишларни тиклашда математик статистика усуллари, улар оқими миқдорларининг йиллараро ўзгарувчанлигини ҳамда йил давомида тақсимланишини баҳолашда эса замонавий гидрологик ҳисоблашлар усуллари қўлланилди.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Мамлакатимиз сув объектлари – дарёлари, кўлларида XX асрнинг бошларида амалга оширилган сув ўлчаш ишлари Ўрта Осиёда 1910 йилда ташкил этилган Ер ҳолатини яхшилаш бўлими таркибидаги Гидрометрик қисм фаолияти билан боғлиқдир. Мазкур қисм XX асрнинг дастлабки йилларидан бошлаб ўлкамиздаги дарёларда сув ўлчаш пунктларини ташкил эта бошлаган. Ўрта Осиё ҳудудида 1916 йилга келиб, Гидрометрик қисмга қарашли 14 та доимий ва 3 та вақтинчалик гидрологик станциялар, 110 та гидрометрик постлар фаолият кўрсатган. Гидрометрик постларнинг 47 тасида дарёлар сув сарфларини аниқлаш ишлари олиб борилган. Маълум тарихий воқеалар (октябрь тўнтариши) билан боғлиқ ҳолда, 1919-1923 йилларда уларнинг сони 55 тагача камайиб, сув сарфини ўлчаш ишлари фақатгина 16 та пуктда амалга оширилган. Шу билан бир вақтда, бу қисмнинг сув қидирув гуруҳи аъзолари 1910-1917 йилларда Керки шаҳридан Амударёнинг куйилишигача бўлган масофада 27 та таянч гидрологик пунктларни ташкил этганлар [Очерки ..., 1993].

Улардан бири – Керки гидрологик постида, XX асрнинг I чорагида гидрологик кузатишлар 7 йил, яъни 1911-1917 йиллар, давомида узлуксиз олиб борилган. Кейинчалик, бу ишлар 1918-1925 йилларда, маълум узилишлар билан давом эттирилган. Айниқса, 1921-1924 йилларда сув ўлчаш ишларида бир неча ойлар ва тўлиқ йиллар давомида узилишлар бўлган. Жумладан, 1918 йилнинг дастлабки 5 ойида (январь-май) кузатишлар амалга оширилмаган, сўнг июнь-декабрь ойларида давом эттирилган. Кейинчалик, 1919 йилда 6 ой (май-октябрь), 1920 йилда эса атиги 3 ой (январь-март) давомида сув сарфлари ўлчанган. Шундан сўнг, Керки гидропостида 5 йил давомида, яъни 1920 йилнинг апрель ойидан бошлаб, 1925 йилнинг апрель ойигача сув ўлчаш ишлари тўхтаб қолган. Кузатишлар 1925 йилнинг май ойидан қайта тикланган (1-жадвал).

1-жадвал

Керки ва Бекобод гидрологик постларида XX асрнинг I чорагида бажарилган сув ўлчаш ишлари ҳақида маълумот

Таблица 1

Сведения о водомерных работах, выполненных на гидрологических постах Керки и Бекабад в I четверти XX века

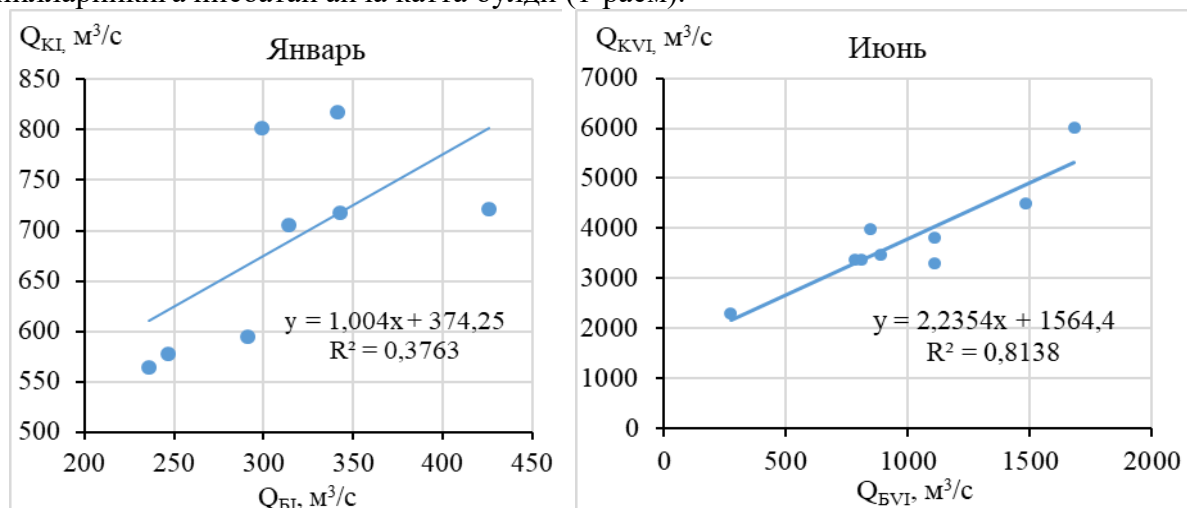
Table 1

Information on water measurement works carried out at the Kerki and Bekabad hydrological posts in the first quarter of the XX century

Гидрологик постлар	Сув сарфлари ўлчанган йиллар ва ойлар
Керки	1911-1917 (I-XII), 1918 (VI-XII), 1919 (I-IV, XI-XII), 1920 (I-III), 1925 (V-XII)
Бекобод	1910-1918 (I-XII), 1919 (III-XII), 1920-1925 (I-XII)

Амударёнинг Керки гидрологик постидан фарқли равишда, Сирдарёнинг Бекобод гидропостида сув сарфини ўлчаш ишлари 1910-1925 йиллар оралиғида анча сифатли бажарилган. Мазкур пост кузатувларида фақатгина 1919 йилнинг январь - февраль ойларидагина узилишлар мавжуд (1-жадвал). Ушбу ижобий ҳолат Амударёнинг Керки гидрологик постида бажарилган сув сарфларини ўлчаш ишларидаги узилишларни тиклашда Сирдарёнинг Бекобод гидропости маълумотларидан аналог сифатида фойдаланиш имкониятини яратди.

Амударёнинг Керки постида ўлчанган сув сарфларидаги узилишлар турли усулларда тикланди. Жумладан, мазкур постдаги ойлик сув сарфларини тиклашда $\bar{Q}_{KI}=f(\bar{Q}_{BI})$ боғланишлардан фойдаландик, ифодадаги $i=I, II, \dots, XII$ Керки ва Бекобод гидропостларида ўртача сув сарфлари аниқланган ойларнинг рим рақамларидир. Январь ойи учун тузилган $\bar{Q}_{KI}=f(\bar{Q}_{BI})$ боғланиш графигининг биринчи вариантыда 1912 йил ($Q_{KI}=817 \text{ м}^3/\text{с}$) ва 1915 йил ($Q_{KI}=802 \text{ м}^3/\text{с}$) га тегишли нуқталарнинг ординаталари бошқа йилларникига нисбатан анча катта бўлди (1-расм).



1-расм. Амударё (Керки) ва Сырдарё (Бекобод) дарёлари ўртача ойлик сув сарфларининг боғланиш графикалари

Рис. 1. Графики связи средних месячных расходов воды рек Амударьи (Керки) и Сырдарьи (Бекабад)

Fig. 1. Graphs of the connection between average monthly water discharges of the Amudarya (Kerki) and Syrdarya (Bekabad) rivers

Юқоридаги графикларда келтирилганидек, Керки ва Бекобод гидропостларида ўлчанган ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишларнинг жуфт корреляция коэффицентлари январь ойи учун $r=0,613$ га, июнда $r=0,902$ га тенг бўлди. Ушбу боғланишлар зичлигининг статистик кўрсаткичи, яъни жуфт корреляция коэффицентлари ва уларнинг хатоликлари барча ойлар учун аниқланди. Ҳисоблашлар компьютерда стандарт дастурлар асосида амалга оширилди ва боғланишларнинг регрессия тенгламалари олинди (2-жадвал).

Жадвал маълумотларидан кўришиб турибдики, ўрганилаётган гидрологик постларда ўлчанган ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишлар зичлигини ифодаловчи жуфт корреляция коэффицентларининг энг каттаси июнь ойига тўғри келди ($0,902 \pm 0,042$). Ушбу статистик кўрсаткичнинг энг кичик қиймати эса октябрь ойига тегишли бўлди ($0,171 \pm 0,218$). Таъкидлаш лозимки, жуфт корреляция коэффицентларининг қийматлари 12 та ойнинг биттасида $r > 0,900$, иккитасида $0,800 < r < 0,900$, бир ҳолатда $0,700 < r < 0,800$, учтасида $0,600 < r < 0,700$, яна иккитасида $0,400 < r < 0,500$ шартларини бажарди. Таҳлиллар натижасига кўра жуфт корреляция коэффицентларининг энг катта қийматлари дарёларда тўлинсув даври ойларига тўғри келди. Ижобий натижалар олинган ойларга тегишли бўлган боғланишларнинг регрессия тенгламалари ёрдамида Керки постида сув сарфларини ўлчаш ишларидаги узилишлар тикланди (2-расм).

Шунингдек, тадқиқотда Керки ва Бекобод гидрологик постларида ўлчанган ўртача йиллик сув сарфлари маълумотлари асосида тузилган, $\bar{Q}_{Кй}=f(\bar{Q}_{Бй})$ кўринишдаги боғланиш ҳам таҳлил қилинди (3-расм).

2-жадвал

Ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишларнинг регрессия тенгламалари ва уларнинг аниқлиги кўрсаткичлари

Таблица 2

Уравнения регрессии связей среднемесячных расходов воды и показатели их точности

Table 2

Regression equations of the relationships of average monthly water discharges and indicators of their accuracy

Т.р.	Ойлар	n	Регрессия тенгламалари	$r \pm \sigma_r$
1	Январь	8	$Q_{KI} = 1,004 Q_{BI} + 374,25$	$0,613 \div 0,148$
2	Февраль	8	$Q_{KII} = 1,0551 Q_{BII} + 375,57$	$0,670 \div 0,131$
3	Март	9	$Q_{KIII} = 1,3809 Q_{BIII} + 386,13$	$0,457 \div 0,177$
4	Апрель	8	$Q_{KIV} = 2,9154 Q_{BIV} + 284,62$	$0,862 \div 0,061$
5	Май	8	$Q_{KV} = 2,2352 Q_{BV} + 946,12$	$0,858 \div 0,063$
6	Июнь	9	$Q_{KVI} = 2,2354 Q_{BVI} + 1564,4$	$0,902 \div 0,042$
7	Июль	9	$Q_{KVII} = 4,1133 Q_{BVII} + 1260,3$	$0,788 \div 0,085$
8	Август	10	$Q_{KVIII} = 1,4741 Q_{BVIII} + 2995,5$	$0,357 \div 0,196$
9	Сентябрь	9	$Q_{KIX} = 4,9069 Q_{BIX} + 622,32$	$0,388 \div 0,191$
10	Октябрь	9	$Q_{KX} = 0,6101 Q_{BX} + 1009,8$	$0,171 \div 0,218$
11	Ноябрь	10	$Q_{KXI} = 2,4197 Q_{BXI} + 128,95$	$0,659 \div 0,127$
12	Декабрь	10	$Q_{KXII} = 1,7965 Q_{BXII} + 254,67$	$0,447 \div 0,179$

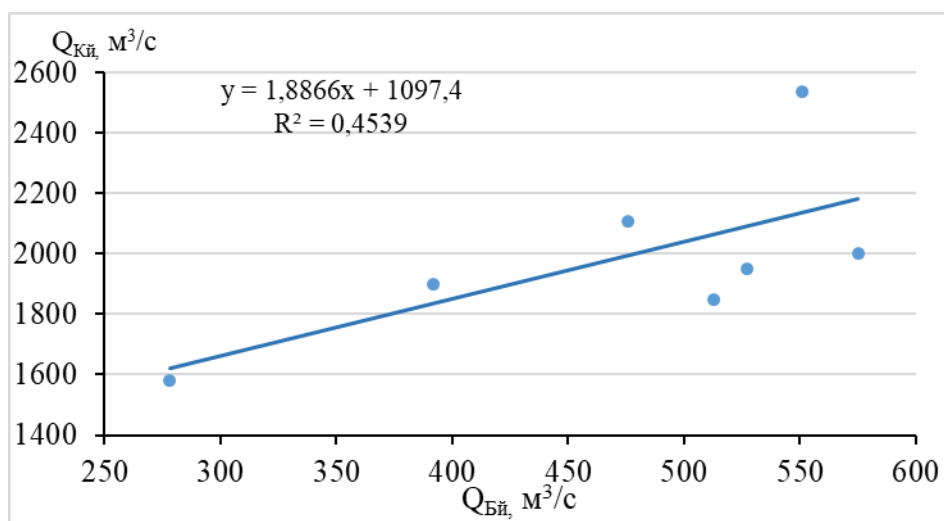
Изоҳ: n – параллел кузатиш йиллари сони; $r \pm \sigma_r$ – корреляция коэффициенти ва унинг хатолиги.

Примечание: n – количество лет параллельного наблюдения; $r \pm \sigma_r$ – коэффициент корреляции и его ошибка.

Note: n is the number of years of parallel observation; $r \pm \sigma_r$ is the correlation coefficient and its error.

Ҳисоблашларнинг натижаларига кўра, мазкур боғланиш зичлигини ифодаловчи жуфт корреляция коэффициенти $r \pm \sigma_r = 0,674 \pm 0,150$ қийматга тенг бўлган статистик кўрсаткич билан ифодаланди. Ушбу боғланишнинг регрессия тенгламасидан Амударёнинг Керки гидрологик постида тикланган ойлик сув сарфлари асосида ҳисобланган ўртача йиллик сув сарфларининг аниқлиги баҳоланди, айрим ҳолатларда уларга тузатмалар киритилди. Шунингдек, мазкур тенглама ҳар икки постлардаги ўртача йиллик сув сарфларида мавжуд бўлган узилишларни тиклаш имкониятини яратди.

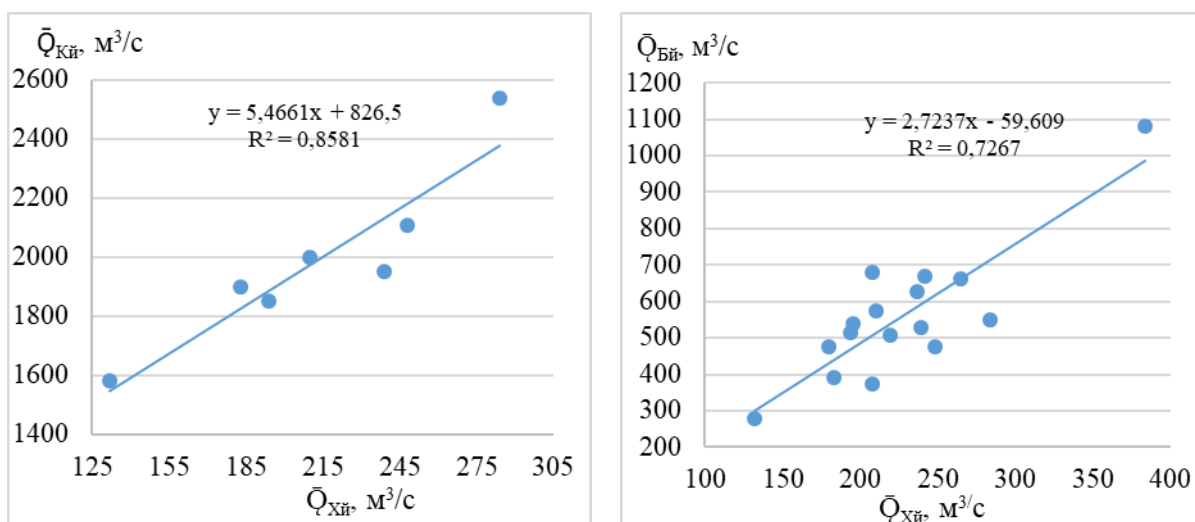
Тадқиқот иши жараёнида, юқорида қайд этилганидек, Керки ва Бекобод гидропостлари маълумотлари 1910-1925 йилларни қамраб олган бир маъноли қаторга келтирилди. Тадқиқот ишининг мақсадидан келиб чиқилган бўлса, ушбу ҳар икки гидропост маълумотларини XX асрнинг I чораги (1900-1925 йй.) учун тўлиқ тиклаш лозим эди. Ушбу масалани ҳал этиш мақсадида аналог дарё изланди. Ана шундай аналог сифатида сув сарфи ўлчаш ишлари 1900 йилдан бошланган Чирчиқ (Хожикент) дарёси танлаб олинди. Дастлаб Керки $\bar{Q}_{Кй}$, Бекобод $\bar{Q}_{Бй}$ ва Ходжикент $\bar{Q}_{Хй}$ гидропостлари ўртача йиллик сув сарфлари орасидаги $\bar{Q}_{Кй}=f(\bar{Q}_{Хй})$ ва $\bar{Q}_{Бй}=f(\bar{Q}_{Хй})$ кўринишдаги боғланишлар ўрганилди (3-расм).



2-расм. Амударё (Керки) ва Сирдарё (Бекобод) дарёлари ўртача йиллик сув сарфларининг боғланиш графиги

Рис. 2. График связи среднегодовых расходов воды рек Амударья (Керки) и Сырдарья (Бекабад)

Fig. 2. Graphs of the relationship between the average annual water discharges of the Amudarya (Kerki) and Syrdarya (Bekabad) rivers



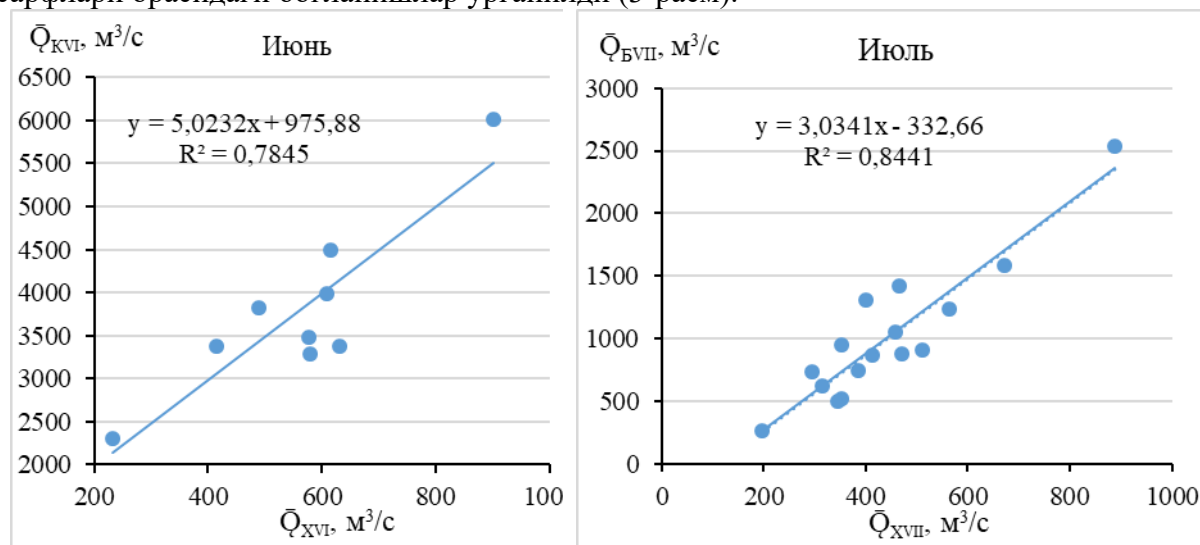
3-расм. Амударё (Керки), Сирдарё (Бекобод) ва Чирчик (Хожикент) дарёлари ўртача йиллик сув сарфларининг боғланиш графиклари

Рис. 3. Графики связи среднегодовых расходов воды рек Амударья (Керки), Сырдарья (Бекабад) и Чирчик (Ходжикент)

Fig. 3. Graphs of the relationship between the average annual water discharges of the Amudarya (Kerki), Sirdarya (Bekabad) and Chirchik (Khodzjikent) rivers

Мазкур, боғланишларнинг зичлигини ифодаловчи жуфт корреляция коэффициентлари Керки ва Хожикент гидропостларида $r \pm \sigma_r = 0,926 \pm 0,039$ га, Бекобод ва Хожикент гидропостларида эса ушбу статистик кўрсаткич $r \pm \sigma_r = 0,852 \pm 0,046$ қийматга тенг бўлди. Ушбу боғланишларнинг регрессия тенгламалари Амударёнинг Керки ва Сирдарёнинг Бекобод гидропостларида 1900-1910 йилларда ўртача йиллик сув сарфларида мавжуд бўлган узилишларни тиклаш имкониятни яратди.

Куйида юқоридаги каби ойлик сув сарфлари ҳам бир маъноли қаторга келтириш мақсадида аналог сифатида олинган Чирчиқ дарёси Хожикент гидропости маълумотларидан фойдаланиб, дастлаб, Керки ва Хожикент $\bar{Q}_{\text{КК-ХК}} = f(\bar{Q}_{\text{ХК-ХК}})$, сўнгра Бекобод ҳамда Хожикент $\bar{Q}_{\text{БК-ХК}} = f(\bar{Q}_{\text{ХК-ХК}})$, гидропостларида кузатишган ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишлар ўрганилди (3-расм).



4-расм. Керки, Бекобод ва Хожикент гидропостлари ўртача ойлик сув сарфларининг боғланиш графиклари

Рис. 4. Графики связи средних месячных расходов воды гидропостов Керки, Бекабад и Ходжикент

Fig. 4. Graphs of the relationship between the average monthly water discharges of the Kerki, Bekabad and Khodjkent hydroposts

Графикларда келтирилганидек, Керки ва Хожикент гидропостларида ўлчанган ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишлар жуфт корреляция коэффициентларини энг каттаси июнь ойида $r = 0,886$ га, Бекобод ва Хожикент гидропостларида эса июлда $r = 0,919$ га тенг бўлди. Ушбу боғланишлар зичлигининг статистик кўрсаткичи, яъни жуфт корреляция коэффициентлари ва уларнинг хатоликлари барча ойлар учун аниқланди ва боғланишларнинг регрессия тенгламалари олинди (3-жадвал).

Жадвалда аниқланган тенгламалардан кўриниб турибдики, Керки ва Хожикент гидрологик постларида ўлчанган ўртача ойлик сув сарфлари орасидаги боғланишлар зичлигини ифодаловчи жуфт корреляция коэффициентининг энг каттаси июнь ойига тўғри келди ($0,886 \pm 0,051$), энг кичик қиймати эса август ойига тегишли бўлди ($0,0017 \pm 0,283$).

Шунингдек, Бекобод ва Хожикент гидропостлари учун олинган ушбу статистик кўрсаткичларнинг энг каттаси август ойига ($0,929 \pm 0,024$), энг кичик жуфт корреляция

коэффициентининг қиймати эса январь-февраль ($0,243 \pm 0,170$) ойларига тегишли бўлди. Таҳлиллар натижасида жуфт корреляция коэффициентларининг энг катта қийматлари дарёларда тўлинсув даври ойларига тўғри келиши аниқланди.

3-жадвал

Керки, Бекобод ва Хожикент гидропостларида ўлчанган ўртача ойлик сув сарфлари боғланишларининг регрессия тенгламалари

Таблица 3

Уравнения регрессии связей среднемесячных расходов воды, измеренных на гидропостах Керки, Бекабад и Ходжикент

Table 3

Regression equations of the relationships between average monthly water discharges measured at the Kerki, Bekabad and Khodjikent hydroposts

Т.р.	Ойлар	n*	Регрессия тенгламалари	$r \pm \sigma_r$
1	Январь	$\frac{8}{15}$	$Q_{KI}=6,646 Q_{XI}+189,16$ $Q_{BI}=1,2728 Q_{XI}+242,91$	$0,561 \div 0,163$ $0,243 \div 0,170$
2	Февраль	$\frac{8}{15}$	$Q_{KII}=8,6477 Q_{XII}-74,578$ $Q_{BII}=1,3258 Q_{XII}+242,7$	$0,724 \div 0,113$ $0,243 \div 0,170$
3	Март	$\frac{9}{16}$	$Q_{KIII}=4,3241 Q_{XIII}+398,22$ $Q_{BIII}=1,2795 Q_{XIII}+225,82$	$0,843 \div 0,068$ $0,374 \div 0,152$
4	Апрель	$\frac{8}{16}$	$Q_{KIV}=3,8369 Q_{XIV}+521,72$ $Q_{BIV}=1,9795 Q_{XIV}-29,262$	$0,869 \div 0,062$ $0,831 \div 0,055$
5	Май	$\frac{8}{16}$	$Q_{KV}=3,54 Q_{XV}+832,85$ $Q_{BV}=1,6634 Q_{XV}+1,8828$	$0,819 \div 0,084$ $0,611 \div 0,112$
6	Июнь	$\frac{9}{16}$	$Q_{KVI}=5,0232 Q_{XVI}+975,88$ $Q_{BVI}=2,1767 Q_{XVI}-98,589$	$0,886 \div 0,051$ $0,761 \div 0,075$
7	Июль	$\frac{9}{16}$	$Q_{KVII}=9,769 Q_{XVII}+572,76$ $Q_{BVII}=3,0341 Q_{XVII}-332,66$	$0,769 \div 0,097$ $0,919 \div 0,027$
8	Август	$\frac{10}{16}$	$Q_{KVIII}=12,182 Q_{XVIII}+755,71$ $Q_{BVIII}=3,7924 Q_{XVIII}-301,3$	$0,0017 \div 0,283$ $0,929 \div 0,024$
9	Сентябрь	$\frac{9}{16}$	$Q_{KIX}=40,432 Q_{XIX}-3874,6$ $Q_{BIX}=3,9802 Q_{XIX}-157,75$	$0,467 \div 0,186$ $0,904 \div 0,032$
10	Октябрь	$\frac{9}{16}$	$Q_{KX}=0,8938 Q_{XX}+1117,7$ $Q_{BX}=3,4918 Q_{XX}-8,1992$	$0,057 \div 0,237$ $0,785 \div 0,066$
11	Ноябрь	$\frac{10}{16}$	$Q_{KXI}=8,9266 Q_{XXI}+100,95$ $Q_{BXI}=2,6069 Q_{XXI}+114,98$	$0,605 \div 0,142$ $0,767 \div 0,072$
12	Декабрь	$\frac{10}{16}$	$Q_{KXII}=5,3698 Q_{XXII}+363,41$ $Q_{BXII}=2,7307 Q_{XXII}+117,75$	$0,343 \div 0,198$ $0,550 \div 0,121$

Изоҳ: n – параллел кузатиш йиллари сони;* касрнинг сурати $\bar{Q}_{Ki}=f(\bar{Q}_{Xi})$, махражи эса $\bar{Q}_{Bi}=f(\bar{Q}_{Xi})$ боғланишларга тегишли; $r \pm \sigma_r$ – корреляция коэффициенти ва унинг хатолиги.

Примечание: n – количество лет параллельного наблюдения;* числитель $\bar{Q}_{Ky}=f(\bar{Q}_{Xy})$, а знаменатель $\bar{Q}_{Bi}=f(\bar{Q}_{Xi})$, связанные с корреляциями; $r \pm \sigma_r$ – коэффициент корреляции и его ошибка.

Note: n is the number of years of parallel observation;* the numerator is $\bar{Q}_{Ky}=f(\bar{Q}_{Xy})$, and the denominator is $\bar{Q}_{Bi}=f(\bar{Q}_{Xi})$ related to the correlations; $r \pm \sigma_r$ – is the correlation coefficient and its error.

Юқоридаги 2- ва 3-жадвалларда келтирилган боғланишларнинг регрессия тенгламалари ёрдамида дастлаб ўртача ойлик, сўнг ўртача йиллик сув сарфлари тикланди. Натижада Керки ва Бекобод гидропостларида ўлчанган сув сарфлари 1900-1925 йилларни

камраб олган бир маъноли қаторларга келтирилди. Ушбу маълумотлар асосида ўртача ойлик ва йиллик сув сарфлари беш йиллик ҳисоб даврлари учун аниқланди (4-жадвал).

4-жадвал

Амударё ва Сирдарё дарёлари ўртача ойлик ва йиллик сув сарфларининг беш йиллик ҳисоб даврлари учун аниқланган миқдорлари

Таблица 4

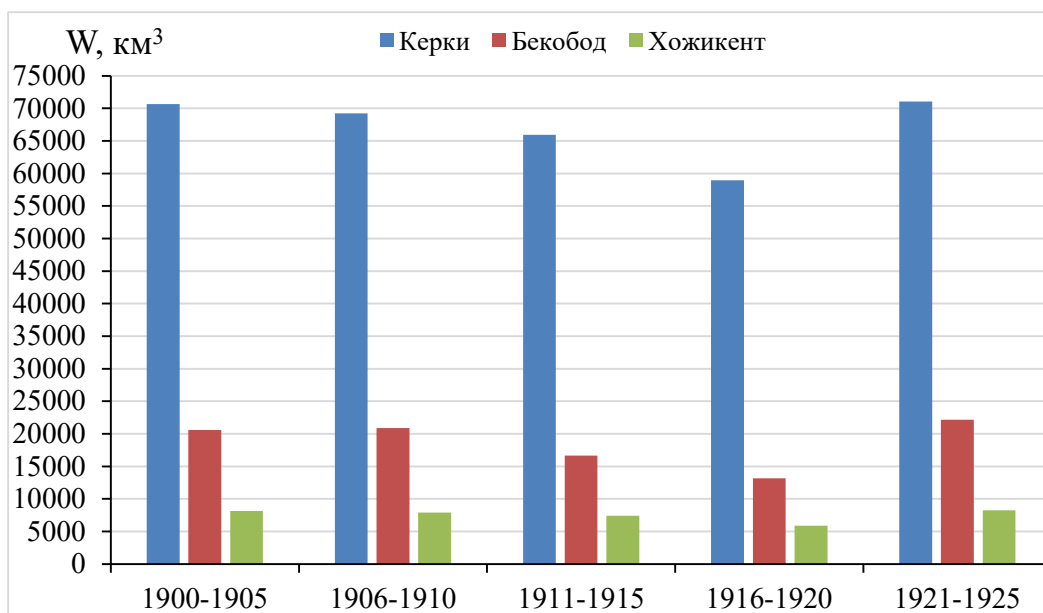
Величины средних месячных расходов воды рек Амударьи и Сырдарьи, вычисленные по пятилетним расчетным периодам

Table 4

Average monthly water discharges of the Amudarya and Syrdarya rivers, calculated for five-year calculation periods

Ойлар	Ҳисоб 5 йилликлари					Ўртача йиллик
	1900-1905	1906-1910	1911-1915	1916-1920	1921-1925	
I	<u>693</u>	<u>693</u>	<u>753</u>	<u>571</u>	<u>607</u>	<u>654</u>
	353	354	345	241	384	336
II	<u>723</u>	<u>627</u>	<u>764</u>	<u>611</u>	<u>623</u>	<u>672</u>
	349	348	346	248	383	335
III	<u>757</u>	<u>779</u>	<u>905</u>	<u>750</u>	<u>798</u>	<u>796</u>
	357	372	341	265	434	354
IV	<u>1237</u>	<u>1460</u>	<u>1656</u>	<u>1323</u>	<u>1599</u>	<u>1447</u>
	412	547	463	318	691	483
V	<u>2370</u>	<u>2414</u>	<u>2736</u>	<u>2307</u>	<u>2200</u>	<u>2404</u>
	849	848	765	564	904	788
VI	<u>3940</u>	<u>3910</u>	<u>4252</u>	<u>3512</u>	<u>3822</u>	<u>3890</u>
	1378	1363	1200	816	1430	1243
VII	<u>5260</u>	<u>5392</u>	<u>4584</u>	<u>3863</u>	<u>5757</u>	<u>4982</u>
	1329	1379	824	694	1432	1139
VIII	<u>4854</u>	<u>5298</u>	<u>3798</u>	<u>3976</u>	<u>5567</u>	<u>4705</u>
	916	995	584	587	987	818
IX	<u>3416</u>	<u>2953</u>	<u>2644</u>	<u>2186</u>	<u>3063</u>	<u>2874</u>
	605	563	423	368	572	510
X	<u>1319</u>	<u>1167</u>	<u>1212</u>	<u>1352</u>	<u>1249</u>	<u>1279</u>
	454	427	372	313	460	407
XI	<u>1339</u>	<u>911</u>	<u>976</u>	<u>1164</u>	<u>946</u>	<u>1078</u>
	445	395	356	319	422	390
XI	<u>896</u>	<u>795</u>	<u>795</u>	<u>818</u>	<u>792</u>	<u>822</u>
	393	372	324	278	399	390
Ўртача	<u>2240</u>	<u>2195</u>	<u>2090</u>	<u>1869</u>	<u>2252</u>	<u>2134</u>
	653	663	528	418	703	596

Юқоридаги жадвал маълумотлари таҳлил қилиниб, ажратилган беш йиллик ҳисоб даврларининг сувлилик даражаси аниқланди. Шу мақсадда Керки, Бекобод ва Хожикент гидрологик постларида кузатилган оқим ҳажмлари ҳисобланди (5-расм). Диаграммадан кўриниб турибдики, ўрганилган дарёларда ҳисоб даврининг 1921-1925 йилларни камраб олган охириги беш йиллигида сув кўп бўлган. Ундан олдинги, яъни 1916-1920 йилларга тегишли бўлган беш йиллик эса кам сувлиги билан ажралиб туради.



5-расм. Керки, Бекобод ва Хожикент гидропостларида ўртача беш йиллик оқим ҳажмларининг XX асрнинг I чорагидаги ўзгаришлари

Рис. 5. Изменения средних по пятилетним расчетным периодам объемов стока на гидропостах Керки, Бекабад и Ходжикент в I четверти XX века

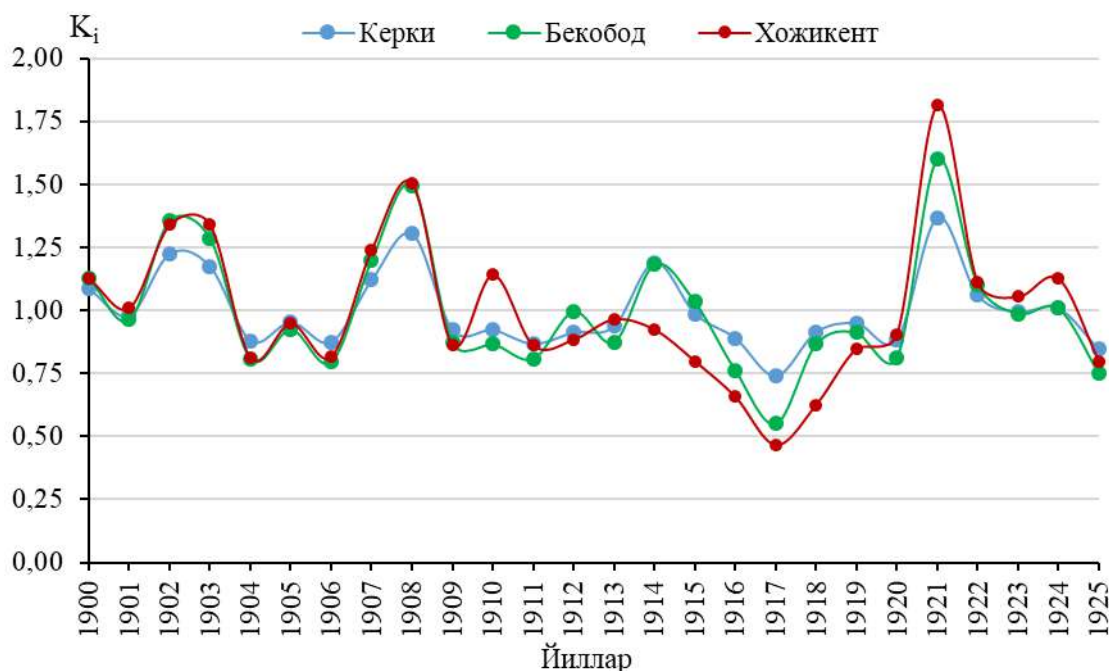
Fig. 5. Changes in average runoff volumes for five-year calculation periods at the Kerki, Bekabad and Khodzjikent hydroposts in the first quarter of the XX century

Ўрганилган дарёларда амалда кузатилган ҳамда кузатишлардаги узилишлар тикланиб, бир маъноли қаторларга келтирилган ўртача йиллик сув сарфлари оқим модуллари (K_i) нинг йиллараро тебранишлари таҳлил қилинди. Натижада Амударё ва Сирдарёда XX асрнинг I чорагига хос бўлган характерли сувли йиллар аниқланди (6-расм).

Таҳлиллар натижаларига кўра, Керки гидрологик постида, ўртача йиллик сув сарфларининг максимал қиймати 1921 йилда кузатилган ва унинг миқдори $2917 \text{ м}^3/\text{с}$ га, минимал қиймати эса 1917 йилда кузатилиб, $1582 \text{ м}^3/\text{с}$ га тенг бўлган. Ҳисоб давридаги ўртача кўп йиллик сув сарфи эса $2134 \text{ м}^3/\text{с}$ ни ташкил этган. Бу қиймат 1923 йилда кузатилган қийматга яқиндир. Таъкидлаш лозимки, ушбу характерли сувли йиллар Сирдарёнинг Бекобод гидрологик постига ҳам айнан мос келди.

Амударё ва Сирдарёда XX асрнинг биринчи чорагида ўлчанган ва стандарт дастурлар асосида тикланган ўртача йиллик сув сарфларининг тренд тенгламалари ва ўзгарувчанлик коэффициентлари аниқланди (5-жадвал).

Жадвал маълумотларидан кўриниб турибдики, Амударёда ўзгарувчанлик коэффициенти кузатилган маълумотлар асосида $C_v=0,14$ га, тикланган маълумотлари асосида $C_v=0,15$ га тенг бўлди. Сирдарёда эса кузатилган маълумотлар асосида ўзгарувчанлик коэффициенти $C_v=0,32$ ни, тикланган маълумотлари асосида эса $C_v=0,23$ ни ташкил этди.



6-расм. Ўртача йиллик сув сарфлари оқим модуллари (Ki) нинг йиллараро тебраниши графиги

Рис. 6. График многолетних колебаний модулей (Ki) средних годовых расходов воды

Fig. 6. Graph of long-term fluctuations of modules (Ki) of average annual water discharges

5-жадвал

Дарёлар ўртача йиллик сув сарфларининг тренд тенгламалари ва ўзгарувчанлик коэффициентлари

Таблица 5

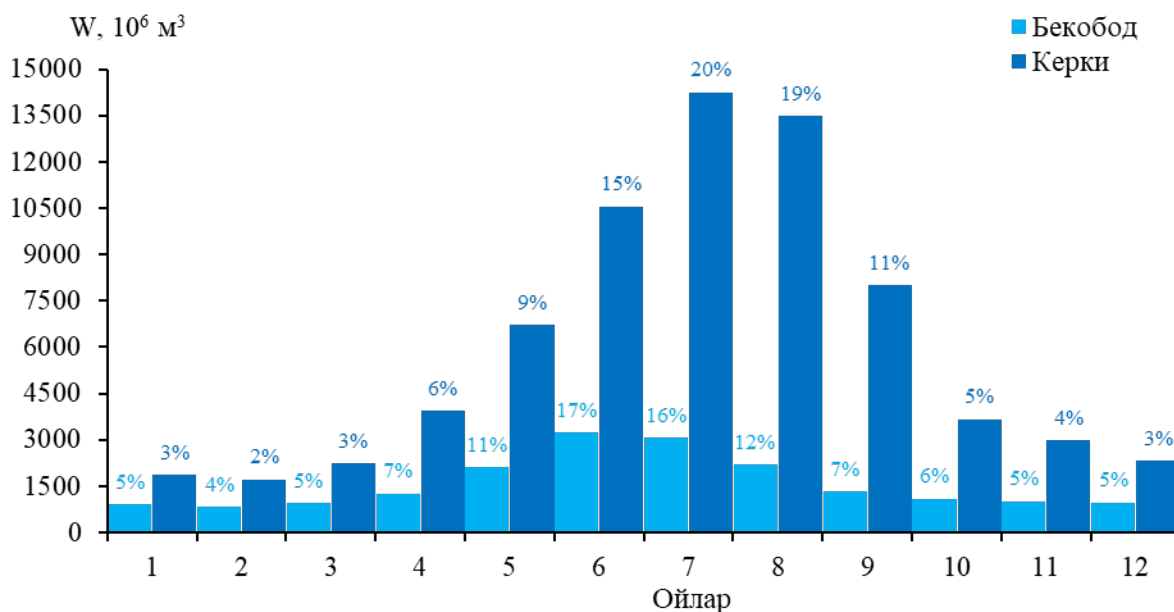
Уравнения тренда и коэффициенты вариации среднегодовых расходов воды рек

Table 5

Trend equations and coefficients of variation of average annual water discharges of rivers

Т.р.	Дарё-пост	Тренд тенгламалари	C _v	
			Кузатилган	Тикланган
1	Амударё – Керки	$y = -7,5519x + 16576$	0,14	0,15
2	Сирдарё – Бекобод	$y = -3,6883x + 7649,5$	0,32	0,23
3	Чирчиқ–Хожикент	$y = -1,4366x + 2987$	0,24	-

Маълумки, қатор амалий гидрологик масалаларни ҳал этишда дарёлар оқимининг йил давомида ойлар, сув режимининг фазалари ва фасллар бўйича тақсимланишига эҳтиёж сезилади. Шу ҳолатни ҳисобга олиб, ҳар икки дарёнинг ҳисоб даври учун аниқланган ўртача кўп йиллик оқими миқдорларининг йил давомида ойлар бўйича тақсимланиши графикалари чизилди (7-расм).



7-расм. Дарёлар ўртача кўп йиллик оқими миқдорларининг йил давомида ойлар бўйича тақсимланиши

Рис. 7. Внутригодовое распределение среднегодового стока рек по месяцам

Fig. 7. Intraannual monthly distribution of the mean annual discharges of rivers

Ушбу графиклардан кўриниб турибдики, Керки гидропостида ойлик оқим хажмининг энг катта қиймати (20%) июль ойига, унинг энг кичик қийматлари эса (2-3%) январь, февраль, март, ноябрь ва декабрь ойларига тўғри келган. Бекобод гидропостида ойлик оқим хажмларининг энг катта қиймати (17%) июнь ойида кузатилган бўлса, энг кичик қиймати (4-5%), Керки гидропостида мос равишда, январь, февраль, март, ноябрь ва декабрь ойларига тўғри келган. Умуман олганда, Керки ва Бекобод гидропостларида май-сентябрь ойлари оқим хажмларининг катталиги билан ажралиб туради. Шунингдек, ҳар икки дарёда ҳам ушбу ойлардаги оқим миқдорларининг ўртача кўп йиллик қийматлари йиллик оқимга нисбатан Амударёда 74 фоизни, Сирдарёда эса 63 фоизни ташкил этган.

Бажарилган тадқиқот натижаларини умумлаштирган ҳолда, **хулоса** сифатида қуйидагиларни қайд этиш мумкин.

1. Амударёнинг Керки ва Сирдарёнинг Бекобод гидрологик постларида кузатилган сув сарфлари маълумотлари тўпланди, улар бирламчи қайта ишланиб, умумлаштирилди, маълумотлар базаси яратилди. Керки гидрологик постида 1910-1925 йиллардаги сув сарфларини кузатишларида аниқланган узилишлар тикланди. Шу мақсадда Бекобод гидрологик постида ўлчанган сув сарфларини маълумотларидан аналог сифатида фойдаланилди;

2. Керки, Бекобод ва Хожикент гидрологик постларида кузатилган ўртача ойлик ва йиллик сув сарфлари орасидаги боғланишлар статистик баҳоланиб, уларнинг регрессия тенгламалари тузилди. Уларнинг зичлигини ифодаловчи жуфт корреляция коэффицентларининг қийматлари $r \pm \sigma_r = 0,673 \pm 0,066 \div 0,902 \pm 0,042$ оралиқда ўзгарди. Регрессия тенгламалари Керки ва Бекобод гидропостида 1900-1910 йиллардаги ойлик ва йиллик сув сарфлари узилишларини тиклаш имконини берди. Ҳар икки гидрологик

постнинг сув сарфлари маълумотлари 1900-1925 йилларга тегишли бир маъноли қаторларга келтирилди;

3. Ҳисоб даври (XX асрнинг I чораги) даги ўртача йиллик сув сарфларининг йиллараро тебранишлари таҳлил қилинди, характерли сувли йиллар аниқланди. Амударёда ўртача йиллик сув сарфларининг максимал қиймати 1921 йилда (2917 м³/с), минимал қиймати эса 1917 йилда (1582 м³/с) кузатилган. Ҳисоб даври (1910-1925 йй.) да ўртача кўп йиллик сув сарфи 2134 м³/с ни ташкил этган. Амударё учун аниқланган характерли сувли йиллар Сирдарё учун ҳам мос келади;

4. Керки ва Бекобод гидрологик постларида кузатилган кўп йиллик оқимнинг йил давомида ойлар бўйича тақсимланиши таҳлил қилинди. Керки гидропостида ойлик оқим ҳажмининг энг катта қиймати (20%) июль ойига, унинг энг кичик қиймати эса (2%) февраль ойига тўғри келди. Бекобод гидропостида ойлик оқим миқдорларининг энг катта қиймати (17%) июнь ойида кузатилган бўлса, энг кичик қиймати (4% дан) февраль ойида қайд этилди. Шунингдек, ҳар икки дарёда ҳам май-сентябрь ойларидаги оқим ҳажмининг қийматлари ўртача кўп йиллик оқимга нисбатан Амударёда 74 фоизни, Сирдарёда эса 63 фоизни ташкил этди.

5. Ушбу натижалар келажакда Амударёнинг қуйи оқимида, хусусан Туямўйин, Чатли (Саманбой), Қизилжар гидропостларида амалга оширилган сув ўлчаш ишлари маълумотлари билан солиштириш имконини беради. Уларнинг таҳлиллари Амударё тарихий сув режими ҳақида янада аниқ илмий ва амалий хулосалар чиқаришга замин яратади.

Миннатдорлик. Муаллифлар мақолани нашрга тайёрлаш жараёнида билдирган таклифлари, илмий маслаҳатлари учун г.ф.д. Ғ.Х.Юнусовга ўз миннатдорчилигини билдирадилар.

Муаллифлар ҳиссаси. Ф. Ҳикматов: мақола ғояси, методология, тадқиқот объектини танлаш, натижалар таҳлили, хулосалар. **А.З. Умаров:** мақола ғояси, ҳисоблашлар, натижаларни умумлаштириш ва таҳлил қилиш, мақола матнини ёзиш, мақолани расмийлаштириш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган матни билан танишдилар ва ўз розилиқларини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Аденбаев Б.Е. Современный гидрологический режим и водообеспеченность низовьев реки Амударьи. Автореф. дисс... докт. геогр. наук. – Ташкент, 2020. – 72 с.

Аденбаев Б.Е., Умаров А.З. Об изменении стока реки Амударьи под влиянием хозяйственной деятельности / Фарғона водийсида табиатдан фойдаланиш ва муҳофаза қилишнинг долзарб муаммолари республика илмий-амалий конференция материаллари тўплами. – Наманган, 2013. – Б.109–110.

Аденбаев Б.Е., Хикматов Ф.Х. Оценка современного гидрологического режима и водообеспеченности низовьев реки Амударьи. Монография. – Ташкент “INFO CAPITAL BOOKS”, 2021. – 176 с.

Курбанбаев Е.К., Артыков О., Курбанбаев С.Е. Аральское море и водохозяйственная политика в республиках Центральной Азии. – Нукус: «Каракалпакстан», 2011. – 127 с.

Курбаниязов А.К. Эволюция ландшафтов обсохшего дна Аральского моря. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 148 с.

Лопатин Г.В. Материалы по гидрологии дельты Амударьи // Труды лаборатории озераведения, том. 4. – М. – Л. 1957. – С. 192-268.

Очерки развития Гидрометеорологии в Средней Азии. – С-Пб.: Гидрометеоздат, 1993. – 440 с.

Проскураков А.К. Водный баланс реки Амударьи на участке от г.Керки до г.Нукуса.

– Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 89 с.

Рафиков А.А., Тетюхин Г.Ф. Снижения уровня Аральского моря и изменения природных условий низовьев Амударьи. – Ташкент: Фан, 1981. – 200 с.

Рафиков В.А. Антропогенные факторы прогнозирования изменения геосистем Приаралья / Наука Каракалпакстана: вчера, сегодня, завтра: Материалы республиканской научно-практической конференции. – Нукус, 2009. – С.74-76.

Рубинова Ф.Э., Иванов Ю.Н. Качество воды рек бассейна Аральского моря и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности. – Ташкент: НИГМИ Узгидромет, 2005. – 185 с.

Рогов М.М., Ходкин С.С., Ревина С.К. Гидрология устьевой области Амударьи. Монография. – М.: Гидрометеиздат, 1968. – 268 с.

Хикматов Ф.Х., Аденбаев Б.Е., Ибраев Р.А. Динамика поступления речных вод в дельту реки Амударья // Известия географического общества Узбекистана, – Том 31. – Ташкент, 2008. – С. 57-59.

Хожамуратова Р.Т. Комплексная оценка влияния мелиорации на гидроэкологическое состояние водных ресурсов Республики Каракалпакстан и пути их уменьшения. Автореф. дисс... докт. геогр. наук. – Ташкент, 2020. – 72 с.

Чембарисов Э.И., Насрулин А.Б., Лесник Т.Ю., Хожамуратова Р.Т. Генезис, формирование и режим поверхностных вод Узбекистана и их влияние на засоление и загрязнение агроландшафтов (на примере бассейна р. Амударья). – Нукус: Каракалпакстан, 2016. – 187 с.

Чуб В.Е. Многолетние характеристики компонентов водных ресурсов зоны формирования стока Средней Азии и их изменения. – В кн.: Водные ресурсы, проблемы Арала и окружающая среда. – Ташкент: Университет, 2000. – С. 3-19.

Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 335 с.

Шульц В.Л., Шалатова Л.И., Лукина Н.К., Видинеева Е.М. Гидрологическая характеристика верхней части бассейна Амударьи. Монография. – Ташкент, Изд-во «Фан» УзССР, 1975. – 123 с.

Умаров А.З., Хайдарова О.А. Қуйи Амударёда бажарилган гидрологик кузатишлар ва уларда қайд этилган оқим миқдорлари таҳлили // Ўзбекистон География жамяти ахбороти. 64-жилд. – Тошкент, 2024. – Б. 99-109.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ СТОКА РЕК АМУДАРЬИ И СЫРДАРЬИ НА ОСНОВЕ ВОДОМЕРНЫХ ДАННЫХ ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРТИ XX ВЕКА

А.З. УМАРОВ¹, Ф. ХИКМАТОВ¹

¹ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,

Аннотация. *Статья посвящена оценке стока рек Амударьи и Сырдарьи на основе данных первичных стационарных гидрологических наблюдений, выполненных на них в первой четверти XX века. С этой целью были использованы данные расходов воды, измеренные в 1910-1925 годах на гидрологических постах Керки и Бекабад. Произведен анализ материалов водомерных работ, выполненных на этих гидрологических постах. Выявленные перебои в наблюдениях восстановлены с применением различных способов. На основе анализа результатов расчетов показано, что в обеих реках 1917 год был маловодным, 1921 год – многоводным.*

Ключевые слова: *река, гидрологический пост, расход воды, восстановление, величина стока, оценка, маловодный год, средний по водности год, многоводный год.*

ASSESSMENT OF THE FLOW OF THE AMUDARYA AND SIRDARYA RIVERS BASED ON PRIMARY WATER GAUGE DATA OF THE FIRST QUARTER OF THE XX CENTURY

A.Z. UMAROV¹, F. KHIKMATOV¹

¹ National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, umarovalisher.392.@gmail.com

Аннотация. *The article is devoted to the assessment of the flow of the Amudarya and Syrdarya rivers based on the data of primary stationary hydrological observations carried out on them in the first quarter of the XX century. For this purpose, the data on water discharge measured in 1910-1925 at the Kerki and Bekabad hydrological posts were used. The analysis of the materials of water-measuring works carried out at these hydrological posts was carried out. The identified interruptions in observations were restored using various methods. Based on the analysis of the calculation results, it is shown that in both rivers 1917 was a low-water year, 1921 was a high-water year.*

Keywords: *river, hydrological post, water flow, restoration, runoff value, assessment, wet year, average water content year, high-water year.*

REFERENCES

Adenbaev B.E. Sovremennyy gidrologicheskiy rejim i vodobespechennost nizovyev reki Amudari [Current hydrological regime and water supply of the lower reaches of the Amu Darya river]. Avtoref... doc. geog. scie. – Tashkent, 2020. – 72 s. (in Russian)

Adenbaev B.E., Umarov A.Z. Ob izmenenii stoka reki Amudari pod vliyaniem hozyyastvennoy deyatelnosti [On changes in the flow of the Amu Darya River under the influence of economic activity] / Fargona vodiysida tabiatdan foidalanish va muhofaza qilishning dolzarb muammolari respublika ilmiy-amaly konferenciya materiallari toplami. – Namangan, 2013. – B. 109-110. (in Russian)

Adenbaev B.E., Khikmatov F.Kh. Otsenka sovremennogo gidrologicheskogo rejima i vodobespechennosti nizovev reki Amudari [Assessment of the modern hydrological regime and water availability of the lower reaches of the Amudarya]. – Tashkent: “INFO CAPITAL BOOKS”, 2021. – 176 s. (in Russian)

Kurbanbaev E.K., Artykov O., Kurbanbaev S.E. Aralskoe more i vodoxozyaystvennaya politika v respublikax Sentralnoy Azii [The Aral Sea and water policy in the Central Asian republics]. – Nukus: “Karakalpakstan”, 2011. – 127 s. (in Russian)

Kurbaniyazov A.K. Evolyutsiya landshaftov obsoxshogo dna Aralskogo morya [Evolution of landscapes of the dried bottom of the Aral Sea.] – M.: Izdatelskiy dom Akademii Yestestvoznaniya, 2017. – 148 s. (in Russian)

Lopatin G.V. Materiali po gidrologii delti Amudari [Materials on the hydrology of the Amu Darya delta] // Trudi laboratorii ozerovedeniya, tom. 4. – M. L., 1957. – S. 192-268. (in Russian)

Essays on the development of Hydrometeorology in Central Asia. – SPB.: Gidrometeoizdat, 1993. – 440 p. (in Russian)

Proskuryakov A.K. Vodniy balans reki Amudari na uchastke ot g.Kerki do g.Nukusa [Water balance of the Amudarya River in the area from Kerki to Nukus]. – L.: Gidrometeoizdat, 1953. – 89 s. (in Russian)

Rafikov A.A., Tetyuxin G.F. Snijeniya urovnya Aralskogo morya i izmeneniya prirodnix usloviy nizovyev Amudari [Lowering the level of the Aral Sea and changing the natural conditions of the lower reaches of the Amudarya]. – Tashkent: Fan, 1981. – 200 s. (in Russian)

Rafikov V.A. Antropogennie faktori prognozirovaniya izmeneniya geosistem Priaralya [Anthropogenic factors for predicting changes in geosystems of the Aral Sea region] // Nauka Karakalpakstana: vchera, segodnya, zavtra: Materiali respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Nukus, 2009. – S. 74-76. (in Russian)

Rubanova F.E., Ivanov Yu.N. Kachestvo vodi rek basseyna Aralskogo morya i yego izmeneniye pod vliyaniyem xozyaystvennoy deyatelnosti [Water quality of rivers in the Aral Sea basin and its changes under the influence of economic activities] – Tashkent: NIGMI Uzhydromet, 2005. – 185 s. (in Russian)

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

Khikmatov F.Kh., Adenbaev B.E., Ibraev R.A. Dinamika postupleniya rechnix vod v deltu reki Amudari [Dynamics of river water inflow into the Amudarya River delta] // Izvestiya geograficheskogo obshestva Uzbekistana, – Tom 31. – Tashkent, 2008. – S. 57-59. (in Russian)

Xojamuratova R.T. Kompleksnaya otsenka vliyaniya melioratsii na gidroekologicheskoye sostoyaniye vodnix resursov Respubliki Karakalpakstan i puti ix umensheniya [Comprehensive assessment of the impact of reclamation on the hydroecological state of water resources of the Republic of Karakalpakstan and ways to reduce them]. Avtoref diss. doc. geog. scie. – Tashkent, 2020. – 72 s. (in Russian)

Chembarisov E.I., Nasrulin A.B., Lesnik T.Yu., Khozhamuratova R.T. Genезis, formirovaniye i rejim poverxnostnix vod Uzbekistana i ix vliyaniye na zasoleniye i zagryazneniye agrolandshaftov na primere basseyna r. Amudari [Genesis, formation and regime of surface waters in Uzbekistan and their impact on salinization and pollution of agricultural landscapes (using the example of the Amudarya River basin)]. – Nukus: Krakalpakstan, 2016. – 187 s. (in Russian)

Chub V.Ye. Mnogoletniye xarakteristiki komponentov vodnix resursov zoni formirovaniya stoka Sredney Azii i ix izmeneniya [Long-term characteristics of the components of water resources in the runoff formation zone of Central Asia and their changes]. – V kn.: Vodnie resursi, problemi Arala i okrujayushaya sreda. – Tashkent: Universitet, 2000. – S. 3-19. (in Russian)

Shiklomanov I.A. Vliyaniye xozyaystvennoy deyatelnosti na rechnoy stok [Impact of economic activities on river flow]. – L.: Gidrometeoizdat, 1989. - 335 s. (in Russian)

Shultz V.L., Shalatova L.I., Lukina N.K., Vidineeva E.M. Gidrologicheskaya xarakteristika verxney chasti basseyna Amudari [Hydrological characteristics of the upper part of the Amudarya basin]. – Tashkent, Izd-vo “Fan” Uzssr, 1975. – 123 s. (in Russian)

Umarov A.Z., Haydarova O.A. Quyi Amudaryoda bajarilgan gidrologik kuzatishlar va ularda qayd etilgan oqim miqdorlari tahlili [Analysis of the hydrological observations made in the Lower Amudarya and the flow rates recorded in them] // Ozbekiston Geografiya jamiyati axboroti. – 64-jild. – Tashkent, 2024. – B. 99-109. (in Uzbek)

АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ / МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ / ENVIRONMENTAL MONITORING

УДК 551.515.3+519.256

АНАЛИЗ ПЫЛЬНЫХ БУРЬ В СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Л.Ю. ШАРДАКОВА^{1*}, А.Р. АХМЕДОВА², Н.И. РАХМАТОВА¹, Б.Э. НИШОНОВ¹

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, lyudmila.shardakova@gmail.com, bnishonov@mail.ru, natella.rakhmatova@gmail.com

² Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, a-b-g@bk.ru

Аннотация. *Пыльные бури негативно влияют на здоровье населения, сельское хозяйство и инфраструктуру. В статье проанализированы статистические характеристики пыльно-песчаных бурь в Сурхандарьинской области на основе данных наземных наблюдений на метеорологических станциях сети Узгидромета за 2010-2021 годы. Наибольшая повторяемость пыльных бурь зафиксирована на метеостанции Термез, где частота бурь увеличилась в 2 раза по сравнению с 1981–2010 годами, что связано с ростом числа дней с засухой и сильным ветром. Число дней с пыльными бурями продолжительностью менее 6 часов составляют 62% от общего числа дней. На других метеостанциях Сурхандарьинской области пыльные бури наблюдаются не часто.*

Ключевые слова: *пыльные бури, базы данных, повторяемость, годовой ход, число дней с пыльными бурями, продолжительность, Сурхандарьинская область, Узбекистан.*

Введение. Решения Конференции Сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием и засухой (КБО ООН) подтверждают, что в последнее десятилетие частота и интенсивность песчаных и пыльных бурь (ППБ) в мире возросли и у песчаных и пыльных бурь имеются естественные и антропогенные причины, которые могут усугубляться опустыниванием, потерей биоразнообразия и изменением климата [Решение 15-й ..., 2024]. По данным Экономической и социальной комиссии ООН для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО ООН), неустойчивое землепользование и водопользование, экстремальные ветровые явления и сильные засухи относятся к числу факторов, способствующих процессам возникновения ППБ. Расходы на экономические последствия ППБ в этом регионе составляют 5,6млрд.долл. США [Sand ..., 2018]. В настоящее время КБО ООН проводит работу по усилению интеграции и согласованности мер по смягчению воздействия ППБ, уделяет большое внимание разработкам инструментария, включая глобальную «Базовую карту мира: источники песчаных и пыльных бурь» и другие платформы данных и инструментов ГИС с целью продвижения комплексного планирования землепользования и управления ландшафтами [Решение 14-й ..., 2019].

Сурхандарьинская область относится к регионам, подверженным воздействию пыльных бурь. Область занимает крайнее южное положение в Узбекистане и защищена от

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

проникновения холодных воздушных масс Гиссарским и Зеравшанском хребтами с севера и северо-запада, хребтом Бабатаг с востока, что обуславливает значительную нагреваемость территории, как в летнее, так и в зимнее время. Среднегодовая температура воздуха за период 2010-2019 гг. в долине Сурхандарьи составила 17,9°C, в то время как среднегодовая температура по Узбекистану 13,6°C [Четвертое ..., 2024].

Ветровой режим области очень сложен из-за разнообразия форм рельефа и в основном определяется местными условиями. При северо-западных и западных вторжениях часто возникает ветер «афганец», во время прохождения которого возникают пыльные бури. Наибольшая повторяемость ветра приходится на район г. Термез.

Наблюдения за пыльными бурями (ПБ) на МС Термез ведутся с 1936 г. Анализ литературных источников показал, что за период 1936-2000 гг., максимальное число дней с пыльными бурями было зарегистрировано в 1945 г. и составило 56 дней (табл. 1).

Таблица 1

Среднее годовое (n) и максимальное (n_{\max}) число дней с пыльными бурями за различные периоды на МС Сурхандарьинской области

Table 1

Average annual (n) and maximum (n_{\max}) number of days with dust storms for different periods at the meteorological stations in the Surkhandarya Region

Метеостанция	1936-1980 ¹⁾	1941-1970 ²⁾		1971-2000 ³⁾	
	n	n	n_{\max} (ГОД)	n	n_{\max} (ГОД)
Термез	32	32	56 (1945)	24	52 (1971)
Шурчи	6	-	-	4	10 (1971)
Денау	-	6	-	2	13 (1974)

Примечание: 1) Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1989; 2) Джураев А.Д. и др., 1977; 3) Субботина О.И. и др., 1995.

В последние десятилетия исследования ПБ на территории Узбекистана носили эпизодический характер. В работах приводятся общие характеристики пыльных бурь, однако детального описания явления и его особенностей в последние годы не проводилось. В рамках прикладного научного проекта, выполняемого в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте, ведутся работы по разработке подходов к созданию современной и эффективной системы мониторинга ПБ на национальном уровне.

Цель данной работы – выявление пространственно-временного распределения пыльных бурь на территории Сурхандарьинской области.

Объектом исследования являются пыльные бури на территории Сурхандарьинской области, **предметом исследования** – пространственно-временные характеристики пыльных бурь.

Исходные данные и методы исследования. В настоящем исследовании использованы результаты наземных наблюдений метеорологических станций (МС) Узгидромета на территории Сурхандарьинской области. Наблюдения за пыльными бурями (ПБ) в Узбекистане ведутся в соответствии с «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» [Наставление ..., 1985], фиксируется время (часы, минуты) начала и окончания явления, характеристика и продолжительность наблюдаемой интенсивности («слабая», «умеренная», «сильная»).

В рамках научного проекта, для оценки современного состояния пылевых явлений на территории Узбекистана, в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте разработана специализированная база данных [Шардакова и др., 2022], в которой содержится информация о зарегистрированных случаях пыльных бурь, пыльных поземков,

пыльной мглы за период 2010-2021 гг. Для анализа пространственно-временного распределения пыльных бурь на территории Сурхандарьинской области сделана выборка из основной таблицы данной базы данных.

Для оценки динамики явления ППБ на МС Термез за более ранние периоды обработана информация базы данных, созданной в рамках проекта FP6-CALTER (2006-2010 гг.) для ряда метеостанций, на которых проводился мониторинг за сухими атмосферными выпадениями (САВ) [Отчет ..., 2009].

Оценки дней с атмосферной засухой и сильным ветром сделаны по данным Второго национального сообщения об изменении климата Республики Узбекистан [Второе ..., 2008] и Государственного кадастра по зонам повышенной опасности гидрометеорологических явлений [Государственный ..., 2006-2021].

Для анализа синоптических ситуаций на момент регистрации пыльной бури была разработана база данных в MS Access, основой которой явилась информация Календаря типов синоптических процессов Средней Азии [Календарь ..., 2022].

В данном исследовании рассматривалось только явление «пыльная буря». Так как пыльная буря является сложным и динамичным процессом, который изменяется во времени, поэтому наблюдатель, фиксируя временные фазы с определенными характеристиками интенсивности, может указывать одну и ту же ПБ имеющие разные показатели, в зависимости от ситуации, неоднократно. Обработка информации о пыльных бурях основана на следующем подходе – зарегистрированные случаи с разными показателями интенсивности, но непрерывные во времени, были приведены к одному событию, для которого посчитана общая длительность.

Основные результаты их обсуждение. В Сурхандарьинской области метеорологическая сеть наблюдений состоит из 6 метеостанций. Из обработки данных наземных наблюдений следует, что пыльные бури были зарегистрированы на станциях МС Термез, МС Шурчи, МС Денау, МС Сарыассия.

Анализ полученных данных позволил установить неравномерность пространственного распределения пыльных бурь и показал высокую повторяемость явления на МС Термез, поэтому результаты по этой станции приводятся отдельно.

В период 2010-2021 гг. на метеостанциях Сурхандарьинской области было зарегистрировано 539 дней с пыльными бурями, из них на МС Термез – 522 дня, на МС Шурчи – 4 дня, на МС Денау – 8 дней, на МС Сарыассия – 5 дней. На МС Термез пыльные бури явление регулярное, в среднем на год приходится 44 дня. Максимальное количество – 58 дней зафиксировано в 2018 г. (рис. 1) и это значение стало абсолютным максимумом за весь период наблюдений на станции. Тренды, представленные, на рисунке демонстрируют тенденции роста продолжительности пыльных бурь и числа дней с факторами, которые способствуют их появлению - атмосферной засухой и сильным ветром (>15 м/с).

В результате дополнительной статистической обработки рядов наблюдений за 1981-2010 гг. были получены результаты для периода с 1981 г. по 2021 г. (рис. 2, табл. 2) по десятилетиям. В течение тридцати лет, с 1981 г. по 2010 г. наблюдается снижение повторяемости пыльных бурь. Среднее многолетнее значение числа дней с ПБ ($n_{(1981-2010гг.)}$ – 21 день), ниже среднего многолетнего значения (n – 32 дня) за предыдущие периоды (табл. 1). В течение этого промежутка времени прослеживаются периоды затишья с 1988 г. по 1994 г. и с 2005 г по 2008 г. ($n_{(1988-1994гг.)}$ – 14 дней, $n_{(2005-2008гг.)}$ – 18 дней). Однако, начиная с 2010 года, частота прохождения пыльных бурь нарастает почти в два раза, этому сопутствует постоянное увеличение числа дней с атмосферной засухой и сильным ветром.

Число дней с атмосферной засухой увеличилось в 1,1-1,5 раза, с сильным ветром – в 1,4 раза.

На других станциях пыльные бури – событие единичное, за рассматриваемый период наблюдались 1-2 раза в год. Наибольшее число с ПБ – 3 дня было в 2011 г. (рис. 3). Общая суммарная продолжительность ПБ за период 2010-2011 гг. составила 3081,2 ч., включая: МС Термез – 3011,9 ч., МС Шурчи – 22,8 ч., МС Денау – 12,7ч., МС Сарыассия – 33,8 ч. Средняя продолжительность ПБ за год составляет на МС Термез – 252 ч./год, МС Шурчи – 7,6 ч./год, МС Денау – 2 ч./год, МС Сарыассия – 8,5 ч./год. Максимальная продолжительность ПБ за год зарегистрирована на МС Термез в 2018 г. – 345,3 ч./год, МС Шурчи – 11,9 ч./год (2011 г.); МС Денау – 4,0 ч./год (2020 г.), МС Сарыассия – 14,0 ч./год (2012 г.).

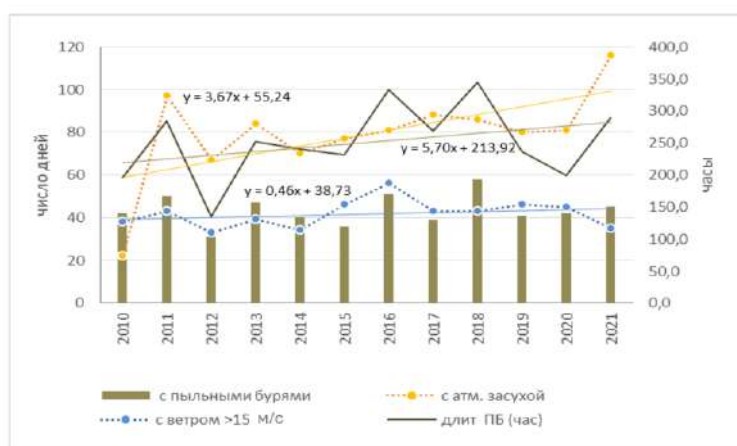


Рис. 1. Динамика длительности ПБ и суммарного числа дней с ПБ, атмосферной засухой и сильным ветром на МС Термез за 2011-2021 гг.

Fig. 1. Dynamics of the duration and the total number of days with dust storms, atmospheric drought and strong wind at the Termez meteorological station for 2011-2021.

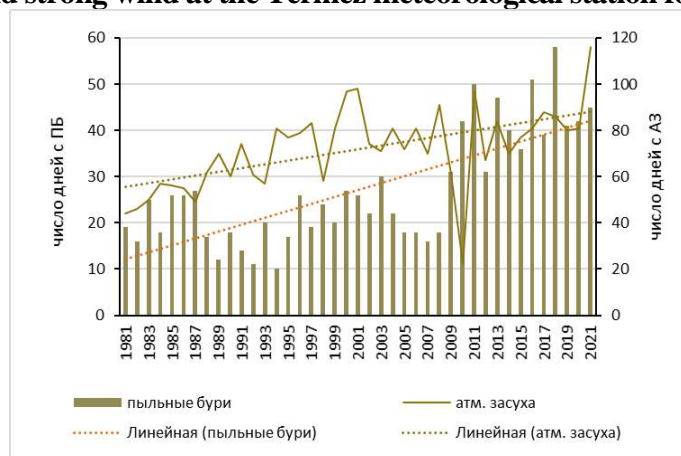


Рис. 2. Динамика и тренды суммарного числа дней с пыльными бурями и атмосферной засухой на МС Термез за период 1981-2021 гг.

Примечание: 1970-2006 гг. – источник Второе национальное сообщение Республики Узбекистан по РККИ ООН, 2008 г.

Fig. 2. Dynamics and trends of the total number of days with dust storms and atmospheric drought at the Termez meteorological station for 1981-2021

Note: 1970-2006 – source: Second National Communication on Climate Change of the Republic of Uzbekistan (SNC), 2008.

Таблица 2

Среднее годовое (n) и максимальное (n_{\max}) число дней с пыльными бурями по десятилетиям с 1981 по 2020гг. на МС Термез

Table 2

Average annual (n) and maximum (n_{\max}) number of days with dust storms by decade from 1981 to 2020 at the Termez meteorological station

1981-1990 гг.		1991-2000 гг.		2001-2010 гг.		2011-2020 гг.		1971-2010 гг.	
n	n_{\max} (год)	n	n_{\max} (год)	n	n_{\max} (год)	n	n_{\max} (год)	n	n_{\max} (год)
с пыльными бурями									
20	27	19	27 ⁽²⁰⁰⁰⁾	24	42 ⁽²⁰¹⁰⁾	44	58 ⁽²⁰¹⁸⁾		
с атмосферной засухой									
55	70 ¹⁹⁸⁹	75	98 ⁽²⁰⁰⁰⁾	72	97 ⁽²⁰⁰¹⁾	81	97 ⁽²⁰¹¹⁾		
с сильным ветром									
						46	56 ⁽²⁰¹⁶⁾	32	53 ⁽¹⁹⁸⁸⁾

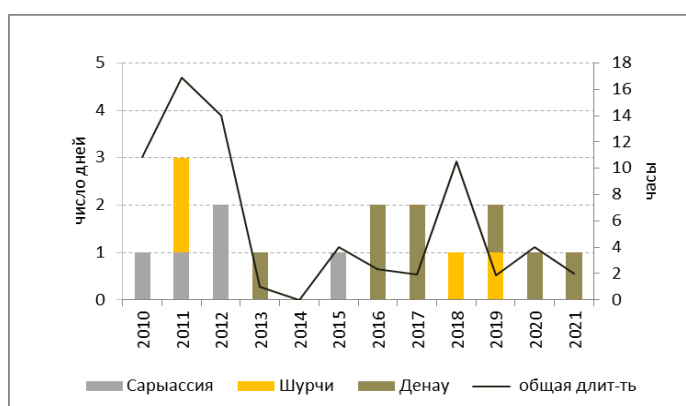


Рис. 3. Динамика суммарного числа дней и длительности ПБ на метеостанциях Сурхандарьинской области

Fig. 3. Dynamics of the total number of days and duration of dust storms at meteorological stations in the Surkhandarya Region

Годовой ход. Анализ годового хода повторяемости числа дней с ПБ на МС Термез показал, что пыльные бури наблюдаются в течение всего года, пик активности начинается в марте и длится до июня включительно (51% от общего числа дней) (рис. 4). Следует отметить, что по данным прошлых лет максимальное из средних месячных значений числа дней с ветром со скоростью ≥ 15 м/с приходится на март [Смирнова, Чанышева, 2007].

В рассматриваемый период продолжительность ПБ в течение года имеет три выраженных пика – в марте (378 ч.), июне (358,0 ч.), октябре (354,7 ч.).

Продолжительность пыльных бурь. В силу того, что на МС Термез наблюдаются длительные пыльные бури, анализ повторяемости бурь различной продолжительности проведен с разбивкой по восьми градациям длительности: 1) менее 1 ч., 2) от 1 до 2 ч., 3) от 2 ч. до 3 ч., 4) от 3 ч. до 6 ч., 5) от 6 ч. до 9 ч., 6) от 9 ч. до 12 ч., 7) от 12 ч. до 15 ч., 8) более 15 часов.

Дни с пыльными бурями продолжительностью менее 6 часов составляют 62% от общего числа дней (рис. 5), но на их долю приходится всего немного более четверти (26%) от суммарной длительности ПБ.

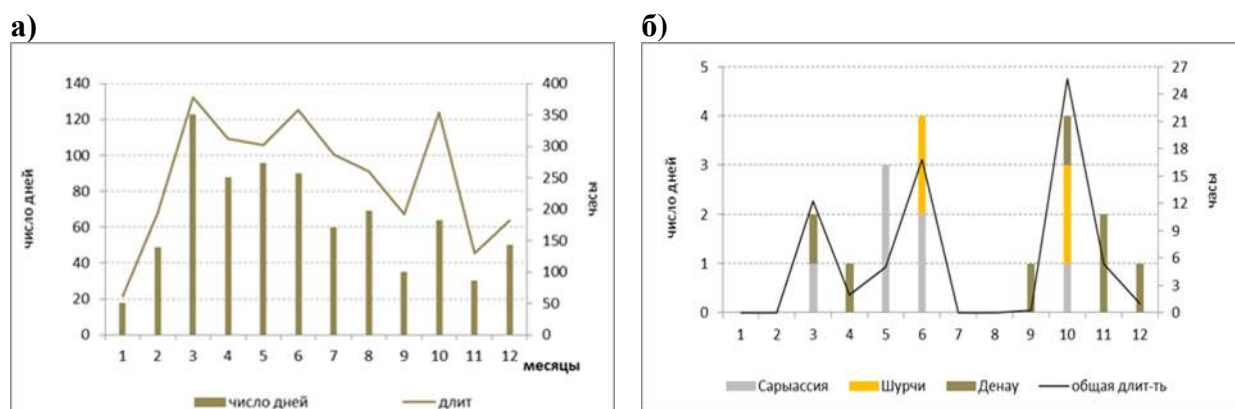


Рис. 4. Годовой ход повторяемости числа дней с ПБ и их длительности а) на МС Термез, б) на МС Сурхандарьинской области

Fig. 4. Annual cycle of the frequency and duration of dust storms: a) at the Termez meteorological station b) at meteorological stations in the Surkhandarya Region

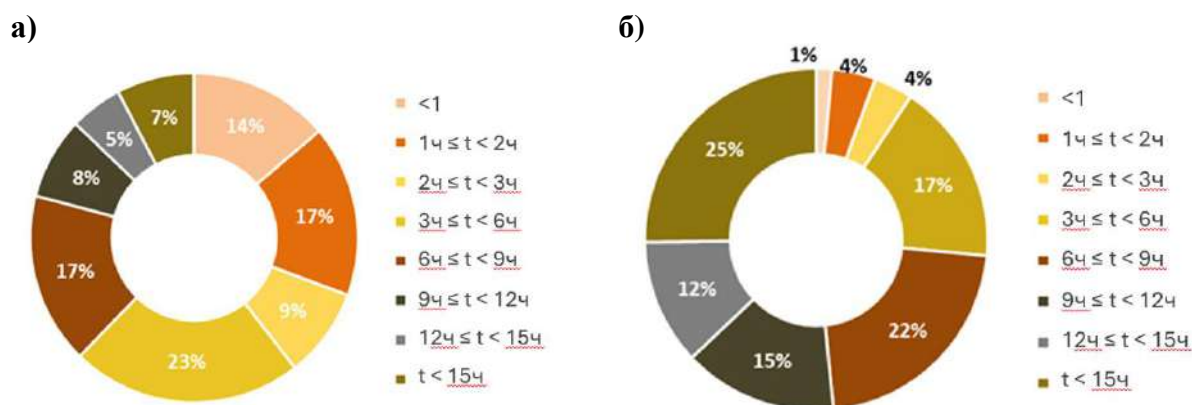


Рис. 5. Соотношение числа дней с ПБ и (а) их суммарной длительности, (б) в соответствии с градациями продолжительности на МС Термез

Fig. 5. The ratio of the number of days with dust storms and (a) their total duration, (b) duration gradations at the Termez meteorological station

Внутригодовое распределение продолжительности ПБ по градациям представлено на рис. 6. Из рисунка следует, что в течение всего года преобладают длительные бури с продолжительностью более 6 часов, с максимумом в сентябре. Значительную долю (40-60%) в продолжительность явления с июня по октябрь вносят бури длительностью более 12 часов.

Поскольку число дней на других метеостанциях области незначительно, информация о длительности бурь представлена в табл. 3.

Суточный ход. Для определения суточного хода проведен анализ многолетних данных о начале возникновения ПБ. Пыльные бури на МС Термез наблюдаются в течение всех суток, однако суточный ход имеет одномодальный вид с максимумом на сроке $9 \text{ ч.} \leq t < 12 \text{ ч.}$ (рис. 7). Суточный ход на других станциях представлен в табл. 4 и в силу немногочисленности событий не имеет четко выраженной траектории.

Самые продолжительные пыльные бури наблюдались: на МС Термез 20.10.2021 г. (29 ч.) и 26.04.2018 г. (27,3 ч.); на МС Сарыяссия 19.03.2010 г. (10,8ч.); на МС Шурчи 28.10.2018 г. (10,5 ч.); на МС Денау - 20.09.2020 г. (4 ч.).

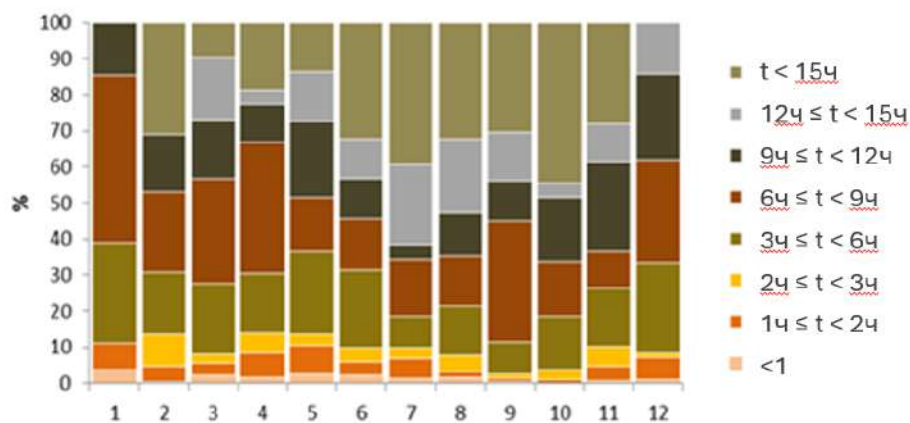


Рис. 6. Внутригодовое распределение продолжительности ПБ по градациям (%) на МС Термез

Fig. 6. Intra-annual distribution of the duration of dust storms by gradation (%) at the Termez meteorological station

Таблица 3

Повторяемость ПБ по градациям продолжительности на метеостанциях Сурхандарьинской области

Table 3

Frequency of dust storms by duration gradations at meteorological stations in Surkhandarya Region

Длительность ПБ	МС Сарыассия			МС Шурчи			МС Денау		
	число дней	часы	месяцы	число дней	часы	месяцы	число дней	часы	месяцы
< 1ч.				1	0,4	VI	1	0,2	
1ч. ≤ t < 2ч.							5	6,4	
2ч. ≤ t < 3ч.							1	2	
3ч. ≤ t < 6ч.	3	13,3	V, VI	1	3,8	X	1	4	
6ч. ≤ t < 9ч.				1	8,1	VI			
9ч. ≤ t < 12ч.	2	20,5	III, X	1	10,5	X			

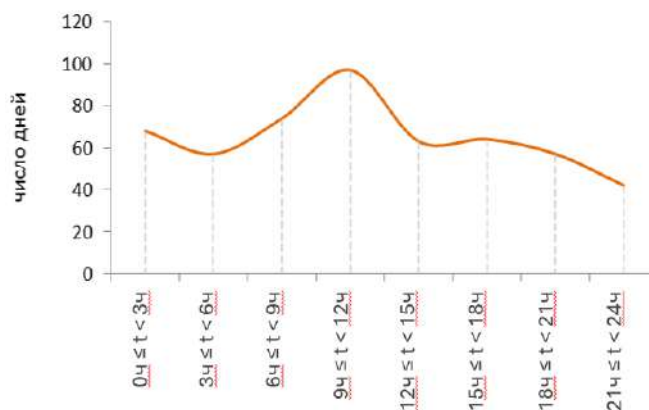


Рис. 7. Суточный ход пыльных бурь на МС Термез

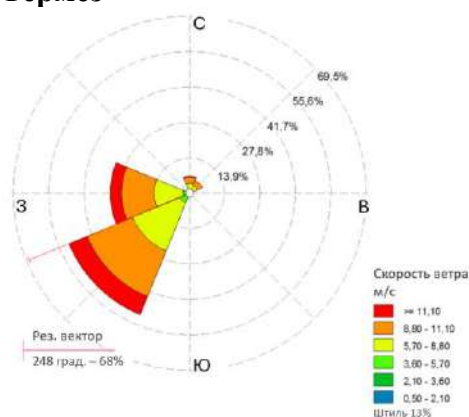
Fig. 7. Daily variation in dust storms at the Termez meteorological station

Таблица 4
Суточный ход пыльных бурь на метеостанциях Сурхандарьинской области
Table 4
Daily variation in dust storms at meteorological stations in Surkhandarya Region

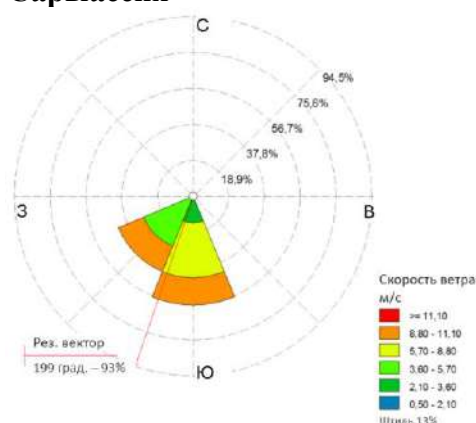
Метеостанция	0ч. ≤ t < 3ч.	3ч. ≤ t < 6ч.	6ч. ≤ t < 9ч.	9ч. ≤ t < 12ч.	12ч. ≤ t < 15ч.	15ч. ≤ t < 18ч.	18ч. ≤ t < 21ч.	21ч. ≤ t < 24ч.
Сарыяссия	1		1	1			1	1
Шурчи		1	1	1		1		
Денау				3		3		2

Ветровой режим. Анализ повторяемости и скорости направления ветра проведён по метеоданным за сроки, ближайшие к пыльной буре (рис. 8). Анализ позволил выявить следующее.

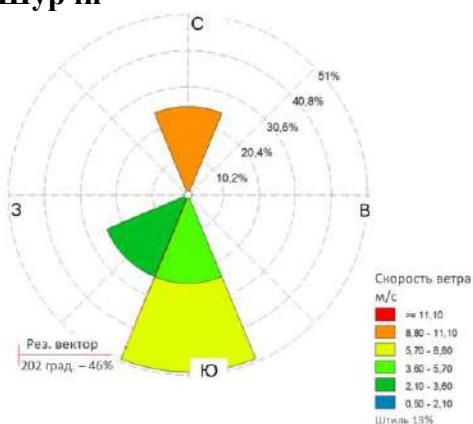
МС Термез



МС Сарыяссия



МС Шурчи



МС Денау

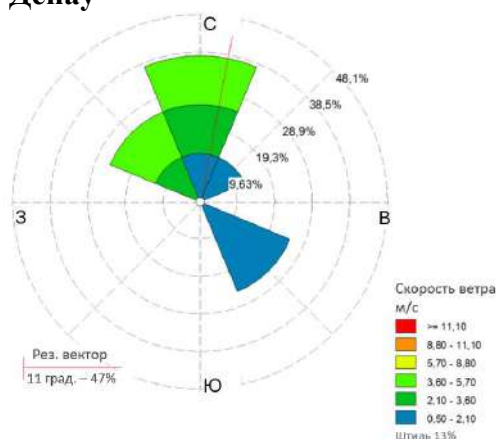


Рис. 8. Повторяемость направлений и скорости ветра при пыльных бурях

Fig. 8. Frequency of wind directions and speeds during dust storms

На МС Термез при пыльных бурях преобладают ветры юго-западного (51%) и западного (31%) направлений. Средняя скорость ветра достигает 8,5 м/сек. В 31% случаев

скорости ветра находились в интервале 8,8-11,1 м/сек, в 11% превышали скорость 11,1 м/сек.

На МС Сарыяссия при ПБ ветры южного направления составляют 57% случаев, а юго-западные – 43%. Средняя скорость ветра равна 6,7 м/сек. При южных ветрах скорости 5,7-8,8 м/сек фиксируются в 28% случаев, 8,8-11,1 м/сек – в 14 % случаев. В юго-западном направлении 28% составляют скорости 3,6-5,7 м/сек, 14% – более 11,1 м/сек.

На МС Шурчи ПБ в 50% случаев возникают при ветрах южного направления, в 25% – при юго-западных ветрах и также 25% – при северных. Средняя скорость ветра равна 6,25 м/сек. При южных ветрах скорости 5,7-8,8 м/сек фиксируются в 25% случаев, в юго-западном направлении 25% составляют скорости 2,1-3,6 м/сек, в северном направлении 25% приходится на скорости 8,8-11,1 м/сек.

На МС Денау ПБ в основном случаются при ветрах северного и северо-западного направлений (50% случаев), при юго-восточных – 25%, северо-восточных – 12%. Средняя скорость ветра равна 2,4 м/сек. При северных и северо-западных ветрах скорости 3,6-5,7 м/сек фиксируются в 25% случаев, в остальных направлениях не превышают 3,6 м/с.

Синоптические процессы. Анализ повторяемости синоптических ситуаций на момент начала пылевой бури на МС Термез показал, что за рассматриваемый период 81% случаев с ПБ зарегистрирован при пяти синоптических процессах (рис. 9). Среди них на долю западных (34%) и северо-западных холодных вторжений приходится 48%, малоградиентные поля пониженного и повышенного давления составляют 25%, южно-каспийский циклон – 9%.

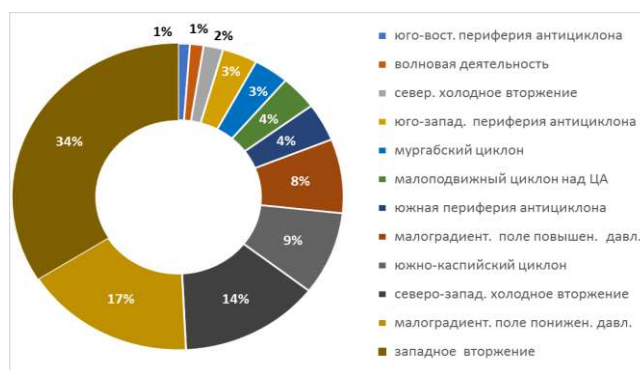


Рис. 9. Повторяемость синоптических процессов на момент начала пыльной бури на МС Термез

Fig. 9. Frequency of synoptic processes at the onset of dust storms at the Termez meteorological station

Выводы. Анализ данных наземных наблюдений позволил выявить следующие особенности пыльных бурь на территории Сурхандарьинской области.

1. Распределение пыльных бурь неравномерно, самая высокая повторяемость явления наблюдается на метеостанции Термез, на остальных станциях явление носит единичный характер.

2. На МС Термез с 2010 г. повторяемость пыльных бурь увеличилась почти в два раза по сравнению с предыдущим периодом (1981-2010гг.), этому сопутствовало постоянное увеличение числа дней с атмосферной засухой и сильным ветром. Число дней с атмосферной засухой увеличилось в 1,1-1,5 раза, с сильным ветром – в 1,4 раза. Число дней с пыльными бурями продолжительностью менее 6 часов составляют 62%. При пыльных бурях преобладают ветры юго-западного (51%) и западного (31%) направлений.

Основными синоптическими процессами при прохождении пыльных бурь являются западные, северо-западные холодные вторжения, малоградиентные поля пониженного и повышенного давления, южно-каспийский циклон.

3. На других станциях области в течение 2010-2021 гг. пыльные бури зафиксированы на МС Денау – 8 дней; на МС– Сарыяссия 5 дней; на МС Шурчи – 4 дня. На МС Шурчи и МС Сарыяссия при ПБ преобладают ветры южного и юго-западного направлений, на МС Денау - северного и северо-западного направлений.

В дальнейших исследованиях необходимо уделить внимание определению расположения очагов возникновения пыльных бурь на МС Термез и оценке пространственных масштабов явления по спутниковым данным.

Благодарности. Настоящее исследование выполнена в рамках прикладного проекта АЛ-5721122055 “Разработка технологии системы мониторинга пыльных бурь с использованием наземных и спутниковых данных”, финансируемого Агентством инновационного развития Республики Узбекистан.

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

ЛИТЕРАТУРА

Второе Национальное Сообщение об изменении климата Республики Узбекистан (ВНС). – Ташкент. – 2008. – 206 с.

Государственный кадастр зон повышенной природной опасности. Часть: зоны повышенной опасности гидрометеорологических явлений. 2006-2021 гг. – Ташкент: Узгидромет.

Изменчивость климата Средней Азии / Субботина О.И., Чанышева С.Г. и др. – Ташкент: САНИГМИ. – 1995. – 216 с.

Календарь типов синоптических процессов Средней Азии. Вып. 5, 2010-2022 гг. – Ташкент, 2022.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам Выпуск 3. Часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.

Научно-прикладной справочник по климату СССР, серия 3, Вып.19, книга 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 349 с.

Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии. Под ред. Джураева А.Д., Чанышевой С.Г., Субботиной О.И. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 336 с.

Отчет о научно-исследовательской работе долгосрочная исследовательская программа мониторинга эоловой почвенной эрозии в Средней Азии (CALTER – Project №516721). – Ташкент, 2009. – 84 с.

Смирнова Е.Н., Чанышева С.Г. Опасные метеорологические явления в Узбекистане. – Ташкент: НИГМИ. – 2007. – 160 с.

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

Четвертое Национальное Сообщение об изменении климата Республики Узбекистан, Ташкент, 2024. – 275 с.

Электронные ресурсы:

Решение 14-й сессии Конференции Сторон КБО ООН. - ICCD/COP(14)/17. URL: https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-07/ICCD_COP%2814%29_17-1910488R.pdf

Решение 15-й сессии Конференции Сторон КБО ООН ICCD/COP(15)/21. URL: https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/ICCD_COP%2815%29_21-2203197R.pdf

Sand and Dust Storms in Asia and the Pacific: Opportunities for Regional Cooperation and Action, ESCAP, 2018. URL: https://www.unescap.org/sites/default/files/UNESCAP%20SDS%20Report_1.pdf

СУРХОНДАРЁ ВИЛОЯТИДАГИ ЧАНГ БЎРОНЛАРИНИНГ ЕР УСТИ КУЗАТУВЛАРИ АСОСИДАГИ ТАҲЛИЛИ

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

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

² Гидрометеорология хизмати агентлиги

Аннотация Чанг бўронлари аҳоли саломатлиги, қишлоқ хўжалиги ва инфратузлмага салбий таъсир кўрсатади. Мақолада Ўзгидромет метеорология станциялари тармогининг 2010-2021 йиллардаги ерусти кузатувлари маълумотлари асосида Сурхондарё вилоятидаги чанг ва қум бўронларининг статистик кўрсаткичлари таҳлил қилинган. Чанг бўронлари Термиз метеостанцияда энг кўп қайд қилинган бўлиб, уларнинг содир бўлиши 1981-2010 йилларга нисбатан 2 мартага ортган, бу қурғоқчил ва кучли шамолли кунлар сонини ортиши билан боғлиқ. Давомийлиги 6 саотдан кам бўлган чанг бўронли кунлар сони 62%ни ташкил қилган. Сурхондарё вилоятининг бошқа метеостанцияларида чанг бўронлари кам кузатилади.

Калит сўзлар: чанг бўронлари, маълумотлар базаси, такрорланувчанлик, йил ичида ўзгаришлар, чанг бўронли кунлар сони, давомийлик, Сурхондарё вилояти, Ўзбекистон.

ANALYSIS OF DUST STORMS IN SURKHANDARYA REGION BASED ON GROUND OBSERVATION DATA

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

¹ Hydrometeorological Research Institute

² Agency of Hydrometeorological Service

Abstract. Dust storms negatively impact population health, agriculture, transport, and infrastructure. The article analyzes the statistical characteristics of dust and sand storms in the Surkhandarya region based on ground observation data from meteorological stations of the Uzhydromet network in 2010-2021. The highest frequency was recorded at the Termez meteorological station, where the frequency of storms increased by 2 times compared to 1981–2010, which is associated with an increase in the number of days with drought and strong winds. The number of days with dust storms lasting less than 6 hours is 62%. At other meteorological stations in the Surkhandarya region, the phenomenon is observed not often.

Keywords: dust storms, databases, frequency, annual cycle, number of days with dust storms, duration, Surkhandarya region, Uzbekistan.

REFERENCES

Vtoroe Natsionalnoe Soobshchenie ob izmenenii klimata Respubliki Uzbekistan (VNS) [Second National Communication on Climate Change of the Republic of Uzbekistan (SNC)]. – Tashkent. – 2008. – 206 s. (in Russian)

Gosudarstvennyy kadastr zon povyshennoy prirodnoy opasnosti. Chast: zony povyshennoy opasnosti gidrometeorologicheskikh yavleniy. 2006-2021 gg. [State cadaster of zones of increased natural hazard. Part: zones of increased danger of hydrometeorological phenomena. 2006-2021]. – Tashkent: Uzhydromet. (in Russian)

Izmenchivost klimata Sredney Azii [Climate Variability in Central Asia] / Subbotina O.I., Chanysheva S.G. i dr. - Tashkent: SANIGMI. - 1995. - 216 s. (in Russian)

Kalendar tipov sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [Calendar of types of synoptic processes in Central Asia]. Vyp. 5. – 2010-2022 gg., Tashkent, 2022. (in Russian)

Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam Vypusk 3. Chast 1. Meteorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh. [Manual for hydrometeorological stations and posts Issue 3. Part 1. Meteorological observations at stations]. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. (in Russian)

Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR [Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR]. Seriya 3, Vyp.19, kniga 2– L.: Gidrometeoizdat, 1989. - 349 s. (in Russian)

Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya v Sredney Azii. Pod red. Dzhuraeva A.D. Chanyshevoy S.G., Subbotinoy O.I. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. - 336 s. (in Russian)

Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote dolgosrochnaya issledovatel'skaya programma monitoringa eolovoy pochvennoy erozii v Sredney Azii [Research Report Long-Term Research Program for Monitoring Aeolian Soil Erosion in Central Asia] (CALTER – Project №516721). - Tashkent, 2009 – 84 s. (in Russian)

Smirnova E.N., Chanysheva S.G. Opasnye meteorologicheskie yavleniya v Uzbekistane [Dangerous meteorological phenomena in Uzbekistan].- Tashkent: NIGMI.-2007. - 160 s. (in Russian)

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

Chetvertoe Natsionalnoe Soobshchenie ob izmenenii klimata Respubliki Uzbekistan [Fourth National Communication on Climate Change of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent. - 2024. – 275 s. (in Russian)

Electronic resources:

Reshenie 14-y sessii Konferentsii Storon KBO OON [Decision of the 15th session of the COP UNCCD] - ICCD/COP(14)/17. https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-07/ICCD_COP%2814%29_17-1910488R.pdf (in Russian)

Reshenie 15y sessii Konferentsii Storon KBO OON [Decision of the 15th session of the COP UNCCD]. - ICCD/COP(15)/21. https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/ICCD_COP%2815%29_21-2203197R.pdf (in Russian)

Sand and Dust Storms in Asia and the Pacific: Opportunities for Regional Cooperation and Action, ESCAP, 2018. URL: https://www.unescap.org/sites/default/files/UNESCAP%20SDS%20Report_1.pdf

УДК 551.510.5

ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРЕ ВАРИАЦИЯМИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М.Л. АРУШАНОВ^{1*}, М. АЛАУТДИНОВ²

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

²Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Аннотация. Предпосылки возможного влияния вариаций солнечной активности на динамику концентрации диоксида серы (SO_2) в атмосфере, имеющего максимум в спектре поглощения солнечного излучения в ультрафиолетовой области (190-220 нм), совпадающий с максимумом в спектре поглощения озона, стали предметом исследования гипотетической связи между концентрацией SO_2 и числами Вольфа (W). Действительно, результаты исследования

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

показали наличие статистической связи между W и концентрацией SO_2 в атмосфере, полученной на основе корреляционного, вейвлет и спектрального анализов. Проведённый причинный анализ показал, что W и концентрация SO_2 связаны не только статистически, но и причинно-следственной зависимостью (функция причинности $\gamma(\Delta t) < 1$ в диапазоне временных сдвигов $\Delta t = -10 \div +15$ лет), т.е. динамика концентрации SO_2 физически обусловлена вариациями солнечной активности, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

Поскольку основными поставщиками диоксида серы в атмосферу являются вулканическая деятельность и антропогенная составляющая, физический механизм влияния вариаций солнечной активности на содержание SO_2 в атмосфере остается открытым. Одна из рабочих гипотез причинной зависимости динамики концентрации SO_2 от вариаций солнечной активности может быть основана на взаимодействии в газовой фазе озона с сероводородом с образованием диоксида серы: $H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$.

Ключевые слова: диоксид серы, озон, солнечная активность, числа Вольфа, корреляционный анализ, спектральный анализ, вейвлет анализ, причинный анализ.

Введение. Диоксид серы SO_2 – это газ, загрязняющий атмосферный воздух, состоящая из двух элементов – серы и кислорода. Источником SO_2 в атмосфере является вулканическая деятельность и антропогенная составляющая (сжигание нефти, дизельного топлива, угля). Естественное загрязнение атмосферы серой в два раза меньше антропогенного. По сравнению с основными газовыми составляющими атмосферы (азот, кислород, аргон и углекислый газ) диоксид серы занимает несравненно меньший объём. Концентрация в атмосфере SO_2 из-за различных природных и антропогенных источников может повышаться, что приводит к серьезным последствиям для людей, растений и экосистемы в целом.

Диоксид серы имеет максимум в спектре поглощения солнечной радиации в ультрафиолетовой области (190-220 нм), т.е. совпадает с максимумом в спектре поглощения озона. Поэтому диоксид серы, помимо негативных функций, выполняет и положительные – ослабляет влияние парниковых газов (диоксид углерода, метан) на рост температуры атмосферы, а также предотвращает возникновение и развитие онкологических заболеваний кожи человека.

Несмотря на малую концентрацию диоксида серы в атмосфере, он оказывает большое влияние на окружающую среду. Так, SO_2 ограничивает рост растений, повреждает листья, а при высокой концентрации в атмосфере вступает в реакцию с атмосферной влагой, образуя кислотное соединение, ответственное за кислотные дожди, разрушающие свойства почвы. Поэтому, всестороннее изучение динамики концентрации оксида серы во взаимосвязи с воздействующими на него факторами, представляется актуальной проблемой.

Максимум в спектре поглощения солнечной радиации диоксидом серы, совпадающим с максимумом поглощения озоном в ультрафиолетовом диапазоне, с одной стороны, и взаимодействие в газовой фазе озона с сероводородом с образованием диоксида серы ($H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$), с другой стороны, приводит к гипотезе зависимости динамики концентрации SO_2 от вариаций солнечной активности.

В последние десятилетия научное сообщество всё дальше и дальше уходит от прямолинейного толкования антропогенного фактора (главным образом CO_2), как причины наблюдаемого глобального потепления, а приходит к пониманию того, что динамика климата планеты, прежде всего, определяется динамикой внешних (астрономических) факторов [Арушанов, 2023, 2023; Crutzen, 2006; Израэль, 2005; Kasatkina et al., 1996; Касаткина и др., 1999], а антропогенный фактор является сопутствующим. Такая перемена взгляда на причины наблюдаемого глобального

потепления прямо следует из анализа палеоклиматических реконструкций: концентрация «парниковых» газов, аналогичная современной эпохе, достигала максимальной величины в периоды межледниковья [Арушанов, 2023, 2010; Petit et al., 1999]; глобальное потепление с конца XX века не является экстремально аномальным в динамике климатической системы, т.к. она на планете Земля испытывала более высокие значения температуры около 1000 лет назад (900-1300 гг.) во время «средневекового климатического оптимума» [Арушанов, 2023; Soon, Baliu-nas, 2003; Клименко и др., 2001; Keigwin, 1996].

Материалы и методы исследования. Данные о содержании диоксида серы (мг/м^3) за период с 1990 по 2023 годы были взяты из базы данных Узгидромета, как среднемесячные для каждого месяца года по г. Ташкенту. За тот же период были выбраны данные о вариациях солнечной активности (числа Вольфа), представленные в свободном доступе на сайте Мирового Центра Данных по Солнечно-Земной Физике: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html>.

Для анализа обусловленности динамики концентрации SO_2 в атмосфере вариациями солнечной активности были применены следующие методы:

– аппарат корреляционного анализа – вычислялась кросскорреляционная функция, как функция временного сдвига [Дженкинс, Ваттс, 1972]:

$$R(k) = \frac{\sum_{t=k}^{N-k} X_t Y_{t+k} - \frac{\sum_{t=k}^{N-k} Y_t \sum_{t=k}^{N-k} X_{t+k} Y_{t+k}}{N-k}}{\sqrt{\left[\sum_{t=k}^{N-k} Y_t^2 - \frac{\sum_{t=k}^{N-k} Y_t^2}{N-k} \right] \left[\sum_{t=k+1}^N X_t^2 - \frac{\sum_{t=k+1}^N X_t^2}{N-k} \right]}}. \quad (1)$$

– спектральный и взаимный спектральный анализ – вычислялись спектральные плотности $S(f)$ диоксида серы SO_2 и чисел Вольфа W , как разложение полной дисперсии временного ряда по различным частотным составляющим с оценкой косинус-преобразования Фурье выборочной автокорреляционной функции [Дженкинс, Ваттс, 1972]

$$S(f_j) = \frac{1}{\pi} \left[w_o r_o + 2 \sum_{k=1}^N w_k r_k \cos(f_j k) \right], \quad f_j = \frac{\pi j}{N}, \quad (2)$$

где: r_k – автокорреляционная функция, w_k – веса, f_j – частоты, и их спектр когерентности $K(f)$

$$K(f) = \frac{r_{XY}^2(f)}{S_X(f)S_Y(f)}. \quad (3)$$

В (3) $r_{XY}^2(f)$ – мера корреляции между $X(t)$ и $Y(t)$ на частоте f ;

– вейвлет анализ временных рядов X, Y – вычислялись амплитудные вейвлет функции (AWF)

$$W_A(a, b) = \frac{1}{n(a, B)} \sum_{k=0}^{N-1} f_k(t) \times \mathcal{G}^* \left(\frac{t_k - b}{a} \right), \quad (4)$$

где: $\mathcal{G}^*\left(\frac{t_k - b}{a}\right)$ – материнская комплексно-сопряженная вейвлет функция (функция

Морле), $n(a, b) = \sum_{k=0}^{N-1} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t_k - b}{a}\right)^2}$, t_k – временные отсчеты реализаций временного ряда $f = f(t_k)$, заданного с шагом Δt :

$$f = f(t_k), t_k = \Delta t \cdot k, \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1, \quad (5)$$

a_i ($i=0, 1, \dots, N_a - 1$), b_j ($j=0, 1, \dots, N_{ab} - 1$) – дискретное множество значений аргументов функции (4): $a_{min} = \frac{2\Delta t}{\sqrt{2}}$, $a_{max} = \frac{(N-1)\Delta t}{\sqrt{2}}$, $\Delta a = \frac{a_{max} - a_{min}}{N_a - 1}$, $a_i = a_{min} + \Delta a$; параметр b :

$b_{min} \geq 0; b_{max} \leq (N-1)\Delta t$, $\Delta b = \frac{b_{max} - b_{min}}{N_b - 1}$, $b_j = b_{min} + \Delta b \cdot j$ и интегральный спектр энергии

$G(a_i)$ – скейлограмма:

$$G(a_i) = \frac{1}{N_b} \sum_{j=0}^{N_b-1} S(a_i, b_j). \quad (6)$$

В (6) $S(a_i, b_j) = |W_A(a_i, b_j)|^2$;

– аппарат причинного анализа [Арушанов, Коротаев, 1994] – вычислялась функция причинности $\gamma(k)$, как функция временного сдвига k , в предположении причинной обусловленности динамики SO_2 вариациями солнечной активности

$$\gamma(k) = \frac{H(X)_k H(Y|X)_k}{H(Y)_k H(X|Y)_k}, \quad 0 \leq \gamma \leq \infty. \quad (7)$$

где: $H(X)$, $H(Y)$, $H(Y|X)$, $H(X|Y)$ – условные и безусловные энтропии, построенные по временным рядам X и Y . Если $\gamma < 1$, то функция находится в области нормальной причинности (процесс X является причиной, а процесс Y – следствием); если $\gamma > 1$, то функция находится в области обращённой причинности (процесс Y – причина, процесс X – следствие); при $\gamma = 1$ – оба процесса причинно не связаны.

В вышеприведённых формулах переменная X обозначает числа Вольфа, а переменная Y – концентрацию SO_2 .

Основные результаты и их обсуждение. Результаты расчётов функций согласно (1)-(7), характеризующих возможную обусловленность динамики концентрации диоксида серы в атмосфере вариациями солнечной активности, приведены на рис. 1. и рис. 2. Выдвинутая гипотеза указанной обусловленности, как следует из рис. 1, реализуется в процессах динамики SO_2 . Действительно, спектры колебаний обоих переменных очень близки (рис. 1б), во всём диапазоне временных сдвигов кросскорреляционная функция остаётся в области значимости с максимум корреляции $R=0,58$ для $k=-1$, т.е. реакция динамики SO_2 на вариации солнечной активности происходит с запаздыванием (рис. 1в), значимая когерентность ($K(0,091)=0,4$), имеющая смысл квадрата коэффициента корреляции, в взаимном спектре когерентности диоксида серы и чисел Вольфа приходится на основной цикл колебаний солнечной активности – 11 лет (рис. 1д). И наконец, один из самых информативных показателей причинной связи исследуемых

переменных – функция причинности, находится в области нормальной причинности ($\gamma < 1$) в диапазоне временных сдвигов $k = -11 \div +15$ лет, что однозначно показывает обусловленность динамики концентрации SO_2 в атмосфере вариациями чисел Вольфа (рис. 1г).

Кроме того, на частоте, соответствующей периоду 11 лет экстремальные колебания амплитудной вейвлет функции и чисел Вольфа и концентрации диоксида серы, остаются достаточно устойчивыми на всём временном масштабе. В интегральном спектре энергии вейвлет преобразования, помимо основного 11-ти летнего цикла, для обоих разложений присутствует обертоном 11-ти летнего цикла – 4-х летний (рис. 2).

Таким образом, выполненный анализ динамики временных рядов чисел Вольфа и концентрации диоксида серы с использованием современных методов исследования наличия (отсутствия) причинной зависимости одного процесса от другого на основе всех используемых в работе показателей однозначно подтвердил обусловленность динамики концентрации диоксида серы в атмосфере вариациями солнечной активности.

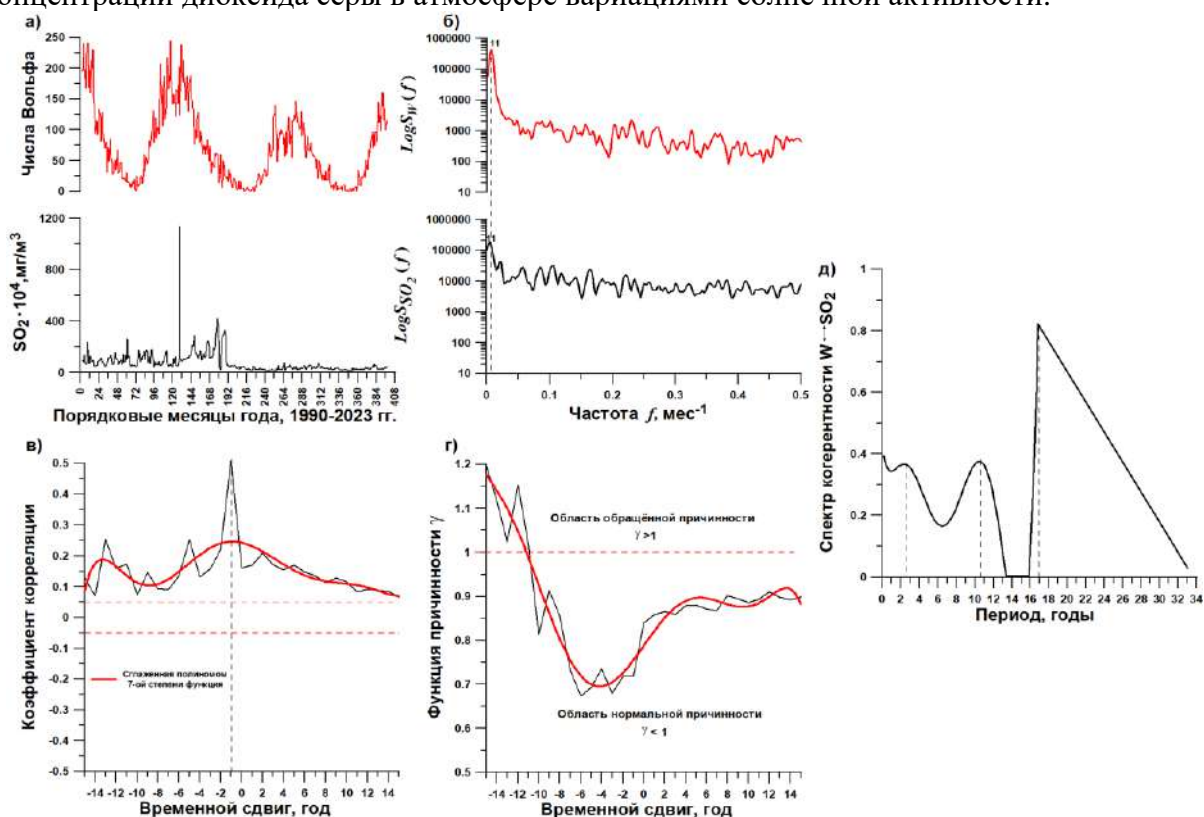


Рис. 1. Временной ход чисел Вольфа и концентрации диоксида серы на периоде времени 1990-2023 годы (а), их спектральные плотности (б), кросскорреляционная функция, как функция временного сдвига (в), аналогично – функция причинности (г) и спектр когерентности $W \leftrightarrow SO_2$ (д)

Fig 1. Time course of Wolf numbers and sulfur dioxide concentration over the time period 1990-2023 (a), their spectral densities (б), cross-correlation function as a function of time shift (в), similarly – causality function (г) and coherence spectrum $W \leftrightarrow SO_2$ (д)

Заключение. Диоксид серы – непрямой парниковый газ, в больших концентрациях очень токсичен и опасен для здоровья человека и негативно влияет на растения, обладает и положительными характеристиками, ослабляя воздействие ультрафиолетового

излучения на человека, предохраняет его от онкологических заболеваний кожи. В атмосфере ослабляет влияние парниковых газов (диоксид углерода, метан) на рост температуры атмосферы.

Указанные свойства диоксида серы ставят задачу глубокого исследования его динамики, в том числе, воздействующих на неё факторов. Как было показано в данной статье, одним из таких факторов является воздействие на концентрацию диоксида серы вариаций солнечной активности. Физико-химический механизм такого воздействия остаётся открытым, а те гипотезы, которые были выше изложены в связи с взаимодействием в газовой фазе озона с сероводородом в реальных условиях с образованием диоксида серы, требуют строгого обоснования.

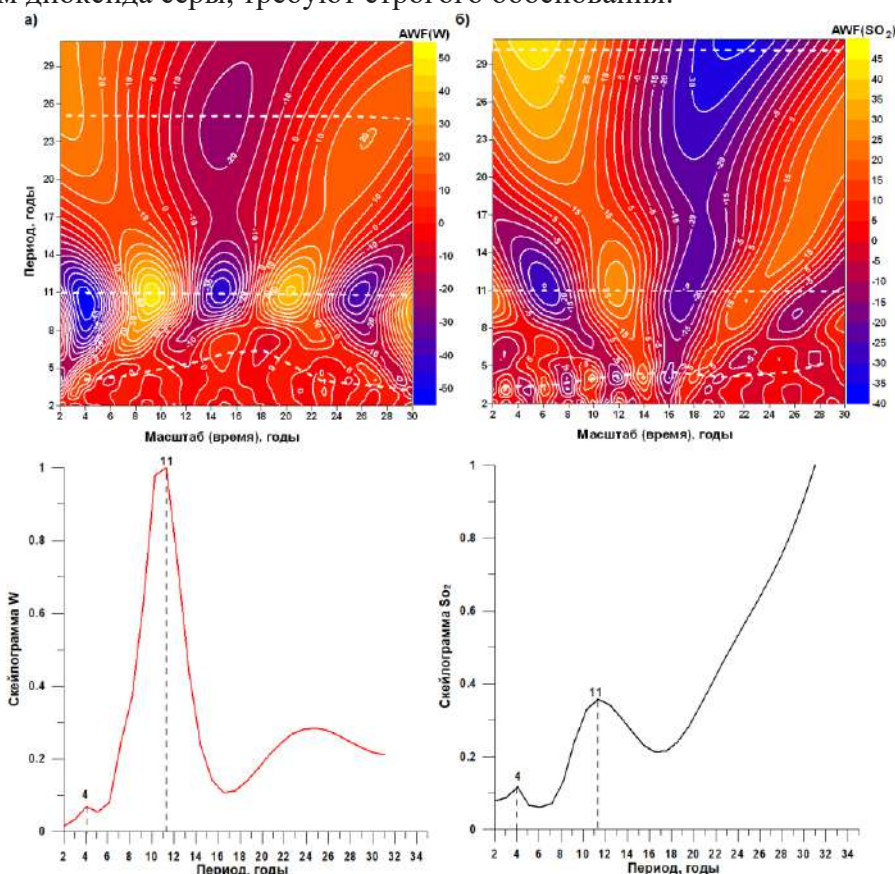


Рис. 2. Амплитудная вейвлет функция чисел Вольфа (а) и концентрации диоксида серы (б) и их интегральный спектр энергии – скейлограмма (внизу), соответственно.

Примечание: штриховая белая линия – степень устойчивости колебаний AWF во времени на фиксированной частоте; числа над пиками – периоды в годах.

Fig. 2. Amplitude wavelet function of the Wolf numbers (a) and sulfur dioxide concentration (b) and their integral energy spectrum - scalogram (below), respectively

Note: dashed white line – degree of stability of AWF oscillations over time at a fixed frequency; the numbers above the peaks are periods in years.

Вклад авторов: М.Л. Арушанов: методы анализа причинной обусловленности процессов, редакция статьи. М. Алаутдинов: постановка задачи, формирование базы данных, написание текста. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Арушанов М. Л. Динамика климата. Космические факторы. – Hamburg: Lambert Academic Publishing (LAP). – 2023. – 152 с.
- Арушанов М. Л. Причины изменения климата Земли, как результат космического воздействия, развевающие миф об антропогенном глобальном потеплении // German International Journal of Modern Science №53. – 2023. – Р. 4-14.
- Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Причинный анализ и его применение для изучения физических процессов в атмосфере // Метеорология и гидрология, №6. –1994. – С. 15-22.
- Арушанов М. Л. Климатический спектр планеты Земля. – Ташкент: НИГМИ, 2010. – 160 с.
- Дженкинс Г, Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Т2. – М.: Мир, 1972. – 287 с.
- Израэль Ю.А. Эффективный путь сохранения климата на современном уровне – основная цель решения климатической проблемы. – Метеорология и гидрология, № 10. – 2005. – С. 5-9.
- Касаткина Е. А., Шумилов О. И., Ващенко Э. В. Корпускулярная активность Солнца как источник аэрозолей в стратосфере // Космические исследования, Т. 37, № 2. – 1999. – С. 163-167.
- Клименко В. В., Климанов В. А., Сирин А. А., Слепцов А. М. Изменение климата на западе европейской части России в позднем Голоцене // ДАН. География, т. 376. – 2001. – С. 679-683.
- Crutzen P. J. Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma? – Climatic Change, V. 77. – 2006. – Р. 211-219.
- Keigwin L. D. The little ice age and medieval warm period in the Sargasso Sea. – Science, V. 274. –1996. – Р. 1504-1508.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I. et. al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. – Nature, V. 399. 1999. – Р. 429-436.
- Shumilov O.I., Kasatkina E.A., Raspopov O.M., Hansen T., Frank-Kamenetsky A.V. SC-triggered pulsations at high latitudes and their sources in the magnetosphere // Journal of Geophysical Research, V. 101, No A8. – 1996. – Р. 17355-17363.
- Soon W., Baliunas S. Proxy climatic and environmental changes of the past 1000 years. – Climate Research, V. 23. – 2003. – Р. 89-100.

**ОЛТИНГУГУРТ ДИОКСИДИНИНГ АТМОСФЕРАДАГИ КОНЦЕНТРАЦИЯСИ
ЎЗГАРИШ ДИНАМИКАСИНИНГ ҚУЁШ ФАОЛЛИГИ ЎЗГАРИШИГА
БОҒЛИҚЛИГИ**

М.Л. АРУШАНОВ¹, М. АЛАУТДИНОВ²

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети.

Аннотация. Қуёш фаоллиги (Вольф сонлари W) тебранишларининг олтингугурт диоксида (SO_2) концентрацияси ўзгариш динамикасига мумкин бўлган таъсирларини ўрганиш (атмосферада қуёш радиация спектрида SO_2 нинг ультрабинафша диапазонга (190-220 нм) тўғри келадиган ютиш максимуми озонни ютиш максимумига тўғри келади) ушбу ишнинг мақсадидир. Корреляцион, вейвлет ва спектрал усуллар асосида бажарилган тадқиқотлар, ҳақиқатдан ҳам, Вольф сонлари W ва SO_2 концентрацияси ўзгариш динамикасида статистик боғланиш мавжудлигини кўрсатди. Ўтказилган сабабий таҳлил шуни кўрсатдики, W ва SO_2 концентрацияси орасида нафақат статистик, балки сабаб-оқибат боғланиш ҳам мавжуд (вақт силжешлари $\Delta t = -10 \div +15$ йил ораллигида сабаб-оқибатий функцияси $\chi(\Delta t) < 1$), яъни SO_2 концентрацияси ўзгариш динамикаси Қуёш фаоллиги (W) ўзгариши билан белгиланади.

Атмосферага олтингугурт диоксидининг асосий ажратувчилари вулқон фаоллиги ва антропоген таъсир бўлганлиги сабабли, Қуёш фаоллиги ўзгаришининг атмосферадаги SO_2 миқдорига таъсирининг физик механизми ноаниқлигича қолмоқда. SO_2 концентрацияси ўзгариш

динамикасининг қуёш фаоллигининг ўзгаришига сабабий боғлиқлигининг ишчи гипотезаларидан бири - бу газ фазасида озоннинг водород сульфид билан реакцияси натижасида олтингузурт диоксиди ҳосил бўлишидир: $H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$.

Калит сўзлар: олтингузурт диоксиди, қуёш фаоллиги, Вольф сонлари, корреляцион таҳлил, спектрал таҳлил, вейвлет таҳлил, сабаб-оқибат таҳлили.

THE DEPENDENCE OF SULFUR DIOXIDE CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERE ON VARIATIONS OF SOLAR ACTIVITY

M.L. ARUSHANOV¹, M. ALAUDINOV²

¹ Hydrometeorological Research Institute

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

Abstract. *The prerequisites for the possible influence of solar activity variations on the dynamics of sulfur dioxide (SO₂) concentration in the atmosphere, which has a maximum in the solar radiation absorption spectrum in the ultraviolet range (190-220 nm), coinciding with the maximum in the ozone absorption spectrum, were the subject of the study of the hypothetical relationship between concentration of SO₂ in atmosphere and Wolf numbers (W) in this paper. Indeed, the results of the study showed the presence of a statistical relationship between W and concentration of SO₂ in atmosphere, obtained on the basis of correlation, wavelet and spectral analyses. The performed causal analysis showed that W and SO₂ concentration are related not only statistically, but also by a causal dependence (causality function $\gamma(\Delta t) < 1$ in the range of time shifts $\Delta t = -10 \div +15$ years), i.e. the dynamics of SO₂ concentration are physically determined by solar activity variations, which confirms the hypothesis put forward.*

Since the main emitters of sulfur dioxide to the atmosphere is volcanic activity and anthropogenic component, the physical mechanism of influence of solar activity variations on SO₂ content in the atmosphere remains unclear. One of the working hypotheses of causal dependence of SO₂ concentration dynamics on solar activity variations may be based on interaction in the gas phase of ozone with hydrogen sulfide with formation of sulfur dioxide: $H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$.

Keywords: sulfur dioxide, solar activity, Wolf numbers, correlation analysis, spectral analysis, wavelet analysis, causal analysis.

REFERENCE

- Arushanov M. L. Dinamika klimata. Kosmisheskie faktory [Climate dynamics. Space factors]. – Hamburg: Lambert Academic Publishing (LAP). – 2023. – 152 s. (in Russian)
- Arushanov M. L. Prichiny izmeneniya klimata Zemli, kak rezultat kosmicheskogo vozdeistviya, razvevayushie mif ob antropogennom globalnom potepnenii [Causes of climate change on the Earth, as a result of cosmic impact, dispelling the myth of anthropogenic global warming] // German International Journal of Modern Science, No. 53. – 2023. – S. 4-14. (in Russian)
- Arushanov M. L., Korotaev S. M. Prichinnyi analiz I ego primeneniye dlya izlucheniya fizicheskikh processov v atmosfere [Causal analysis and its application for studying physical processes in the atmosphere] // Meteorologiya i gidrologiya, No. 6. – 1994. – S. 15-22. (in Russian)
- Arushanov M. L. Klimatichesky spektr planety Zemlya [Climatic spectrum of planet Earth]. – Tashkent: NIGMI, 2010. – 160 s. (in Russian)
- Jenkins G, Watts D. Spektralnyi analiz i ego prilozheniya. T2 [Spectral analysis and its applications. T.2]. – M.: Mir, 1972. – 287 s. (in Russian)
- Israel Yu. A. Effektivnyi put sohraneniya klimata na sovremennom urovne – osnovnaya cel resheniya klimaticheskoy problemy [An effective way to preserve the climate at the modern level is the main goal of solving the climate problem] // Meteorologiya i gidrologiya, No. 10. – 2005. – S. 5-9. (in Russian)

Kasatkina E. A., Shumilov O. I., Vashenyuk E. V. Solnce kak istoshnik aerizolei v atmosfere [Corpuscular activity of the Sun as a source of aerosols in the stratosphere] // Kosmicheskie issledovaniya, T. 37, No. 2. – 1999. – P. 163-167. (in Russian)

Klimenko V.V., Klimanov V.A., Sirin A.A., Sleptsov A.M. Izmenenie klimata na zapadnoi chasti Rossii v pozdnem golocene [Climate change in the west of the European part of Russia in the late Holocene] // DAN. Geografiya, T. 376. – 2001. – P. 679-683. (in Russian)

УДК 551.510.42

КОНЦЕНТРАЦИЯ, ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И ИСТОЧНИКИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА ТАШКЕНТ

М.О. АМОНОВ^{2*}, Б.Э. НИШОНОВ², О.М. ОЧИЛОВ³

¹ Научно-исследовательский университет “ТИИИМСХ”, m.amonov@tiiame.uz

² Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru

³ Национальный офис по внедрению инноваций и трансферу технологий

Аннотация. В статье приведены результаты анализа фильтров от пробоотборников атмосферного воздуха, установленных на метеостанции Ташкент-Обсерватория г. Ташкента. Сбор проб были проведены в так называемом сезоне пыльных бурь в течение трех лет в начале лета и осени. Анализы показывают, что концентрация мелкодисперсных частиц составили летом для $PM_{2.5}=19,2-38,1$ мкг/м³, для $PM_{10}=45,8-86,8$ мкг/м³ и осенью для $PM_{2.5}=27,1-33,1$ мкг/м³, $PM_{10}=65,8-86,8$ мкг/м³. Самая высокая концентрация мелкодисперсных частиц наблюдалась в 2008 году, самая низкая для летнее время 2010 году и для осеннее время в 2009 году. Соотношение $PM_{2.5}/PM_{10}$ в среднем за время проведения экспериментальных исследований изменялось в пределах 0,38-0,46. В статье также приведены результаты микроэлементного анализа фильтров $PM_{2.5}$ в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре (ED-XRF). Расчеты, выполненные после микроэлементного анализа, показали, что концентрация минеральной пыли составила 31% в 2008 г., 20% в 2009 г. и 24% в 2010 г. от общей массы мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$. Необходимо указать на наличие в составе мелкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха таких элементов как Al, Si, Ca, Se, As, Cr, Pb, Zn, Mn, Ti, Cu и K. Используя эти элементы, определены предполагаемые источники загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами. В статье также изучена траектория воздушных масс в день пылевой бури, отмеченное 28 июня 2008 года. Результаты исследования в статье являются первыми в Узбекистане данными по изучению состава мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе республики.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение воздуха, сезон пылевых бурь, мелкодисперсные взвешенные частицы, $PM_{2.5}$, PM_{10} , концентрация частиц и минеральной пыли, микроэлементный состав, источники РМ, анализ траекторий HYSPLIT, Ташкент.

Введение. Ташкент, являясь столицей Узбекистана и одним из крупных городов Центральной Азии, в последнее время все больше сталкивается с проблемами загрязнения атмосферного воздуха. При оценке загрязнения атмосферного воздуха указывается на повышенные концентрации в атмосферном воздухе мелкодисперсных взвешенных частиц с диаметром менее 2,5 микрон – $PM_{2.5}$ и менее 10 микрон – PM_{10} (мелкодисперсные частицы от английского particulate matter – РМ вошедшее в широкое употребление

* Ответственный автор: m.amonov@tiiame.uz, тел.: +998 90 321-34-37

сокращение), которые увеличивают случаи респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также снижают продолжительность жизни и приводят к росту преждевременной смертности населения. В дополнение к воздействию на здоровье людей, мелкодисперсные взвешенные частицы также влияют на радиационный баланс системы Земля – атмосфера и, следовательно, воздействуют на погоду и климат, поглощая, отражая и рассеивая солнечное излучение. Учитывая аридный и сухой климат, а также частые пыльные бури [Нишонов и др., 2024], считается, что почвенная (или минеральная) пыль – основной компонент РМ в Узбекистане. Однако ощущается острая нехватка научных публикаций по количественной оценке содержания минеральной пыли в РМ в различных городах в различные времена года. Также актуально изучение микроэлементного состава и источников РМ из-за отрицательного влияния отдельных элементов на здоровье человека.

Цель данной работы – изучение концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц РМ_{2.5} в атмосферном воздухе и их элементного состава, определение доли почвенной (минеральной) пыли, а также предполагаемых источников загрязнения атмосферного воздуха.

Объектом исследования является атмосферный воздух г. Ташкента, **предметом исследования** – концентрация, микроэлементный состав, содержание почвенной пыли и источники мелкодисперсных взвешенных частиц РМ_{2.5}.

Исходные данные и методы исследования. В 2008-2010 гг. в рамках совместного проекта Ташкентского государственного аграрного университета с Университетом штата Вашингтон (США) авторами статьи было проведено одно из первых исследований по РМ с краткосрочным мониторингом РМ_{2.5} и РМ₁₀ в атмосферном воздухе г. Ташкента. Начало лета и осени является своеобразным сезоном пыльных бур в Узбекистане, поэтому отбор проб воздуха был проведен в июне - июле и сентябре - октябре каждого года.

Отбор проб, определение концентрации РМ и химический анализ.

Для отбора проб воздуха использовались малообъемные пробоотборники MiniVol TAS (Airmetrics, США), которые были установлены на площадке метеостанции Ташкент-Обсерватория, расположенной на территории нынешнего Агентства гидрометеорологической службы Республики Узбекистан. На этой метеоплощадке были установлены два пробоотборника для РМ_{2.5} и один пробоотборник для РМ₁₀ (рис. 1).



Рис. 1. Пробоотборники воздуха, установленные на метеоплощадке Ташкент-Обсерватория и процесс взвешивания фильтров

Fig. 1. Air samplers installed at the Tashkent Observatory weather station and the filter weighing process

Для сбора РМ в пробоотборниках использовались тефлоновые фильтры, кварцевые фильтры (Whatman, США) и фильтры из стекловолокна (Pall Corporation, США) диаметром 47 мм. При работе пробоотборника атмосферный воздух проходит через сепаратор размера частиц, и затем поступает в среду, где находится фильтр. Здесь разделение размеров мелкодисперсных взвешенных частиц достигается за счет работы инерционных импакторов. В пробоотборнике при сборе мелкодисперсных взвешенных частиц правильного размера решающее значение имеет скорость потока воздуха через импактор. Для MiniVol TAS фактическая объемная скорость потока составлял 5 л/мин при условиях окружающей среды и это соответствовал техническим условиям работы пробоотборника. Ротаметр пробоотборника показывал фактическую скорость потока воздуха. Перед использованием и каждый год до начала отбора проб воздуха проводился калибровка ротаметра и поверка пробоотборника. Разница между фактическим потоком воздуха в пробоотборнике и поверочным потоком воздуха соответствовало требованиям и была не более 3%.

В каждом пробоотборнике отбор проб начинался примерно в 8:00 часов утра и продолжительность ежедневного отбора проб составляла $24 \pm 0,5$ часа. Фильтры до и после отбора проб были взвешены с использованием микровесов XP-26DR (Mettler Toledo, Швейцария), установленных в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (рис. 1). Кварцевые фильтры перед использованием обжигали в муфельной печи при температуре 600°C в течение 6 часов, чтобы избежать высоких значений содержания органического углерода.

В 2008-2010 годах были проведены шесть сессий отбора проб: 11 июня – 10 июля и 11 сентября – 10 октября 2008 года; 1 июня – 15 июля и 1 сентября – 15 октября 2009 года; 11 июня – 10 июля и 11 сентября – 10 октября 2010 года. За день до начала сеанса отбора проб фильтр помещался в кассету, и кассета хранилась в антистатической пластиковой коробочке. Во время транспортировки между лабораторией и метеоплощадкой, где были установлены пробоотборники, коробки с фильтрами помещались в пластиковые пакеты с застежками-молниями. В конце отбора проб воздуха предыдущая кассета с фильтром заменялась следующей кассетой с фильтром. В лаборатории использованный фильтр извлекался из кассеты для последующего взвешивания, а в кассету помещался новый, предварительно взвешенный фильтр. Использованные фильтры помещались в чашки Петри и хранились в холодильнике ($<10^{\circ}\text{C}$) до взвешивания. При работе с фильтрами использовался пинцет. В лабораторном журнале для каждого дня отбора проб регистрировались данные пробоотборника, фильтра, даты, начальное время, скорость потока, время остановки и другие.

Используя вес фильтров до и после отбора, а также продолжительность отбора проб и объёмную скорость потока воздуха определялся концентрация РМ в атмосферном воздухе. Для обеспечения достоверности и контроля качества после каждых 9-10 проб в каждом пробоотборнике использовались бланк фильтры.

Микроэлементный состав мелкодисперсных частиц был проанализирован с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометров (ED-XRF) Epsilon 4 и Epsilon 5 (Malvern Panalytical) в Институте исследования пустынь (Desert Research Institute) и Вашингтонском университете в Сент-Луисе (Washington University in St. Louis) США [Liu et al., 2023]. Корректировка данных была проведена путем вычитания результатов измерения лабораторных бланк фильтров из результатов измерения образцов фильтра. Концентрация $\text{PM}_{10-2,5}$ и концентрации элементов в $\text{PM}_{10-2,5}$ были рассчитаны как различия между измерениями в PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$.

Определение концентрации пыли. Пыль, часто называемая минеральная или же почвенная, является одним из основных компонентов мелкодисперсных взвешенных частиц и имеет как естественные (например, пустыня), так и антропогенные (например, сельскохозяйственные земли, дороги, строительство и промышленные объекты) источники. Массу минеральной части пыли и, следовательно, ее фракцию в мелкодисперсных частицах невозможно измерить напрямую, поскольку почвенная пыль представляет собой сложную смесь многих минералов, в основном кварца, полевых шпатов, глин, кальцита и оксидов железа, и часто смешивается с не пылевыми частицами, которые также содержат элементы земной коры. Практичным и типичным способом оценки массы минеральной пыли является применение уравнения пыли, где суммируются оксиды основных элементов земной коры с использованием измеренного элементного состава и предположения об общих формах оксидов, связанных с минеральной пылью.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия для расчета концентрации минеральной пыли в составе мелкодисперсных взвешенных частиц исследователями было предложено несколько уравнений. Каждое предложенное уравнение имеет свои преимущества и недостатки. При определении концентрации минеральной части пыли нами было использовано уравнение, предложенное относительно недавно и дающее относительно точные данные по пыли с учетом региональных условий [Liu et al., 2022]:

$$\text{КПП} = [1,89\text{Al} \times (1 + \text{MAL}) + 2,14\text{Si} + 1,40\text{Ca} + 1,36\text{Fe} + 1,67\text{Ti}] \times \text{CF}$$

где, КПП-концентрация почвенной пыли, здесь постоянными являются коэффициенты окисления, используемые для преобразования элементов в оксиды, MAL - представляет собой массовое соотношение минерала к алюминию, определяемое как $(\text{K}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$, а CF - поправочный коэффициент, используемый для учета других отсутствующих соединений, таких как карбонаты. Коэффициенты MAL и CF имеются для шести основных регионов-источников пыли (Ближний Восток, Сахара, Австралия, Восточная Азия и Юго-запад США), но они недоступны для Центральной Азии из-за недостатка данных измерений в регионе - источнике пыли, необходимых для разработки региональных коэффициентов. При определении массы пыли были применены коэффициенты региона с наиболее близким значением коэффициента MAL.

Анализ траектории воздушных масс атмосферы. Анализом траектории воздушных масс атмосферы были изучены области-источники крупных пылевых явлений, характеризующихся высокой концентрацией и фракцией минеральной пыли в составе $\text{PM}_{2.5}$. Чтобы идентифицировать пылевые выбросы для этих событий, были получены естественные цветные изображения со спектрорадиометра среднего разрешения (MODIS) спутника Aqua Национального управления по авиации и исследованию космического пространства США (NASA), используя веб-сайт NASA Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>). Для анализа траектории воздушных масс атмосферы использовали модель HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model - Гибридная модель интегрированной траектории для одиночных частицы с использованием лагранжевого подхода) [Rolph et al., 2017; Stein et al., 2015]. HYSPLIT используется для анализа транспорта, рассеивания и осаждения атмосферных частиц, таких как аэрозоли и пыль, а также траектории пыльных бурь [Nishonov et al, 2023]. Эта модель комбинирует лагранжевый метод с возможностями интеграции данных о метеорологических условиях. Были рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс в течение 72 часов с высотами прибытия 50, 100 и 500 м над уровнем земли, используя модель HYSPLIT с привязкой к метеорологическим данным Глобальной системы ассимиляции данных (GDAS) со сеткой с пространственным разрешением 1° .

Чтобы изучить частоту прохождения воздушных масс над основными пустынными районами, также было проведено кластерный анализ обратных траекторий, используя функцию “trajectories” в пакете “Openair” R, который использует алгоритм разбиения на медоиды [Carslaw, Ropkins, 2012]. Евклидова матрица расстояний использовался для вычисления сходства между различными траекториями.

Анализ главных компонент. Для качественного изучения потенциальных источников основных элементов и микроэлементов в составе $PM_{2.5}$ был использован метод анализа главных компонент (PCA) для данных 2010 года. Ковариационная матрица была вычислена, используя стандартизированный набор элементных данных и для определения главных компонент с помощью этой матрицы были подсчитаны собственные векторы и значения. Были выделены главные компоненты с высокими собственными значениями для объяснения большей части общей дисперсии, для упрощения интерпретации было использовано вращение Varimax. В конечной матрице значение компонент представляло собой корреляцию между элементами, в то время как общности указывают на дисперсию каждого элемента, объясняемую извлеченными главными компонентами (ГК).

Основные результаты и их обсуждение. Полученные результаты по концентрации РМ были частично опубликованы в статьях [Амонов и др., 2009; Amanov et al., 2010]. Учитывая нынешний повышенный интерес к загрязнению атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами и неполноту данных в предыдущих публикациях, авторы решили привести в этой статье данные по концентрации РМ за все годы исследований, а также данные по элементному составу мелкодисперсных частиц.

Как было отмечено выше, во время мониторинга РМ были использованы кварцевые фильтры, тефлоновые фильтры и фильтры из стекловолокна. Кварцевые фильтры в последующем использовались для анализа органического и элементарного углерода, тефлоновые фильтры – для элементного анализа состава РМ. Относительно дорогостоящие тефлоновые фильтры дают более достоверные данные по массе РМ, поэтому полученные данные по концентрации РМ на фильтрах из стекловолокна были скорректированы, используя данные, полученные от тефлоновых и бланковых фильтров.

Таблица 1

24-часовая среднесуточная концентрация РМ, $\mu\text{г}/\text{м}^3$

Table 1

24-hour average daily concentration of PM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Годы	PM _{2.5}		PM ₁₀		PM _{10-2.5}	
	Летнее	Осеннее	Летнее	Осеннее	Летнее	Осеннее
2008	38,1	33,1	86,8	86,8	48,7	53,7
2009	22,3	27,1	56,5	65,8	34,2	38,8
2010	19,2	31,6	45,8	68,7	26,5	37,1

Анализ показывает, что концентрация мелкодисперсных частиц составила летом для $PM_{2.5} = 19,2-38,1$ $\mu\text{г}/\text{м}^3$ и для $PM_{10} = 45,8-86,8$ $\mu\text{г}/\text{м}^3$ и осенью для $PM_{2.5} = 27,1-33,1$ $\mu\text{г}/\text{м}^3$ и для $PM_{10} = 65,8-86,8$ $\mu\text{г}/\text{м}^3$. Самая высокая концентрация мелкодисперсных частиц наблюдалась в 2008 году, самая низкая для летнее время в 2010 году и для осеннее время в 2009 году. Концентрация РМ была высокой осенью по сравнению с летним сезоном, за исключением 2008 года. Согласно многолетним наблюдениям Узгидромета, средняя годовая сумма осадков в Ташкенте составляет около

420 мм. 2007-2008 годы были своеобразными засушливыми годами (осадки в Ташкенте составляли 411 мм и 348 мм, соответственно) и наоборот в 2009-2010 годах было больше осадков (588 мм и 499 мм, соответственно). Можно предположить, что это тоже повлияло на концентрацию РМ в этих годах. Соотношение $PM_{2.5}/PM_{10}$ в среднем за время проведения экспериментальных исследований изменялась в пределах 0,38-0,46.

Для элементного анализа были использованы тефлоновые фильтры. Количество анализированных фильтров составляло за 2008 год – 15 шт., за 2009 год – 29 шт. и за 2010 год – 30 шт. На рисунке 2 показаны уровни концентрации десяти основных элементов и микроэлементов. Летом 2008 года наблюдались повышенные уровни содержания элементов земной коры, включая Al, Si, K, Ca, Ti, Mn и Fe, что указывает на крупные пылевые явления в течение этого года. Уровни S, Zn и Pb оставались относительно стабильными в разные годы. Есть относительно большие различие в концентрации элементов в летнее и осеннее время года.

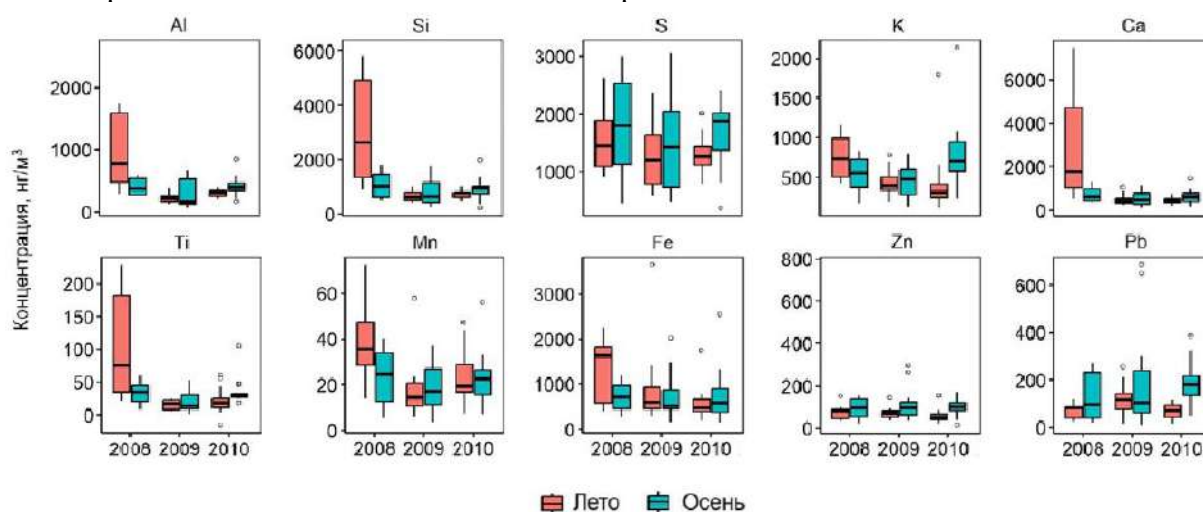


Рис. 2. Концентрация основных элементов и микроэлементов в составе $PM_{2.5}$

Fig. 2. Elemental concentrations of $PM_{2.5}$

Среднее значение коэффициента MAL, используемое при определении концентрации пыли, составляет 0,92, что наиболее близко к региональному значению MAL для Ближнего Востока (0,72) и выше, чем в других регионах с крупными источниками пыли [Liu et al., 2022]. Таким образом, для определения массы пыли в фильтрах были использованы значение 0,72 и поправочный коэффициент $CF=1,14$ для Ближнего Востока. Высокое значение MAL, полученное после расчетов, указывает на то, что природная пыль в Центральной Азии, вероятно, более щелочная, чем пыль в других регионах-источниках. Наземные измерения состава пыли в пустынях Центральной Азии необходимы для разработки коэффициентов, характерных для Центральной Азии, и более точной оценки массы пыли в этом регионе.

На рисунках 3-4 приведены графики суточных концентраций РМ за время проведения экспериментальных исследований.

Расчеты, сделанные после микроэлементного анализа, показывают, что концентрация минеральной пыли в среднем составил 31% в 2008 г., 20% в 2009г. и 24% в 2010 г. от общей массы мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ (рис. 5).

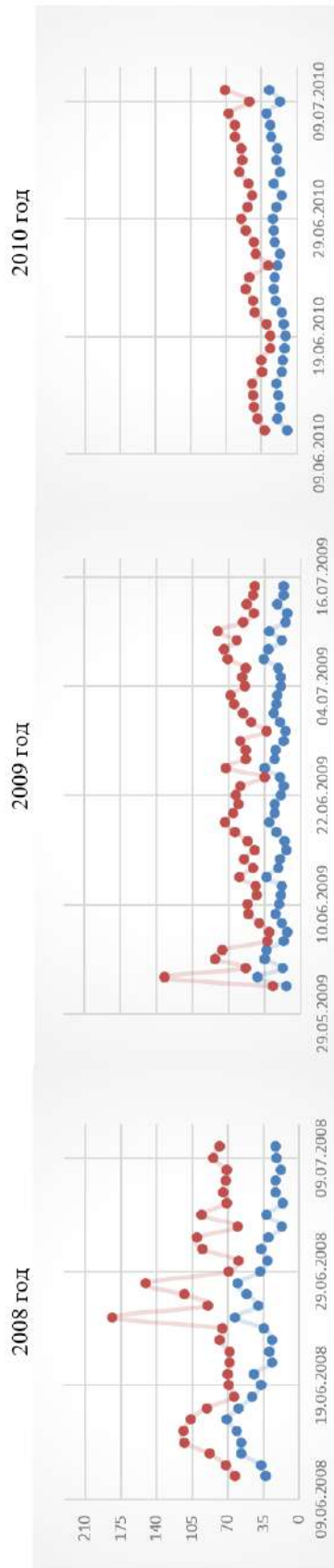


Рис. 3. Суточная концентрация РМ в начале лета, мкг/м³

Fig. 3. Daily concentration of PM in early summer, µg/m³

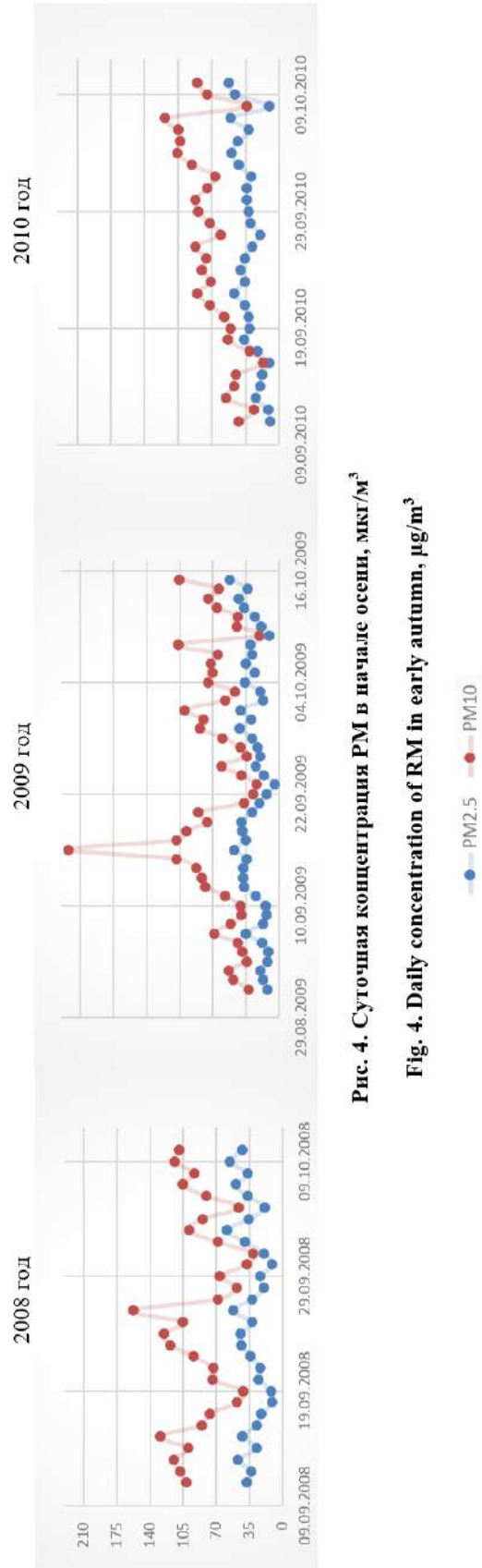


Рис. 4. Суточная концентрация РМ в начале осени, мкг/м³

Fig. 4. Daily concentration of PM in early autumn, µg/m³

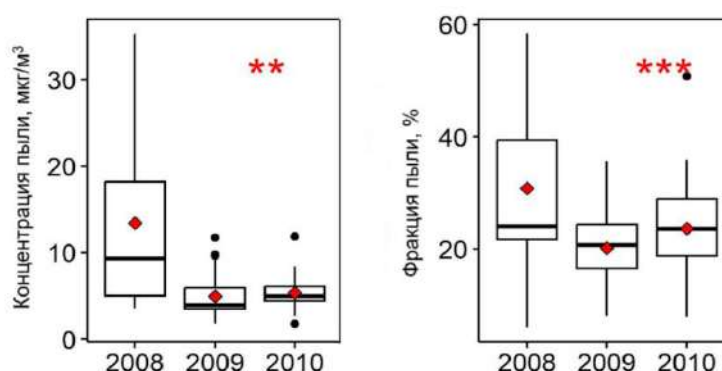


Рис 5. Концентрация и фракция минеральной пыли в составе $PM_{2.5}$

Fig. 5. Mineral dust concentration and fraction in $PM_{2.5}$

Средняя концентрация минеральной пыли в составе $PM_{2.5}$ была равна в 2009 году $4,9 \text{ мкг/м}^3$, в 2010 году $5,3 \text{ мкг/м}^3$ и самое большое значение было в 2008 году – $13,0 \text{ мкг/м}^3$. Как известно, можно контролировать многие источники возникновения РМ, но пыль, особенно пустынная, относится одному из трудно контролируемых источников.

Во время проведения экспериментальных исследований наблюдались несколько дней с пыльными бурями и был более подробно изучен день с пыльной бурей – 28 июня 2008 года. В этот день концентрация $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе г. Ташкент достигло $60,49 \text{ мкг/м}^3$ и $150,77 \text{ мкг/м}^3$ соответственно, а фракция минеральной пыли в составе $PM_{2.5}$ достигло 58%.

Обратные траектории воздушных масс и спутниковые снимки указывают на то, что событие 28 июня 2008 года берет начало с пустыни Аралкумы (рис. 6). На спутниковом снимке, сделанном за день до события, виден столб беловатой солевой пыли, выброшенный из Аралкумов и перенесенный на юго-восток. Обратные траектории для разных высот прибытия схожи и пересекаются с двумя пылевыми облаками.

Результаты кластерного анализа обратных траекторий за весь 2008 год показали (рис. 7), что 25% воздушных масс приходят с северо-запада, проходя над Аралкумами и Кызылкумами, и 13,5% приходят с юго-запада, проходя над Каракумами, что указывает на высокую частоту поступления воздушных масс в Ташкент (~39%) из основных пустынных районов.

Как было указано выше, также проведены качественные исследования с целью определения предполагаемых источников загрязнения воздуха, используя данные элементного состава с фильтров $PM_{2.5}$ 2010 года.

Здесь нужно указать достаточно высокую корреляцию ($> 0,75$) между следующими элементами: Cu и Zn, Cr и Se, As и Pb, Mn и Cr, Al/Si и Ca/Cr/Fe, K и Pb. В таблице 2 представлены результаты анализа главных компонент (PCA) с четырьмя главными компонентами. Эти 4 группы элементов совокупно составляют 81% дисперсии. В ГК1, составляющий 34% дисперсии, преобладают элементы земной коры, представляющие собой выбросы минеральной пыли. В дополнение к природной пыли, антропогенные источники, такие как строительная пыль, также вносят значительный вклад в образование элементов земной коры в атмосферном воздухе Ташкента.

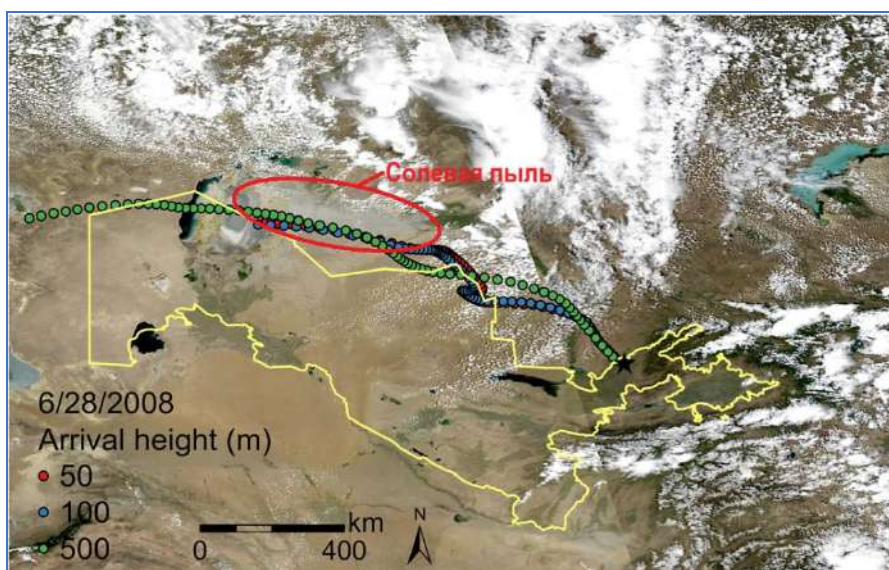


Рис. 6. Обратные траектории воздушных масс по модели HYSPLIT с высотами прибытия 50, 100 и 500 м для пылевого явления, наблюдавшихся в Ташкенте 28 июня 2008 года. Фоновыми изображениями являются снимки MODIS/Aqua, сделанные 27 июня 2008 года (источник: NASA Worldview)

Fig. 6. The HYSPLIT backward trajectories with arrival heights of 50, 100, and 500 m for the dust events observed in Tashkent on June 28, 2008. The background images are MODIS/Aqua images from June 27, 2008 (source: NASA Worldview).

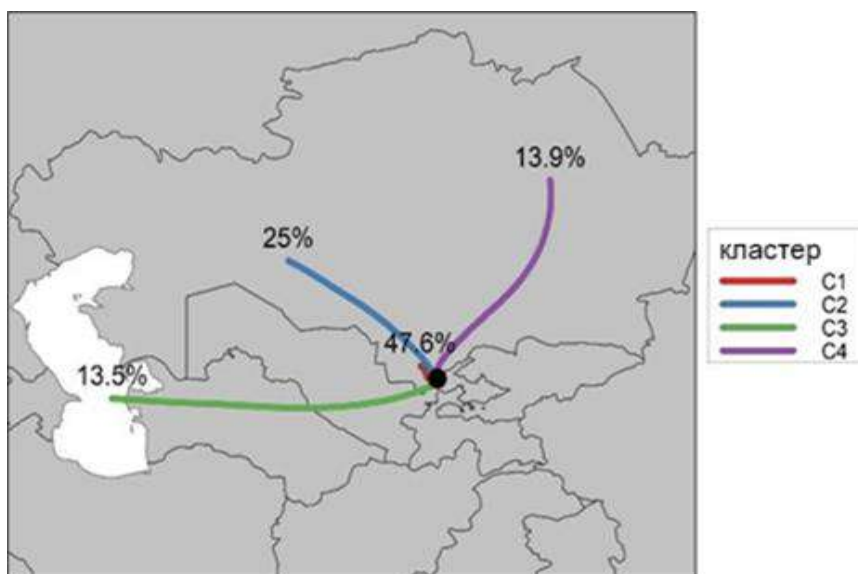


Рис. 7. Средняя траектория кластеров, рассчитанные на основе обратных траекторий HYSPLIT с высотой прибытия 100 м в Ташкенте в 2008 году

Fig. 7. The mean trajectory of each cluster based on HYSPLIT backward trajectories with an arrival height of 100 m to Tashkent in 2008

ГК2, составляющий 24% дисперсии, в значительной степени связан с As, Pb, Zn и Cu, что указывает на возможные источники сжигания угля и на потенциальные выбросы в атмосферу от транспортных средств [Adamiec et al., 2016]. ГК3 включает такие элементы, как Ce, Cr и Mn и доля этого компонента равна 17%. Производство керамических изделий, или же каталитические нейтрализаторы автомобильных двигателей могут быть источниками Ce [Moreno et al., 2013]. С другой стороны, все три элемента являются своеобразными маркерами промышленных предприятий по производству или обработке металлов. В ГК4 источниками элементов Ti и K можно назвать дорожную пыль и сжигание биомассы [Rajput, Trivedi, 2024].

Таблица 2

**Матрица компонентов полученных после анализа главных компонентов
мелкодисперсных частиц PM_{2.5} 2010 года**

Table 2

Component matrix of the PCA analysis for PM_{2.5} samples of 2010

Элементы	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	Общность
Pb	0,06	0,85	-0,23	0,00	0,78
Ce	-0,17	-0,24	0,91	-0,07	0,93
As	-0,09	0,90	0,20	-0,19	0,89
Zn	0,22	0,83	0,00	0,17	0,77
Cu	-0,08	0,75	-0,17	0,22	0,65
Fe	0,32	0,43	-0,22	-0,36	0,46
Mn	0,35	0,16	0,80	0,10	0,80
Cr	-0,05	-0,12	0,89	-0,06	0,82
Ti	0,48	0,02	0,04	0,79	0,86
Ca	0,93	-0,01	0,14	0,15	0,91
K	0,50	0,24	-0,19	0,71	0,84
Si	0,94	-0,01	0,00	0,19	0,92
Al	0,94	0,11	-0,06	0,22	0,95
Начальное собственное значение	4,4	3,1	2,2	0,9	
% дисперсии	34	24	17	7	
Совокупный %	34	58	75	81	

Дальнейшее изучение потенциальных источников затруднено из-за отсутствия мелкомасштабной инвентаризации выбросов, а также проб, охватывающих все четыре сезона года.

Заключение. Проведенными исследованиями впервые были получены данные, согласно которым концентрация мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе в Ташкенте составляла летом $PM_{2.5}=19,2-38,1$ мкг/м³ и $PM_{10}=45,8-86,8$ мкг/м³ и осенью $PM_{2.5}=27,1-33,1$ мкг/м³ и $PM_{10}=65,8-86,8$ мкг/м³. Соотношение $PM_{2.5}/PM_{10}$ была равно $0,38\div 0,46$. Увеличение суммы осадков в течение года способствует уменьшению концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе и наоборот, в засушливые годы наблюдается повышение концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе.

В Ташкенте минеральная (или почвенная) пыль является одним из основных компонентов мелкодисперсных взвешенных частиц в летнее и раннее осеннее время года. Согласно расчетам, полученным после микроэлементного анализа, средняя концентрация

минеральной пыли составил 31% в 2008 г., 20% в 2009 г. и 24% в 2010 г. от общей массы мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе.

Анализ обратных траекторий воздушных масс по модели HYSPLIT и спутниковые снимки указывают на то, что пылевая буря, имевшее место во время экспериментальных исследований 2008 года берёт начало с пустыни Аралкумы. Элементный анализ фильтра $PM_{2.5}$ в день пылевого события (28 июня 2008 года) показывает низкое содержание Fe и повышенное содержание Ca, чем в обычные дни. Результаты кластерного анализа обратных траекторий за весь 2008 год показали, что 25% воздушных масс приходят с северо-запада, проходя над Аралкумами и Кызылкумами, и 13,5% приходят с юго-запада, проходя над Каракумами, что указывает на высокую частоту поступления воздушных масс в г. Ташкент (~39%) из основных пустынных районов.

Микроэлементный анализ фильтров 2010 года показывает на наличие в составе мелкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха таких элементов, как Al, Si, Ca, Se, As, Cr, Pb, Zn, Mn, Ti, Cu и K. Использование метода анализа главных компонентов (PCA) позволило определить предполагаемые источники загрязнения воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами. Источниками загрязнения атмосферного воздуха этими частицами в летнее и раннее осеннее время года является природная, строительная и дорожная пыль, транспортные средства, сжигание угля и биомассы.

Проведение круглогодичных экспериментальных исследований в будущем будет содействовать всестороннему пониманию источников загрязнения атмосферного воздуха, а также поможет при разработке мер борьбы с загрязнением воздуха в Узбекистане и во всем Центральноазиатском регионе.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках проектов UZB2-2878-TA-07 «Мониторинг PM_{10} , $PM_{2.5}$ и исследование характеристик загрязнения атмосферного воздуха мелкими частицами в городе Ташкенте», финансируемого фондом CRDF и прикладного проекта K7-046 «Разработка методологических основ мониторинга мелкодисперсных взвешенных частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) в атмосферном воздухе в засушливом климате Узбекистана», финансируемого в рамках Государственных научно-технических программ Узбекистана. Авторы статьи выражают благодарность профессору Jay Turner и докторанту Xuan Liu из Вашингтонского университета в Сент-Луисе за оказанную помощь при элементном анализе фильтров 2010 года, а также профессору Candis Claiborn из Университета штата Вашингтон за общее руководство проектом CRDF и содействие при подготовке публикации.

Вклад авторов. **М.О. Амонов:** обоснование актуальности исследований, постановка задачи, методология, экспериментальные исследования, обработка и анализ данных, написание текста. **Б.Э. Нишонов:** общее руководство, систематизация материала, гравиметрический анализ фильтров, подготовка данных, редактирование текста. **О.М. Очиллов:** участие в экспериментальных исследованиях, сбор данных, обработка данных, подготовка графических материалов. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Амонов М., Клейборн К., Нарбаев Н., Нишонов Б. Тошкент шаҳри атмосфера ҳавосидаги майда заррачалар PM_{10} ва $PM_{2.5}$ микдори, 2008 йилги тадқиқотлар натижалари // Экология хабарномаси. – 2009. – № 9. – С. 36-39.

Нишонов Б.Э., Шардакова Л.Ю., Ахмедова А.Р., Рахматова Н.И. Статистический анализ явления пыльных бурь в городе Ташкент за 1981-2021 годы. // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. – 2024. – №1. – С. 79-87.

Adamiec E., Jarosz-Krzeminska E., Wieszala R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts // Environmental Monitoring and Assessment – 2016. – No. 188. – P.369.

Amonov M., Claiborn C., Narbayev N. Air quality monitoring and PM study results in Tashkent city // Proceedings of the AWMA International Specialty Conference: “Leapfrogging Opportunities for Air Quality Improvement”. – 2010. – PP. 181–186.

Carslaw D., Ropkins K. Openair - An R package for air quality data analysis // Environmental Modelling and Software. – 2012. - 27–28. - PP. 52–61.

Liu X., Turner J.R., Hand J.L., Schichtel B.A., Martin R.V. A Global-Scale Mineral Dust Equation // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2022. - 127. e2022JD036937

Liu X., Amonov M., Turner J. Elemental Composition of Fine Particulate Matter in Central Asia: Dust and Trace Elements in Tashkent, Uzbekistan / American Geophysical Union (AGU) conference. San Fransisco, 11-13 December 2023. Paper #1403662.

Moreno T., Karanasiou A., Amato F., Lucarelli F., Nava S., Calzolari G., Chiari M., Coz E., Artiñano B., Lumbreras J., Borge R., Boldo E., Linares C., Alastuey A., Querol X., Gibbons W. Daily and hourly sourcing of metallic and mineral dust in urban air contaminated by traffic and coal-burning emissions // Atmospheric Environment. – 2013. - 68. – PP. 33-44.

Nishonov B.E., Kholmatjanov B.M., Labzovskii L.D., Rakhmatova N., Shardakova L., Abdulakhatov E.I., Yarashev D.U., Toderich K.N., Khujanazarov T., Belikov D.A. Study of the strongest dust storm occurred in Uzbekistan in November 2021 // Sci. Rep. – 2023. – 13. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-42256-1>, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42256-1>.

Rajput J.S., Trivedi M.K. Extraction of tracer elements of particulate matter emission source using association rule mining // Atmospheric Pollution Research. – 2024. - 15.6. – P. 102109.

Rolph G., Stein A., Stunder B. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY // Environmental Modelling and Software. – 2017. - 95. - PP. 210–228.

Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. NOAA’s HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2015. - 96. PP. 2059–2077.

ТОШКЕНТ ШАҲРИ АТМОСФЕРА ҲАВОСИДАГИ МАЙДА ДИСПЕРС ЗАРРАЧАЛАР МИҚДОРИ, МИКРОЭЛЕМЕНТЛАР БЎЙИЧА ТАРКИБИ ВА МАНБАЛАРИ

М.О. АМОНОВ^{1*}, Б.Э. НИШОНОВ², О.М. ОЧИЛОВ³

¹“ТИҚХММИ” Миллий тадқиқот университети, m.amonov@tiiame.uz

² Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bnishonov@mail.ru

³ Инновацияларни жорий қилиш ва технологиялар трансфери миллий офиси

Аннотация. Мақолада Тошкент шаҳридаги Тошкент-Обсерватория метеорология станциясига ўрнатилган атмосфера ҳавосидан намуна олувчи қурилмаларда қўлланилган филтрлар таҳлиллари натижалари келтирилган. Ҳаво намуналари филтрларга чанг бўронлари юз берадиган мавсумда уч йил давомида, ёз ва куз фаслининг бошланишида олинган. Таҳлил натижаларига кўра, майда дисперс заррачаларнинг ёз ойидаги миқдори $PM_{2.5}=19,2-38,1$ $мкг/м^3$ ва $PM_{10}=45,8-86,8$ $мкг/м^3$; куз ойидаги миқдори $PM_{2.5}=27,1-33,1$ $мкг/м^3$ ва $PM_{10}=65,8-86,8$ $мкг/м^3$ га тенг бўлган. Майда дисперс заррачаларнинг энг юқори миқдори 2008 йилда кузатишган, энг паст миқдор ёз ойи учун 2010 йилда ва куз ойи учун 2009 йилда қайд этилган. Тажриба тадқиқотлари давомида $PM_{2.5}/PM_{10}$ нисбат ўртача 0,38-0,46 оралигида бўлган. Мақолада, шунингдек, энергия дисперсив рентген флуоресценция спектрометри ёрдамида $PM_{2.5}$ таркибини микроэлементлар

бўйича таҳлили натижалари ҳам келтирилган. Микроэлементлар таҳлилидан кейинги ҳисоблашлар шуни кўрсатдики, $PM_{2.5}$ таркибидаги минерал чанг заррачаларини ўртача улуши 2008 йилда 31%, 2009 йилда 20% ва 2010 йилда 24% ни ташкил этган. Таҳлил шунингдек, $PM_{2.5}$ таркибида Al, Si, Ca, Ce, As, Cr, Pb, Zn, Mn, Ti, Cu ва K каби микроэлементлар мавжудлигини кўрсатди. Мақолада ушбу таҳлил натижаларидан фойдаланиб, ҳаво ифлосланишининг потенциал манбалари ҳам тадқиқ этилган. Мақолада 2008 йил 28 июнда кузатилган чанг бўрони кунда ҳаво массаларининг траекторияси ҳам ўрганилган. Тадқиқот натижалари Ўзбекистонда атмосфера ҳавосини майда дисперс заррачалар ($PM_{2.5}$) таркибини ўрганиши бўйича республикадаги биринчи маълумотлар ҳисобланади.

Калим сўзлар: атмосфера ҳавоси, ҳавонинг ифлосланиши, чанг бўрони мавсуми, майда дисперс заррачалар $PM_{2.5}$ ва PM_{10} , майда заррачалар ва чанг концентрацияси, микроэлементлар, PM манбалари, траектория орқали таҳлил HYSPLIT, Тошкент.

CONCENTRATION, ELEMENTAL COMPOSITION AND SOURCES OF PARTICULATE MATTERS IN THE ATMOSPHERIC AIR OF TASHKENT CITY

M.O. AMONOV^{1*}, B.E. NISHONOV², O.M. OCHILOV³

¹“ТИАМЕ” National Research University, m.amonov@tiiame.uz

²Hydrometeorological Research Institute, bnishonov@mail.ru

³National office for Innovation Implementation and Technology Transfer

Abstract. The article presents the results of an analysis of filters in atmospheric air samplers installed at the Tashkent Observatory meteorological station in Tashkent city. Air samples were collected during the so-called dust storm season over three years, in early summer and autumn. The analysis shows that the concentration of PM in summer was: for $PM_{2.5}$ = 19.2–38.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and for PM_{10} = 45.8–86.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; and in autumn: for $PM_{2.5}$ = 27.1–33.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and for PM_{10} = 65.8–86.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest concentration of PM was observed in 2008, while the lowest concentration during the summer was recorded in 2010, and during the autumn in 2009. The ratio of $PM_{2.5}/PM_{10}$ during the experimental study varied in range between 0.38 to 0.46. The article also presents the results of the microelement analysis of $PM_{2.5}$ filters by using an energy-dispersive X-ray fluorescence (ED-XRF) instrument. Calculations after microelement analysis shows that the mineral dust concentration accounted for 31% in 2008, 20% in 2009, and 24% in 2010 of the total mass of $PM_{2.5}$. An individual elements analysis show availability in $PM_{2.5}$ elements such as Al, Si, Ca, Ce, As, Cr, Pb, Zn, Mn, Ti, Cu and K. In the paper also discussed the potential sources of air pollution by using principal component analysis. The paper also examines the trajectory of air masses on the day of the dust storm observed on June 28, 2008. The results of the study in the article are the first data in Uzbekistan on the study of the composition of fine particles ($PM_{2.5}$) in the atmospheric air of the republic.

Keywords: atmospheric air, air pollution, dust season, fine and coarse particulate matters $PM_{2.5}$ and PM_{10} , particle and dust concentration, trace elements, PM sources, HYSPLIT trajectory analysis, Tashkent.

REFERENCES

Amonov M., Cleiborn K., Narbaev N., Nishonov B. Tashkent shahri atmosfera havosidagi mayda zarrachalar PM_{10} va $PM_{2.5}$ mikdori, 2008 yilgi tadqiqotlar natijalari [The concentration of fine particles PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the atmospheric air of Tashkent city, the results of research on 2008]. // Ekologiya xabarnomasi. – 2009. – № 9. – PP. 36-39. (in Uzbek)

Nishonov B.E., Shardakova L.Yu., Axmedova A.R., Raxmatova N.I. Statisticheskii analiz yavleniya pilnix bur v gorode Tashkent za 1981-2021 godi [Statistical analysis of dust storm phenomena in Tashkent for 1981-2021]. //Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi. – 2024. – No. 1. – S. 79-87. (in Russian)

ШАРҲЛАР / ОБЗОРЫ / REVIEWS

КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УЗБЕКИСТАНЕ В 2023 ГОДУ**И.А. КАРИМОВ¹, Б.Э. НИШОНОВ², М.А. ПЛОЦЕН¹, Л.Н. ГРАНКИНА¹**¹Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан²Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено качество атмосферного воздуха в регионах Республики Узбекистан в 2023 году по месяцам года. 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 0,75-7,58.

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

Введение. В Узбекистане проводится последовательная работа в области обеспечения охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, улучшения санитарной и экологической обстановки. В целях определения приоритетных направлений государственной политики в области охраны окружающей среды, внедрения эффективных механизмов профилактики, выявления и пресечения нарушений природоохранного законодательства, усиления персональной ответственности руководителей государственных органов и хозяйствующих субъектов, граждан за санитарное и экологическое состояние населенных пунктов республики, а также обеспечения достижения Национальных целей и задач в области устойчивого развития на период до 2030 года, в соответствии с Указом Президента Республики Узбекистан от 30 октября 2019 года № ПФ-5863, утверждена Концепция охраны окружающей среды Республики Узбекистан до 2030 года [<https://lex.uz/ru/docs/4574010>].

Атмосферный воздух - жизненно важный компонент окружающей среды, представляющий собой естественную смесь газов атмосферы. Качество воздуха изменяется динамично во времени и в пространстве. Степень загрязнения примесью (загрязняющим веществом) оценивается при сравнении ее концентрации с соответствующим значением предельно допустимой концентрации (ПДК). Разовые концентрации загрязняющих веществ сравнивают со значением ПДК_{мр} (максимально разовыми ПДК), среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые концентрации сравнивают со соответствующим значением ПДК (средне суточные, среднемесячные, среднегодовые ПДК) [СанПиН, 2023].

Для оценки качества атмосферного воздуха используется показатель ИЗА (индекс загрязнения атмосферы) – комплексный индекс загрязнения атмосферы приоритетными веществами, определяющий состояние загрязнения атмосферы в городе [РД 52.04.186-89].

Получение данных о загрязнении атмосферного воздуха осуществляется в ходе мониторинга загрязнения на базе государственной наблюдательной сети. Мониторинг атмосферного воздуха является одним из основных аспектов, определяющих стабильность окружающей среды. В основу организации и проведения режимных наблюдений в

пунктах государственной наблюдательной сети Узгидромета положены принципы систематичности и комплексности наблюдений и согласованность сроков наблюдений [Закон ..., 2022,].

Сеть мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Республики Узбекистан в 2023 году. Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха на территории Республики Узбекистан в 2023 году проводились в 26 городах на 66 стационарных пунктах наблюдения (ПНЗ) и 8 автоматических станциях мониторинга загрязнения атмосферного воздуха (рис1.). Количество автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, по сравнению с 2022 годом, увеличилась с 2 [Каримов и др., 2023] до 8. Наблюдения на стационарных пунктах проводятся ежедневно (кроме воскресенья и праздничных дней) с периодичностью 3 раза в сутки (7:00; 13:00; 19:00 по местному времени). На автоматических станциях наблюдения осуществляются в онлайн режиме.

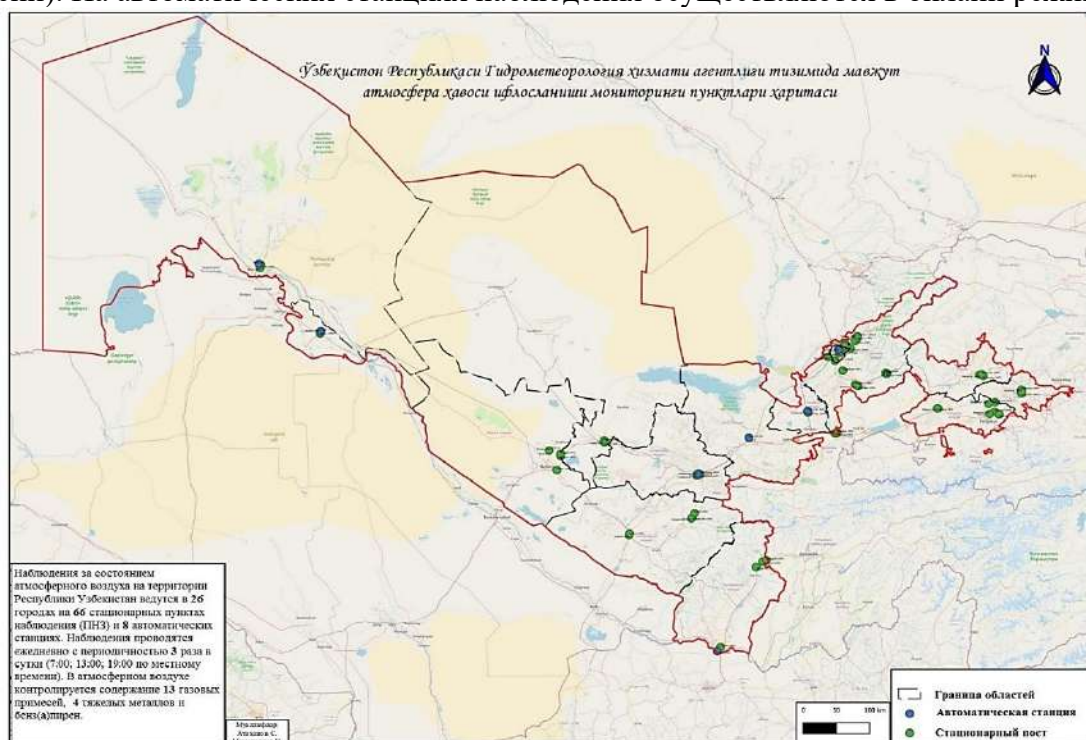


Рис. 1. Карта расположения пунктов и станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Узгидромета в 2023 году (<https://monitoring.meteo.uz>)

Fig. 1. Location map of air pollution monitoring points and stations of Uzhydromet in 2023

Качество атмосферного воздуха в городах Республики Узбекистан в 2023 г.

В настоящей статье анализируется качество атмосферного воздуха в регионах республики по основным загрязняющим веществам (взвешенные частицы (пыль), диоксид серы, оксиды азота, углерод монооксид).

Андижанская, Наманганская и Ферганская области.

В 2023 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.

По результатам наблюдений 2023 года уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Андижан, Наманган, Фергана и Маргилан относится к категории «низкий». Концентрация *взвешенных частиц* находилась в пределах 0,07-0,38 мг/м³ (0,4-1,9 ПДК). Наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Андижан в феврале 0,38 мг/м³ (1,9 ПДК). Концентрация *оксида углерода* находилась в пределах

0,2-4,0 мг/м³ (0,1-1,1 ПДК). Наиболее высокая среднемесячная концентрация (4,0 мг/м³, 1,1 ПДК) зафиксирована в городе Наманган в период с июля по октябрь (рис. 2).

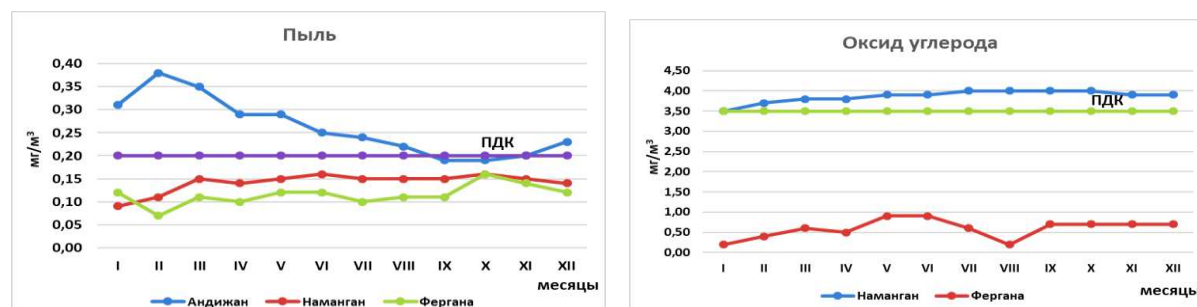


Рис. 2. Концентрация взвешенных частиц и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Андижан, Наманган, Фергана в 2023 году

Fig. 2. Concentration of suspended particles and carbon monoxide in atmospheric air in Andijan, Namangan, Fergana in 2023

В этих городах концентрация диоксида серы находилась в пределах 0,008-0,027 мг/м³ (0,1-0,3 ПДК), а диоксида азота – 0,02-0,06 мг/м³ (0,4-1,2 ПДК). В городе Наманган концентрация диоксида азота находилась в пределах 0,04-0,05 мг/м³ (0,8-1,0 ПДК). Наиболее высокая среднемесячная концентрация диоксида азота (0,06 мг/м³, 1,2 ПДК) зафиксирована в городе Фергана в период март-май и октябрь-декабрь, в городе Маргилан (0,07 мг/м³, 1,4 ПДК) – апрель-май и июль (рис. 3).

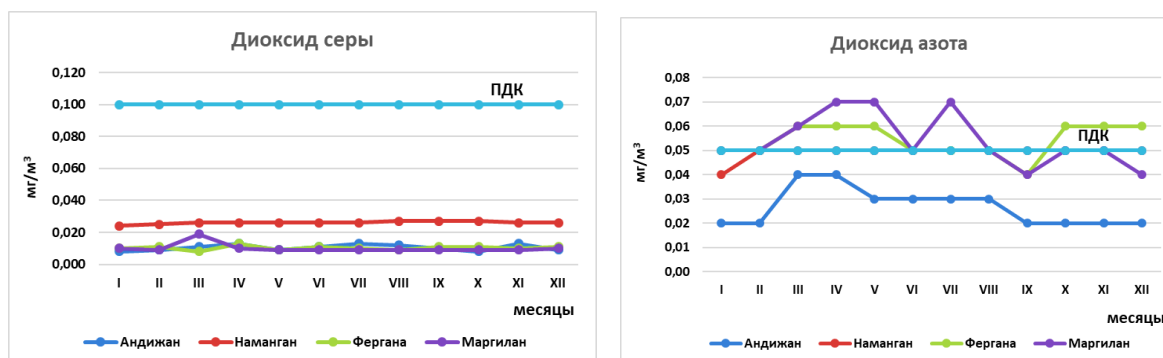


Рис. 3. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Андижан, Наманган, Фергана и Маргилан в 2023 году

Fig. 3. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Andijan, Namangan, Fergana and Margilan in 2023

Сырдарьинская и Самаркандская области.

В 2023 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха осуществлялись в г. Гулистан – в 2 стационарных пунктах и на 1 автоматической станции, в г. Самарканд – в 4 стационарных пунктах и на 1 автоматической станции,

По результатам наблюдений 2023 года уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Гулистан и Самарканд относится к категории «низкий». Концентрация *взвешенных частиц* находилась в пределах 0,04-0,42 мг/м³ (0,2-2,1 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Самарканд в июне 0,42 мг/м³ (2,1 ПДК). Концентрация *оксида углерода* находилась в пределах 1,3-2,1 мг/м³

(0,4-0,6 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Самарканд в ноябре – 2,1 мг/м³ (0,6 ПДК) (рис. 4).

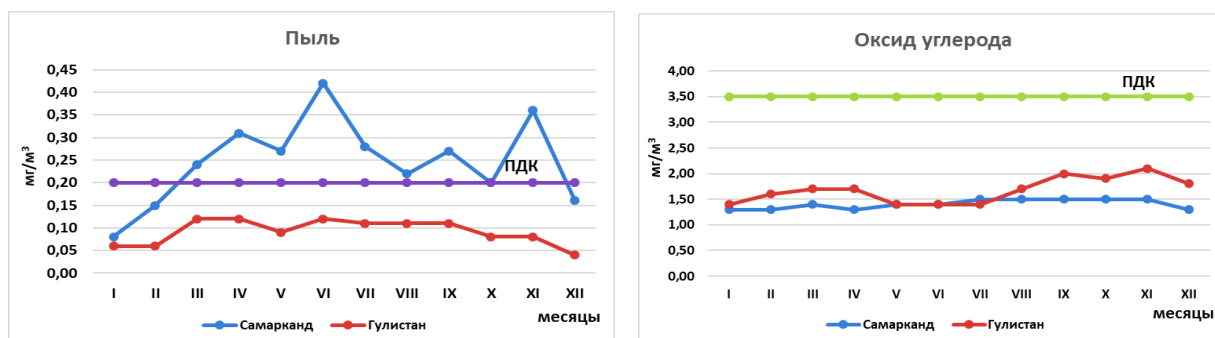


Рис. 4. Концентрация взвешенных частиц и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Гулистан и Самарканд в 2023 году

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

Концентрация *диоксида серы* в атмосферном воздухе в городах Гулистан и Самарканд находилась в пределах 0,004-0,014 мг/м³ (0,04-0,1 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Самарканд в июле – 0,014 мг/м³ (0,1 ПДК). Концентрация *диоксида азота* находилась в пределах 0,01-0,03 мг/м³ (0,2-0,6 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Гулистан в октябре – 0,03 мг/м³ (0,6 ПДК) (рис. 5).

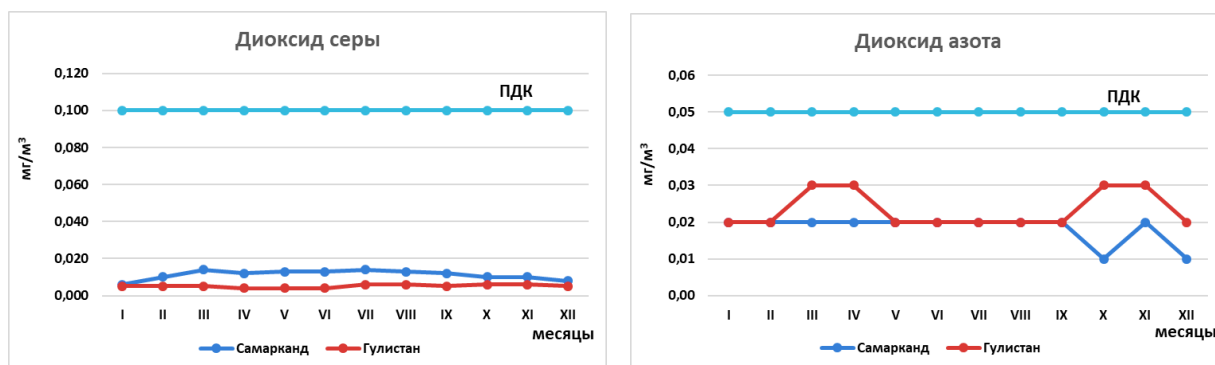


Рис. 5. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Гулистан и Самарканд в 2023 году

Fig. 5. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Gulistan and Samarkand in 2023

Кашкадарьинская и Сурхандарьинская области.

В 2023 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводились в г.Карши – 2 пункта и 1 автоматическая станция, Шахрисабз – 2 пункта, Китаб – 1 пункт, Денау – 1 пункт, Термез – 1 пункт и 1 автоматическая станция, Сариасия – 2 пункта.

По результатам наблюдений 2023 года уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Карши, Денау, Китаб, Шахрисабз, Термез и Сариасия относится к категории «низкий». Концентрация *взвешенных частиц*, в городах, где ведутся наблюдения, находилась в пределах 0,09-0,14 мг/м³ (0,5-0,7 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Сариасия в сентябре – 0,14 мг/м³ (0,7 ПДК).

Концентрация *оксида углерода* находилась в пределах 0,4-1,0 мг/м³ (0,1-0,3 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Денау в июне – 1,0 мг/м³ (0,3 ПДК) (рис.6).

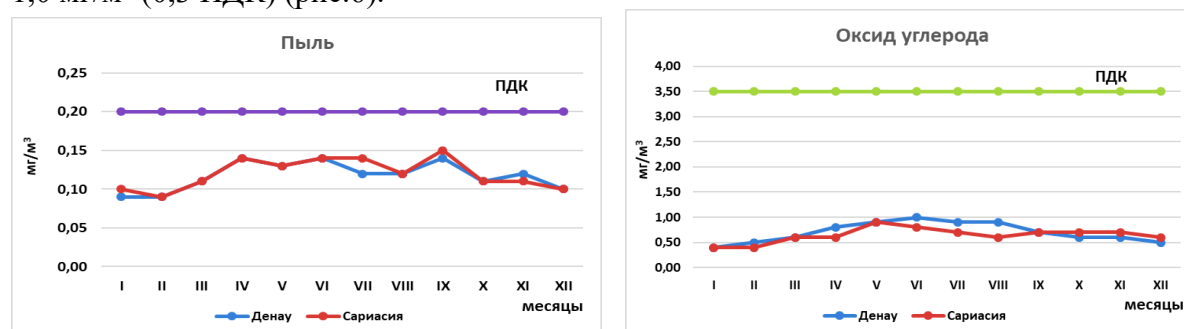


Рис. 6. Концентрация взвешенных частиц и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Денау и Сариясия в 2023 году

Fig. 6. Concentration of suspended particles and carbon monoxide in atmospheric air in Denau and Sariasiya in 2023

Концентрация *диоксида серы* в атмосферном воздухе городов Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей находилась в пределах 0,001-0,034 мг/м³ (0,01-0,3 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Карши в июле – 0,034 мг/м³ (0,3 ПДК). Концентрация *диоксида азота* находилась в пределах 0,01-0,04 мг/м³ (0,2-0,8 ПДК) (рис. 7).

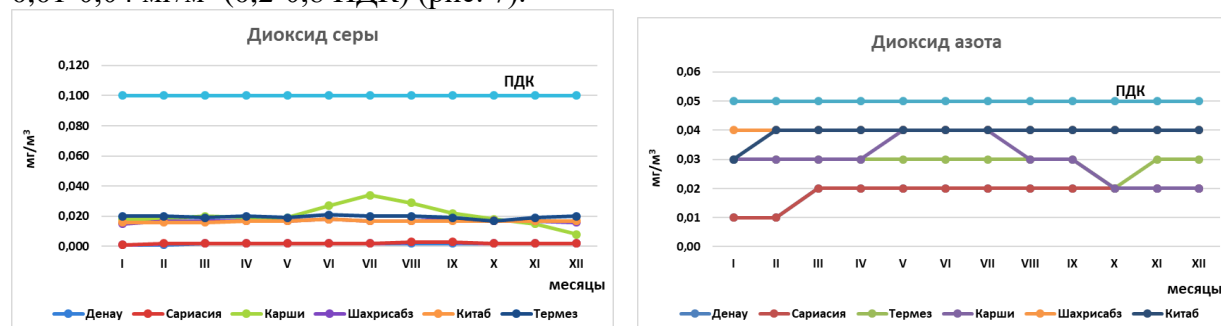


Рис. 7. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Карши, Денау, Китаб, Шахрисабз, Термез и Сариясия в 2023 году

Fig. 7. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Karshi, Denau, Kitab, Shakhrisabz, Termez, and Sariasiya in 2023

Навоийская и Бухарская области.

В 2023 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха в Навоийском и Бухарском областях осуществлялись на 7 стационарных пунктах и 2 автоматических станциях: в г. Навои – 3 пункта и 1 автоматическая станция, г. Бухара – 3 пункта и 1 автоматическая станция, г. Каган – 1 пункт.

По результатам наблюдений 2023 года уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Навои, Бухара и Каган относится к категории «низкий». Концентрация взвешенных *частиц* находилась в пределах 0,04-0,28 мг/м³ (0,2-1,4 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Бухара в апреле – 0,28 мг/м³ (1,4 ПДК). Концентрация *оксида углерода* находилась в пределах 0,7-2,4 мг/м³ (0,2-0,7 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Навои в сентябре – 2,4 мг/м³ (0,7 ПДК) (рис. 8).

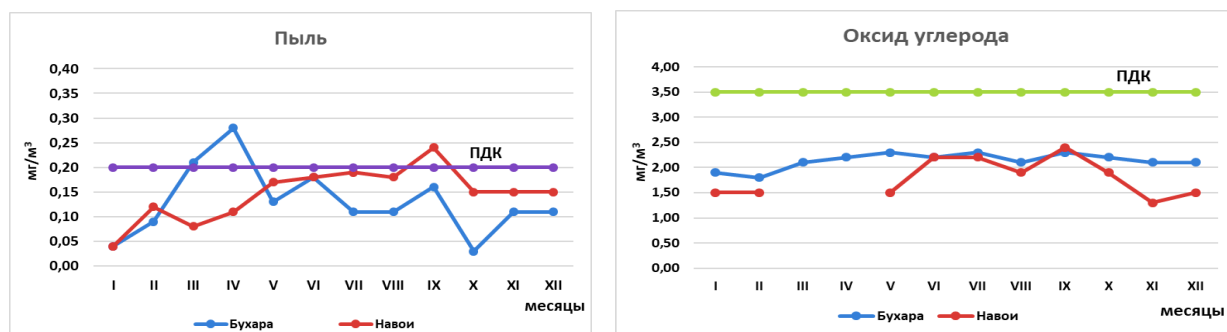


Рис. 8. Концентрация взвешенных частиц и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Навои и Бухара в 2023 году

Fig. 8. Concentration of suspended particles and carbon monoxide in atmospheric air in Navoi and Bukhara in 2023

Концентрация *диоксида серы* в атмосферном воздухе городов Навоийской и Бухарской областей находилась в пределах $0,002-0,008 \text{ мг/м}^3$ (0,02-0,1 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Навои в сентябре – $0,008 \text{ мг/м}^3$ (0,1 ПДК). Концентрация *диоксида азота* находилась в пределах от 0,03 до $0,06 \text{ мг/м}^3$ (0,6-1,2 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Навои в период июнь-июль и в октябре – $0,06 \text{ мг/м}^3$ (1,2 ПДК) (рис. 9).

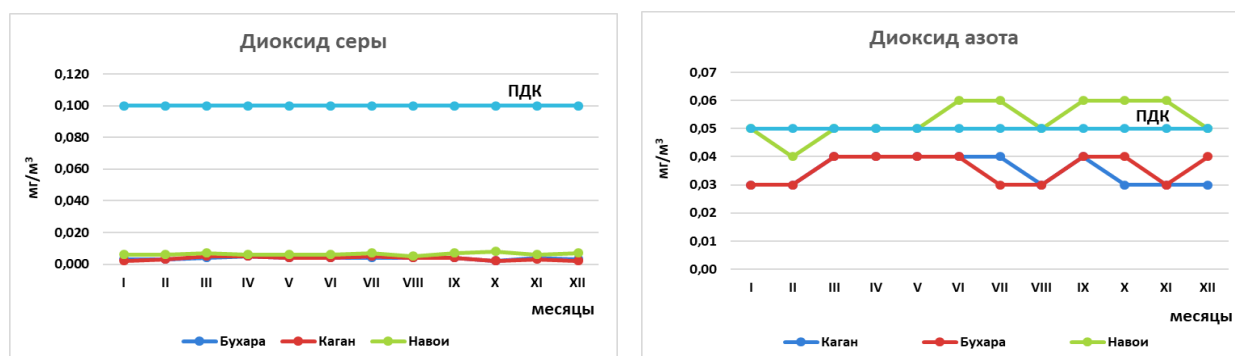


Рис. 9. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Навои, Бухара и Каган в 2023 году

Fig. 9. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Navoi, Bukhara and Kagan in 2023

Хорезмская область и Республика Каракалпакстан.

В 2023 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха в Хорезмской области и в Республике Каракалпакстан осуществлялись в городах Ургенч и Нукус по 2 пункту и по 1 автоматической станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

По результатам наблюдений 2023 года уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Ургенч и Нукус, относится к категории «низкий». Концентрация *взвешенных частиц* находилась в пределах $0,11-0,24 \text{ мг/м}^3$ (0,6-1,2 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Ургенч в апреле – $0,24 \text{ мг/м}^3$ (1,2 ПДК). Концентрация *диоксида серы* находилась в пределах $0,002-0,021 \text{ мг/м}^3$ (0,02-0,2 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Ургенч в марте - $0,021 \text{ мг/м}^3$ (0,2 ПДК). Концентрация *диоксида азота* находилась в

пределах 0,02-0,04 мг/м³ (0,4-0,8 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Ургенч в ноябре и декабре – 0,04 мг/м³ (0,8 ПДК) (рис. 10).

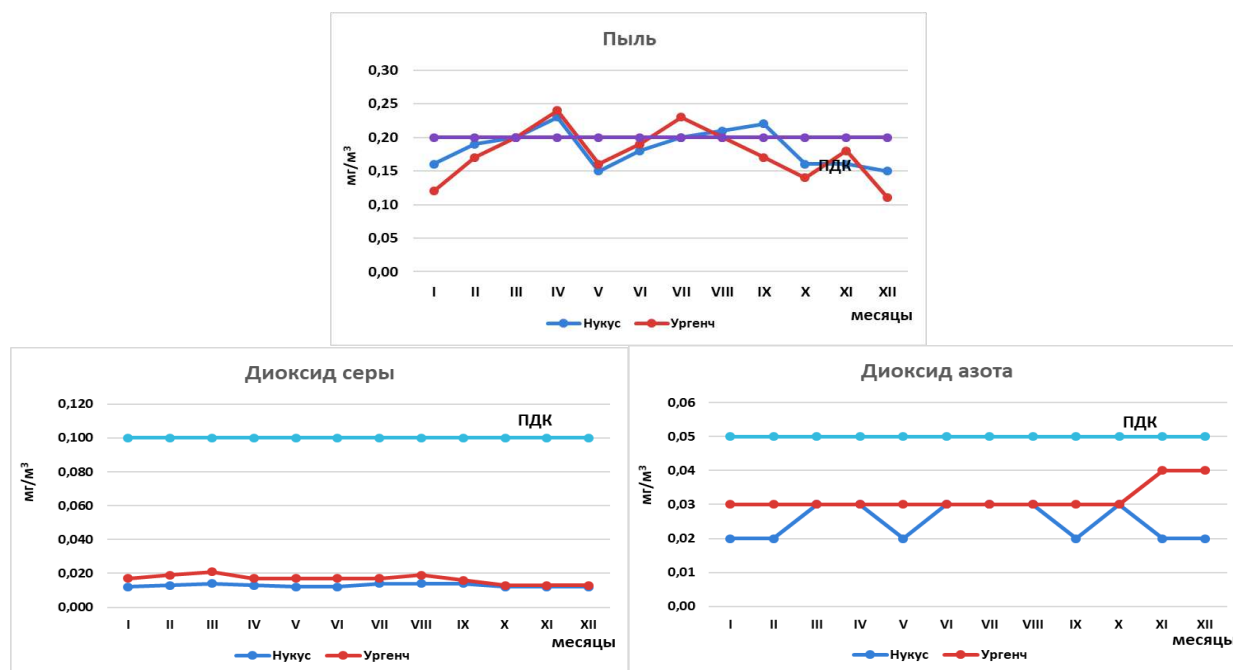


Рис. 10. Концентрация взвешенных частиц, диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Ургенч и Нукус в 2023 году

Fig. 10. Concentration of suspended particles, sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in Urgench and Nukus in 2023

Ташкентская область.

В 2023 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха в городах Ташкентской области осуществлялся на 13 стационарных постах и 1 автоматической станции: г. Ангрэн – 3 поста, г. Алмалык – 3 поста, г. Бекабад – 3 поста, г. Чирчик – 3 поста, г. Нурафшан – 1 пост и 1 автоматическая станция.

В 2023 году городах Ташкентской области уровень загрязнения атмосферного воздуха «повышенный» отмечался в городах Алмалык и Бекабад, а в городах Ангрэн, Чирчик и Нурафшан уровень загрязнения был «низкий».

Концентрация взвешенных частиц в атмосферном воздухе в городах области находилась в пределах 0,05-0,21 мг/м³ (0,3 до 1,1 ПДК). Наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Ангрэн в июне и августе – 0,21 мг/м³ (1,1 ПДК). Концентрация оксида углерода была в пределах от 0,2 до 3,8 мг/м³ (от 0,1 до 1,1 ПДК). Наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Ангрэн в марте – 3,8 мг/м³ (1,1 ПДК) (рис. 11).

Концентрация диоксида серы находилась в пределах 0,002-0,095 мг/м³ (0,02-1,0 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Алмалык в июле 0,095 мг/м³ (1,0 ПДК). Концентрация диоксида азота находилась в пределах 0,02-0,06 мг/м³ (0,4-1,2 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в городе Нурафшан в феврале – 0,06 мг/м³ (1,2 ПДК) (рис. 12).

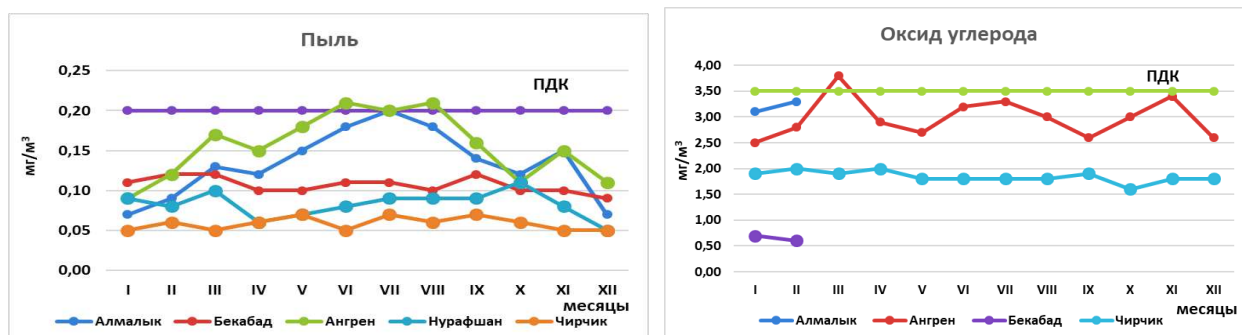


Рис. 11. Концентрация взвешенных частиц и оксида углерода в атмосферном воздухе в городах Ташкентской области в 2023 году

Fig. 11. Concentration of suspended particles and carbon monoxide in atmospheric air in cities of Tashkent region in 2023

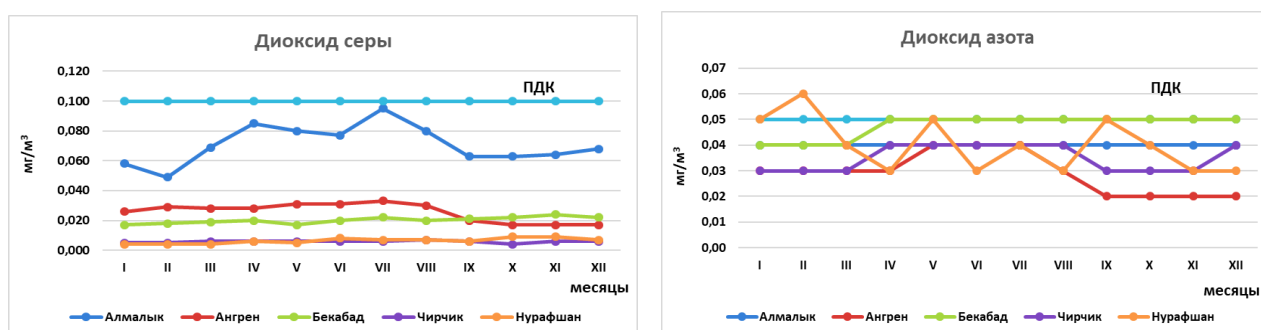


Рис. 12. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городах Ташкентской области в 2023 году

Fig. 12. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air in cities of Tashkent region in 2023

Город Ташкент.

В 2023 году наблюдения за качеством атмосферного воздуха в городе Ташкент осуществлялись на 13 стационарных постах и 2-х автоматических станциях. По результатам наблюдений 2023 года уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Ташкент – «высокий», где наблюдались превышения концентрации диоксида и оксида азота и фтористого водорода.

В 2023 году в атмосферном воздухе г. Ташкент концентрация *взвешенных частиц* находилась в пределах $0,07-0,1$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (0,4-0,5 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в сентябре и октябре – $0,1$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (0,5 ПДК). Концентрация *оксида углерода* находилась в пределах $0,3-1,3$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (0,1-0,4 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в январе – $1,3$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (0,4 ПДК) (рис. 13).

Концентрация *диоксида серы* находилась в пределах $0,002-0,004$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (0,02-0,04 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в марте – $0,004$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (0,04 ПДК). Концентрация *диоксида азота* находилась в пределах $0,05-0,07$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (1,0-1,4 ПДК), наиболее высокая среднемесячная концентрация зафиксирована в октябре – $0,07$ $\text{мг}/\text{м}^3$ (1,4 ПДК) (рис. 14).

В 2023 году по итогам проведенного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в республике уровень загрязнения в городах существенно не претерпел больших изменений. Наиболее загрязненными городами являются г. Алмалык, г. Бекабад и г. Ташкент, что связано выбросами промышленных предприятий, большим количеством

автотранспорта и другими источниками загрязнения, а также с метеорологическими условиями вовремя высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха.

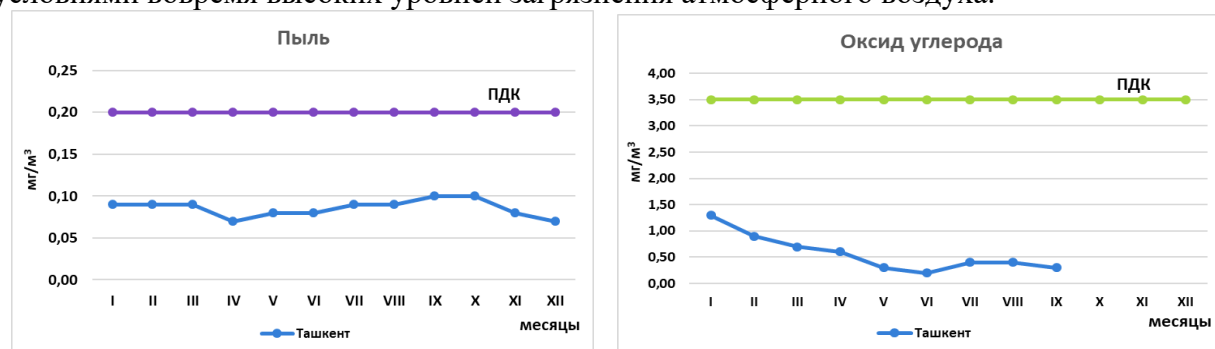


Рис. 13. Концентрация взвешенных частиц и оксида углерода в атмосферном воздухе в городе Ташкент в 2023 году

Fig. 13. Concentration of suspended particles and carbon monoxide in atmospheric air of Tashkent city in 2023

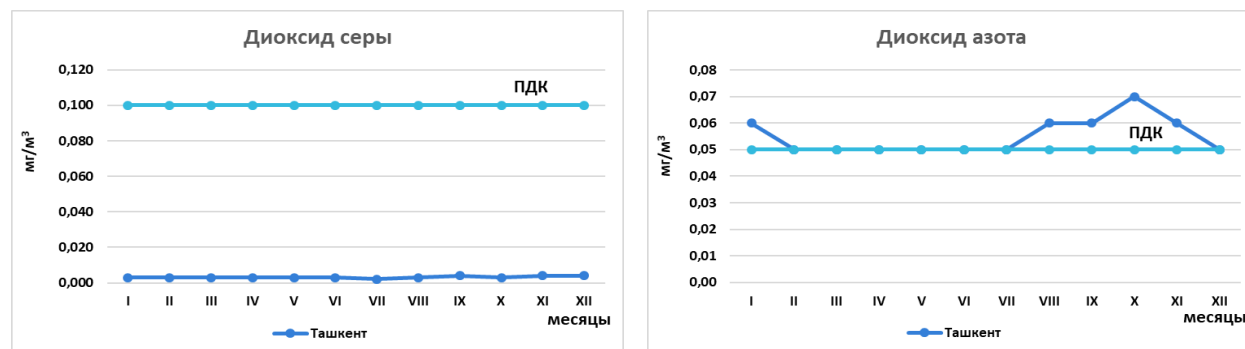


Рис. 14. Концентрация диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе в городе Ташкент в 2023 году

Fig. 14. Concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in atmospheric air of Tashkent city in 2023

В настоящее время в Узбекистане для интегральной оценки качества атмосферного воздуха применяется индекс загрязнения атмосферного воздуха. Индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) – интегральный показатель уровня загрязнения атмосферного воздуха, который 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 [Обзор..., 2023].

По ИЗА, качество атмосферного воздуха во всех городах республики соответствовал низкому уровню загрязнения, за исключением городов Алмалык (6,20) и Бекабад (5,27), где ИЗА соответствовал повышенному уровню и города Ташкент (7,58), где ИЗА соответствовал высокому уровню загрязнения (рис. 15).

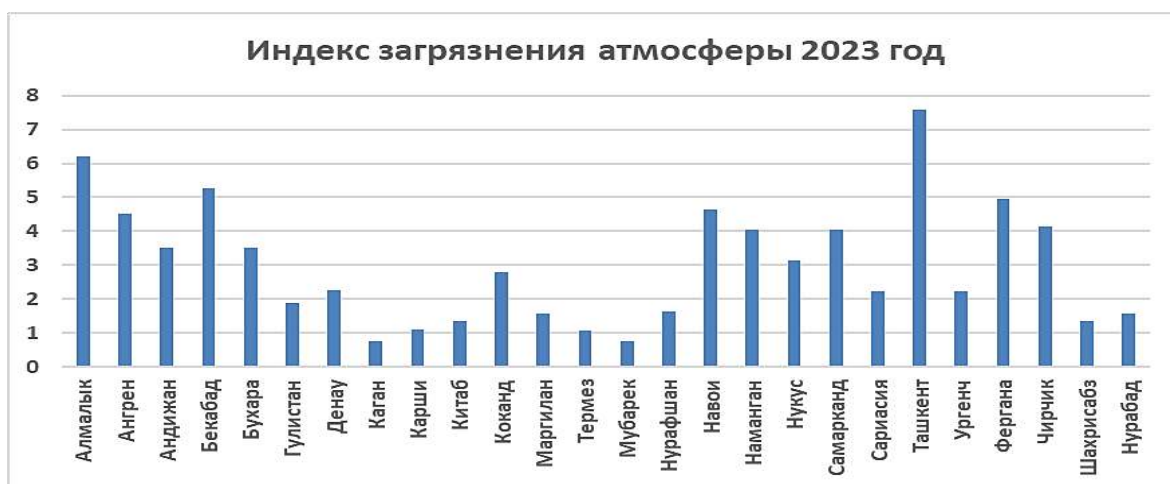


Рис. 15. Значение ИЗА в городах Республики Узбекистан в 2023 году

Fig. 15. The value of API in the cities of the Republic of Uzbekistan in 2023

Выводы. По данным мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Узгидромета в 2023 году на территории Узбекистана сохранялась стабильная ситуация, средние за год концентрации основных загрязняющих веществ в большинстве контролируемых городов Узбекистана были ниже нормативов качества, только по ИЗА в некоторых промышленных городах качество воздуха соответствовало “повышенному” (Алмалык, Бекабад) и “высокому” (Ташкент) уровню загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

Закон Республики Узбекистан № 745 «О гидрометеорологической деятельности». 2022. <https://lex.uz/docs/5819321>

Каримов И.А., Нишоннов Б.Э., Гранкина Л.Н., Плоцен М.А. Загрязнение атмосферного воздуха в Узбекистане в 2022 году // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. – 2023. – №1. – С. 91-97.

Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах Республики Узбекистан на территории деятельности Узгидромета за 2023 г. – Ташкент, 2024. – 155 с.

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

СанҚваН 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.

Электронные ресурсы:

<https://lex.uz/ru/docs/4574010>

<https://monitoring.meteo.uz>

ЎЗБЕКИСТОНДА 2023 ЙИЛДА АТМОСФЕРА ҲАВОСИНИНГ СИФАТИ

И.А. КАРИМОВ¹, Б.Э. НИШОНОВ², М.А. ПЛОЦЕН¹, Л.Н. ГРАНКИНА¹

¹ Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати агентлиги

² Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, bnishonov@mail.ru

Аннотация. Мақолада Ўзбекистон Республикаси шаҳарларида 2023 йилда атмосфера ҳавосини сифати ойлار бўйича кўриб чиқилган. Атмосфера ҳавоси сифати Узгидромет кузатув тармогининг маълумотлари асосида асосий ифлослантурувчи моддалар (муаллақ моддалар

(чанг), азот диоксиди, олтингуғурт диоксиди, углерод оксиди) бўйича таҳлил қилинган. Ўзбекистоннинг кўпгина шаҳарлари атмосфера ҳавосидаги асосий ифлослантувчи 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) 0,75-7,58 оралиғида бўлган.

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

ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN UZBEKISTAN IN 2023

I.A. KARIMOV¹, B.E. NISHONOV², M.A. PLOTSEN¹, L.N. GRANKINA¹

¹ Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan

² Hydrometeorological Research Institute, bnishonov@mail.ru

Abstract. *The article considers the quality of atmospheric air in the regions of the Republic of Uzbekistan in 2023 by month of the year. 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 0.75-7.58.*

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

REFERENCES

Zakon Respubliki Uzbekistan № 745 «O gidrometeorologicheskoy deyatelnosti» [Law of the Republic of Uzbekistan No. 745 "On Hydrometeorological Activities"]. 2022. <https://lex.uz/docs/5819321> (in Russian)

Karimov I.A., Nishonov B.E., Grankina L.N., Plotsen M.A. Zagryaznenie atmosfernogo vozduxa v Uzbekistane v 2022 godu [Atmospheric air pollution in Uzbekistan in 2022] // Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi. – 2023. – №1. – S. 91-97. (in Russian)

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

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

SanQvaN 0053-23-son. Aholi yashash punktlarining atmosfera havosidagi zararli va zaharli moddalar, produsent mikroorganizmlar, bakterial preparatlar va aeroionlarning ruhsat 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)

Electronic resources:

<https://lex.uz/ru/docs/4574010>

<https://monitoring.meteo.uz>