

**МАҶАЛЛАИ ИЛМИИ «ЗАХИРАҶОИ ОБ, ЭНЕРГЕТИКА
ВА ЭКОЛОГИЯ»-И ИНСТИТУТИ МАСЪАЛАҶОИ ОБ,
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯИ АКАДЕМИЯИ
МИЛЛИИ ИЛМҶОИ ТОҶИКИСТОН**

*бахшида ба Конференсияи чоруми байналмилалӣ сатҳи баланд оид
ба Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор,
солҳои 2018-2028» (25-28 майи соли 2026, Душанбе)*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ЭНЕРГЕТИКА И
ЭКОЛОГИЯ» ИНСТИТУТА ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ,
ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА**

*посвящается четвертой Международной конференции высокого уровня по
Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого
развития, 2018-2028 годы» (25-28 мая 2026 г., Душанбе)*

**SCIENTIFIC JOURNAL “WATER RESOURCES, ENERGY
AND ECOLOGY” OF THE INSTITUTE OF WATER PROBLEMS,
HYDROPOWER AND ECOLOGY OF THE NATIONAL
ACADEMY OF SCIENCES OF TAJIKISTAN**

*dedicated to the Fourth High-Level International Conference on the
International Decade for Action «Water for Sustainable Development, 2018-
2028» (25-28 May 2026, Dushanbe)*

2026

ТОМ 6

№ 1

ДУШАНБЕ

Сармухаррир – доктори илмҳои техники
Гулаҳмадзода А.А.

Муовини сармухаррир – номзади илмҳои
техники, дотсент Курбон Н.Б.

Котиби масъул – ходими илми Маҳмудов А.Н.

Мухаррири забони тоҷикӣ: Курбон Н.Б., н.и.т., дотсент;

Мухаррири забони русӣ: Степанова Н.Н., н.и.т.;

Мухаррири забони англисӣ: Фатуллаева З.;

Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ: Раҳимов Ф. ва Исоев Ҷ.

Хайати таҳририя:

Абдуллозода С.Ф. – доктори илмҳои физикаю математика, профессор; Амирзода О.Х. – доктори илмҳои техники, дотсент; Абдушукуров Ҷ.А. – номзади илмҳои физикаю математика; Азизов Р.О. – доктори илмҳои техники, профессор; Баҳриев С.Х. – номзади илмҳои техники, профессор; Давлатшоев С.Қ. – номзади илмҳои техники, дотсент; Қодиров А.С. – доктори илмҳои техники; Қориева Ф.А. – номзади илмҳои биология; Мирзохонова С.О. – номзади илмҳои техники; Муртазоев У.И. – доктори илмҳои география, профессор; Ниязов Ҷ.Б. – номзади илмҳои таърих; Носиров Н.Қ. – доктори илмҳои техники; Пулатов Я.Э. – доктори илмҳои кишоварзӣ, профессор; Расулов Р.Х. – доктори илмҳои техники, профессор (Узбекистон); Раҳимов И.М. – номзади илмҳои техники; Сафаров М.М. – доктори илмҳои техники, профессор; Степанова Н.Н. – номзади илмҳои техники; Фазылов А.Р. – доктори илмҳои техники, профессор; Ҳақдод М.М. – доктори илмҳои техники, профессор, узви вобастаи АМИТ; Шаймурадов Ф.И. – номзади илмҳои техники; Эмомов К.Ф. – номзади илмҳои техники; Саттаров С.А. – номзади илмҳои физикаю математика, дотсент (Ўзбекистон).

Chief Editor – Doctor of Technical Sciences
Gulahmadzoda A.A.

Deputy Chief Editor – Candidate of Technical Sciences,
Docent Kurbon N.B.

Excutive Secretary – Makhmudov A.N.

Editor of the Tajik text: Kurbon N.B., c.t.s., doc.;

Editor of the Russian text: Stepanova N.N. c.t.s.;

Editor of the English text: Fatullaeva Z.Y.;

Computer design and layout: Rahimov F. and Isaev D.

Editorial Members:

Abdullozoda S.F. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences; Amirzoda O.H. – Doctor of Technical Sciences, Docent; Abdushukurov J.A. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences; Azizov R.O. – Doctor of Technical Sciences, Professor; Bahriev S.H. – Candidate of Technical Sciences, Professor; Davlatshoev S.K. – Candidate of Technical Sciences, Docent; Fazilov A.R. – Doctor of Technical Sciences, Professor; Karieva F.A. – Candidate of Biological Sciences; Khakdod M.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAST; Kodirov A.S. – Doctor of Technical Sciences; Mirzokhonova S.O. – Candidate of Technical Sciences; Murtazaev U.I. – Doctor of Geographical Sciences, Professor; Nasirov N.K. – Doctor of Technical Sciences; Niyazov J.B. – Candidate of Historical Sciences; Pulatov Y.E. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Rasulov R.Kh. – Doctor of Technical Sciences, Professor (Uzbekistan); Rahimov I.M. – Candidate of Technical Sciences; Safarov M.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor; Shaymuradov F.I. – Candidate of Technical Sciences; Stepanova N.N. – Candidate of Technical Sciences; Emomov K.F. – Candidate of Technical Sciences; Sattarov S.A. – Candidate of phys.math. Sciences, docent. (Uzbekistan)

Главный редактор – доктор технических наук
Гулаҳмадзода А.А.

Заместитель главного редактора – кандидат технических наук, доцент Курбон Н.Б.

Ответственный секретарь – Маҳмудов А.Н.

Редактор тадж. текста: Курбон Н.Б., к.т.н., доц.

Редактор русского текста: Степанова Н.Н. к.т.н.

Редактор английского текста: Фатуллаева З.Ю.;

Компьютерный дизайн и верстка: Раҳимов Ф. и Исоев Д.

Редакционная коллегия:

Абдуллозода С.Ф. – доктор физико-математических наук, профессор; Амирзода О.Х. – доктор технических наук, доцент; Абдушукуров Дж.А. – кандидат физико-математических наук; Азизов Р.О. – доктор технических наук, профессор; Баҳриев С.Х. – кандидат технических наук, профессор; Давлатшоев С.К. – кандидат технических наук, доцент; Кариева Ф.А. – кандидат биологических наук; Кодиров А.С. – доктор технических наук; Мирзохонова С.О. – кандидат технических наук; Муртазаев У.И. – доктор географических наук, профессор; Насыров Н.К. – доктор технических наук; Ниязов Дж.Б. – кандидат исторических наук; Пулатов Я.Э. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Расулов Р.Х. – доктор технических наук, профессор (Узбекистан); Раҳимов И.М. – кандидат технических наук; Сафаров М.М. – доктор технических наук, профессор; Степанова Н.Н. – кандидат технических наук; Фазылов А.Р. – доктор технических наук, профессор; Хакдод М.М. – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАНТ; Шаймурадов Ф.И. – кандидат технических наук; Эмомов К.Ф. – кандидат технических наук; Саттаров С.А. – кандидат физико-математических наук, доцент (Узбекистон).

Маҷалла моҳи март соли 2021 таъсис ёфтааст. Маҷалла 28 майи соли 2024 таҳти №346/МҶ-97 дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст.

Журнал основан в марте 2021 года. Журнал зарегистрирован, 28 мая 2024 года под №346/МҶ-97 Министерством культуры Республики Таджикистан

The journal was founded in March 2021. The journal was registered on 28 May 2024, under №346/МҶ-97 by the Ministry of Culture of the Republic of Tajikistan.

Бо қарори Комиссияи олии аттестационии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 5 июли соли 2024, №239/М Маҷаллаи илми «Захираҳои об, энергетика ва экология» ба Феҳристи маҷаллаҳои (нашрияҳои) илми тақризишавандаи Ҷумҳурии Тоҷикистон ворид карда шуд.

По решению Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан от 5 июля 2024 года, №239/М Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» внесен в Список рецензируемых научных журналов (публикации) Республики Таджикистан.

By the decision of the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Tajikistan dated 5 July 2024, No.239/М, the Scientific Journal “Water Resources, Energetics and Ecology” was included in the List of peer-reviewed scientific journals (publications) of the Republic of Tajikistan.

МУНДАРИЧА ЗАХИРАҶОИ ОБ

Ҳақдод М.М., Амирзода О.Х., Курбон Н.Б., Гулаҳмадзода А.А. РАВАНДИ ОБИ ДУШАНБЕ – АРСАИ МУҲИМ ДАР ҲАЛЛИ МУШКИЛОТИ ЧАҶОНИИ ОБ	9
Гулаҳмадов Н.А., Насруллоев Ф., Парвизи Х., Шарипов С.А. ЗАХИРАҶОИ ОБИИ ТОЧИКИСТОН ВА ИДОРАКУНИИ УСТУВОРИ ОНҶО ДАР ШАРОИТИ ТАҒЙИРЁБИИ ГЛОБАЛИИ ИҚЛИМ	18
Холмирзозода М.О., Кодиров А.С., Садриддинов О.М., Азизов З.Б. ШАРОИТҶОИ ИҚЛИМӢ ВА ОРОГРАФИИ ТАШАККУЛЁБИИ ЗАХИРАҶОИ ОБ ДАР ТОЧИКИСТОНИ МАРКАЗӢ	28
Муслимов К., Убайдуллоев У.Р., Кабутов Х.Қ. ТАҲЛИЛИ МОРФОМЕТРИИ САТҶИ ПИРЯХИ БАБРГУЗАР ДАР АСОСИ МАЪЛУМОТИ АКСҶОИ МОҶВОРАИИ САТҶИ БАЛАНД	37
Насруллоев Ф.Х., Гулаҳмадзода А.А., Парвизи Х., Изатуллозода Р.Х., Муродова С.А. АРЗЁБИИ ДИНАМИКАИ АЛБЕДО БА МУҶИТИ КРИОСФЕРА ДАР ШАРОИТИ ТАҒЙИРЁБИИ ИҚЛИМ (ДАР МИСОЛИ ТОЧИКИСТОН)	48
Курбон Н.Б., Сафаров М.Т. ОИД БА ВОБАСТАГИИ КОРРЕЛЯТСИЯИ БАӢНИ ТАҒЙИРЁБИИ ШАРОИТҶОИ МЕТЕОРОЛОГӢ ВА ПАЙДОИШИ ОФАТҶОИ ТАБИӢ	56
Ҷочизода С.Қ., Шербоев М.А. ОИД БА ТАДҚИҚИ ГРАДИЕНТИ ҶАРОРАТИ ҶАВО ДАР ВИЛОЯТИ СУҒД	67
ЭНЕРГЕТИКА	
Раҳмонов Ш.С., Гулаҳмадзода А.А., Давлатшоев С.Қ., Давронов О.Б., Азизов З.Б. МОДЕЛСОЗӢ ВА ТАҲЛИЛИ ДУРНАМОИ РУШДИ ЗАХИРАҶОИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКӢ ДАР ҶАВЗАИ ДАРЁИ ВАХШ	74
Абдусамиев Ф.Т., Баҳриев С.Х., Давлатшоев С.Қ., Раҳмонов Ш.С., Холназаров Н.Д., Ятимов М.Т. ОМӢЗИШИ КОРИ ТАЧҶИЗОТИ БИОГАЗ ДАР ШАРОИТИ ВОКЕӢ ЗИНДАГИИ ДЕҶАИ ЧОРБОҒ (НОҶИЯИ ВАРЗОБ, ТОЧИКИСТОН)	87
Абдуллоев Х.В., Раупов Н.М., Сайвалиев М.М., Амирхонов А.С. ОПТИМИЗАТСИЯИ ҶОЙГИРШАВИИ ЗЕРИСТГОҶҶОИ ТРАНСФОРМАТОРИИ 10/0.4 КВ БАРОИ КАМ КАРДАНИ ТАЛАФОТИ ТЕХНИКӢ ДАР ШАБАКАҶОИ БАРҚИИ ДЕҶОТ	94
ЭКОЛОГИЯ	
Шарипов С.А., Амирзода О.Х. ДНК-И ЭКОЛОГӢ ҶАМЧУН АСОСИ МЕТОДОЛОГӢ БАРОИ АРЗЁБИИ ҶОЛАТ ВА ДИНАМИКАИ ГУНОГУНИИ БИОЛОГӢ ВА ИДОРАКУНИИ УСТУВОРИ ЗАХИРАҶОИ ТАБИИИ ТОЧИКИСТОН	101
Шафиев Г.В., Амиров У.А. ТАЧРИБАИ ПЕШГИРИИ ТАХДИД ВА ҶИМОЯ АЗ ЯРЧ ДАР МИСОЛИ ҶАВЗАИ ДАРЁИ ШОҶДАРА (ПОМИРИ ЧАНУБУ ҒАРБӢ, ТОЧИКИСТОН)	108

Абдуллозода С.Ф., Абдучамилзода М.А., Маслов В.А. ТАЪСИРИ ТУФОНИ ЧАНГУ ҒУБОР БА ПРОФИЛИ ҲАРОРАТИ АМОСФЕРА ДАР ДУШАНБЕ (сентябри 2022)	119
Рахматов Ҷ.Ш., Азизов Р.О., Расулов С. ИСТИФОДА АЗ ЗЕҲНИ СУНЪИ ДАР РУШДИ ХИЗМАТРАСОНИИ ТУРИЗМ: МОДЕЛИ ТАҲЛИЛИ ҒАЙРИСАҲЕҲ ВА ТАҶРИБАҲОИ МУОСИР	127
Ҳикматуллозода Н.Х., Гулаҳмадзода А.А., Иноятова К.Л. Муродова С.А. ДИНАМИКАИ ФАЗОИ-ЗАМОНИИ РАСТАНӢ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ КОҒАРНИҲОН (2000–2024) ДАР АСОСИ НИШОНДИҲАНДАИ МОҲВОРАВИИ EVI	135
Амирзода О.Ҳ., Эмомзода Ф.Д. ҶАНБАҲОИ ЭКОЛОГӢ ВА ФИЗИКИЮ- ХИМИЯВИИ СИНТЕЗИ БИОДИЗЕЛ ДАР АСОСИ ПАРТОВҲОИ САНОАТИ ИСТЕҲСОЛИ РАВҒАНИ ПАХТА	153
Холов Х.И., Замирова Д.И. УСУЛИ ЭКОЛОГИИ ТОЗАКУНИИ ТИЛЛОИ БЕСИАНИД БО РЕА-ГЕНТҲОИ ДОРОИ СУЛФУР (ТИОСУЛФАТ–ТИОМОЧЕВИН–АСТЕТИЛТИОМОЧЕВИН)	160
Аминов Х.Н. АРЗӢБИИ ИҚТИСОДИЮ ГЕОГРАФИИ ХИЗМАТРАСОНИҲОИ ЭКОСИСТЕМАВӢ ДАР ЗАМИНАИ ТАҒЙИРӢБИИ АНТРОПОГЕНИИ ЛАНДШАФТҲОИ ДОМАНАКӢҲӢ	169
Бозоров Ҳ.Т. ИМКОНИЯТҲОИ ТАБИИЮ ТАӒРИХИИ МИНТАҚАИ КӢЛОБ: ДУРНАМОИ ИСТИФОДА ДАР СОҲАИ САЙӢҲӢ-ЭКОЛОГӢ	177

СОДЕРЖАНИЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Хакдод М.М., Амирзода О.Х., Курбон Н.Б., Гулахмадзода А.А. ДУШАНБИНСКИЙ ВОДНЫЙ ПРОЦЕСС – ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ АРЕНА В РЕШЕНИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ	9
Гулахмадов Н.А., Насрулоев Ф., Парвизи Х., Шарипов С.А. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ТАДЖИКИСТАНА И ИХ УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	18
Холмирзозода М.О., Кодиров А.С., Садриддинов О.М., Азизов З.Б. КЛИМАТО-ОРОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА	28
Муслимов К., Убайдуллоев У.Р., Кабутов Х.К. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДНИКА БАБРГУЗАР ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОСЪЁМКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ	37
Насруллоев Ф.Х., Гулахмадзода А.А., Парвизи Х., Изатуллозода Р.Х., Муродова С.А. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ АЛЬБЕДО В КРИОСФЕРНОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ТАДЖИКИСТАНА)	48
Курбон Н.Б., Сафаров М.Т. О ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ВОЗНИКНОВЕНИЕМ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ	56
Ходжизода С.К., Шербоев М.А. ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ	67

ЭНЕРГЕТИКА

Рахмонов Ш.С., Гулахмадзода А.А., Давлатшоев С.К., Давронов О.Б. Азизов З.Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВАХШ	74
Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х., Давлатшоев С.К., Рахмонов Ш.С., Холназаров Н.Д., Ятимов М.Т. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В РЕАЛЬНЫХ БЫТОВЫХ УСЛОВИЯХ КИШЛАКА ЧОРБОГ (ВАРЗОБСКИЙ РАЙОН, ТАДЖИКИСТАН)	87
Абдуллоев Х.В., Раупов Н.М., Сайвалиев М.М., Амирханов А.С. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 КВ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	94

ЭКОЛОГИЯ

Шарипов С.А., Амирзода О.Х. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДНК КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ТАДЖИКИСТАНЕ	101
Шафиев Г.В., Амиров У.А. ОПЫТ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ УГРОЗЫ И ЗАЩИТА ОТ ОПОЛЗНЕЙ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ШОХДАРА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН)	108

Абдуллозода С.Ф., Абдуджамилзода М.А., Маслов В.А. ВЛИЯНИЕ ПЫЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ В ДУШАНБЕ (СЕНТЯБРЬ 2022 Г.)	119
Рахматов Дж.Ш., Азизов Р.О., Расулов С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗВИТИИ СФЕРЫ ТУРИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ: МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ПРАКТИКИ	127
Хикматуллозода Н.Х., Гулахмадзода А.А., Иноятова К.Л., Муродова С.А. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ В БАССЕЙНЕ Р. КОФАРНИХОН (2000–2024 ГГ.) НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОГО ИНДЕКСА EVI	135
Амирзода О.Х., Эмомзода Ф.Д. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИНТЕЗА БИОДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ХЛОПКОВОГО МАСЛА	153
Холов Х.И., Замирова Д.И. ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННОЕ БЕЗЦИАНИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА СЕРОСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТАМИ (ТИОСУЛЬФАТ–ТИОМОЧЕВИНА–АЦЕТИЛТИОМОЧЕВИНА)	160
Аминов Х.Н. ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В КОНТЕКСТЕ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРЕДГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ	169
Бозоров Х.Т. ПРИРОДНЫЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КУЛЯБСКОГО РЕГИОНА: ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭКОТУРИСТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ	177

TABLE OF CONTENTS

WATER RESOURCES

Haqdod M.M., Amirzoda O.H., Kurbon N.B., Gulahmadzoda A.A. DUSHANBE WATER PROCESS IS A SIGNIFICANT ARENA IN SOLVING GLOBAL WATER PROBLEMS	9
Gulahmadov N.A., Nasrulloev F., Parvizi H., Sharipov S.A WATER RESOURCES OF TAJIKISTAN AND THEIR SUSTAINABLE MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE	18
Kholmirezoda M.O., Kodirov A.S., Sadriddinov O.M., Azizov Z.B. CLIMATOLOGICAL AND OROGRAPHIC CONDITIONS OF WATER RESOURCE FORMATION IN CENTRAL TAJIKISTAN	28
Muslimov K., Ubaydullov U.R., Kabutov Kh.Q. MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE BABRGUZAR GLACIER SURFACE USING HIGH-RESOLUTION AERIAL PHOTOGRAPHY DATA	37
Nasrulloev F.Kh., Gulahmadzoda A.A., Parvizi H., Izatullozoda R.Kh., Murodova S.A. ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF ALBEDO IN THE CRYOSPHERE ENVIRONMENT IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE (IN THE EXAMPLE OF TAJIKISTAN)	48
Kurbon N.B., Safarov M.T. ON THE CROSS-CORRELATION BETWEEN CHANGES IN METEOROLOGICAL CONDITIONS AND THE OCCURRENCE OF NATURAL DISASTERS	56
Hojizoda S.Q., Sherboev M.A. ABOUT THE RESEARCH ON THE AIR TEMPERATURE GRADIENT IN THE SUGHD REGION	67

ENERGY

Rahmonov Sh.S., Gulahmadzoda A.A., Davlatshoev S.K., Davronov O.B., Azizov Z.B. MODELING AND ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HYDROPOWER RESOURCES IN THE VAKHSH RIVER BASIN	74
Abdusamiyev F.T., Bakhriev S.Kh., Davlatshoev S.K., Rakhmonov Sh.S., Kholnazarov N.D., Yatimov M.T. A STUDY OF A BIOGAS PLANT UNDER REAL-LIFE CONDITIONS IN THE VILLAGE OF CHORBOG (VARZOB DISTRICT, TAJIKISTAN)	87
Abdullov Kh.V., Raupov N.M., Saivaliev M.M., Amirkhanov A.S. OPTIMIZATION OF LOCATIONS OF 10/0.4 kV TRANSFORMER SUBSTATIONS TO MINIMIZING TECHNICAL LOSSES IN RURAL ELECTRIC NETWORKS	94

ECOLOGY

Sharipov S.A., Amirzoda O.Kh. ECOLOGICAL DNA AS A METHODOLOGICAL BASIS FOR ASSESSING THE STATE AND DYNAMICS OF BIODIVERSITY AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES IN TAJIKISTAN	101
Shafiev G.V., Amirov U.A. EXPERIENCE OF PREVENTING THE THREAT AND PROTECTION FROM LANDSLIDES USING THE EXAMPLE OF THE SHOHDARA RIVER BASIN (SOUTHWESTERN PAMIR, TAJIKISTAN)	108

Abdullozoda S.F., Abdujamilzoda M.A., Maslov V.A. IMPACT OF DUST EVENTS ON THE VERTICAL TEMPERATURE PROFILE OF THE ATMOSPHERE IN DUSHANBE (SEPTEMBER 2022)	119
Rakhmatov J.Sh., Azizov R.O., Rasulov S. USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DEVELOPMENT OF TOURISM SERVICES: FUZZY ANALYSIS MODELS AND CURRENT PRACTICES	127
Hikmatullozoda N.H., Gulahmadzoda A.A., Inoyatova K.L.Murodova S.A. SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION IN THE KOFARNIHON RIVER BASIN (2000-2024) BASED ON THE EVI SATELLITE INDEX	135
Amirzoda O.Kh., Emomzoda F.D. ECOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL ASPECTS OF BIODIESEL SYNTHESIS BASED ON WASTE FROM THE COTTONSEED OIL INDUSTRY	153
Kholov Kh.I., Zamirova D.I. ENVIRONMENTALLY ORIENTED CYANIDE-FREE GOLD LEACHING USING SULFUR-CONTAINING REAGENTS (THIOSULFATE–THIOUREA–ACETYLTHTIOUREA)	160
Aminov Kh.N. ECONOMIC-GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES BASED ON ANTHROPOGENIC LAND- COVER CHANGES IN FOOTHILL LANDSCAPES	169
Bozorov H.T. NATURAL AND HISTORICAL RESOURCES OF THE KULOB REGION: PROSPECTS FOR EXPLOITATION IN THE ECO-TOURISM SPHERE	177

УДК 327:504.4 (575.3)

РАВАНДИ ОБИ ДУШАНБЕ – АРСАИ АМАЛ ДАР ҲАЛЛИ МУШКИЛОТИ ЧАҲОНИИ ОБ

Ҳақлод М.М.¹, Амирзода О.Ҳ.^{1,2},
Қурбон Н.Б.^{1*}, Гулахмадзода А.А.¹

¹Институтуи масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Маҷлиси намояндагони Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: knotvarb.0502@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Раванди оби Душанбе яке аз ташаббусҳои муосири Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон буда барои амали намудани иқдомҳои беназир ва саривақтии Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон, чиҳати фароҳам овардани платформа барои ташиқи муколамаи сиёсӣ, шарикӣ ва амалҳои соҳаи захираҳои об ва рушди устувор маҳсуб меёбад. Дар доираи раванди мазкур Ҳукумати ҷумҳурӣ дар ҳамкорӣ бо Созмони Милали Муттаҳид (СММ) барои татбиқи амалии ҳадафҳои Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» ҳар ду сол дар ҳамкори бо СММ конференсияҳои байналмилалӣ сатҳи баландро баргузор менамояд. Боиси зикр аст, ки то имруз дар доираи татбиқи Раванди оби Душанбе се коференсияи байналмилалӣ сатҳи баланд (2018, 2022, 2024) ва Конференсияи оби СММ соли 2023 баргузор гардида, омодаги барои гузаронидани конференсияи чоруми байналмилалӣ сатҳи баланд дар шаҳри Душанбе, 25-28 майи соли 2026 идома дорад.

Дар мақола маълумоти таҳлилий дар бораи рафти татбиқи ташаббусҳои чаҳонии Тоҷикистон дар соҳаи обу иқлим ва амалҳои барои ноил шудан ба мақсадҳо ва вазифаҳои рушди устувор дар сатҳи байналмилалӣ, минтақавӣ ва милли дар доираи Раванди оби Душанбе оварда шудааст.

Калидвожаҳо: Раванди оби Душанбе, коференсияи байналмилалӣ сатҳи баланд, конвенсияҳои экологӣ, мушкилоти экологӣ, гармишавии иқлим, захираҳои об, норасоии оби нӯшокӣ, коҳишёбии пиряхҳо.

Муқаддима

Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳти сарварӣ ва роҳнамоии бевоситаи Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон, тавбам ба пешбурду татбиқи амалии ҳадафҳои Рӯзномаҳои чаҳонии обу иқлим ва пешниҳоди иқдомҳои глобалии марбут ба захираҳои об, тағйирёбии иқлим, ҳифзи пиряхҳо, дар баргузориҳои ҳамолишу чорабиниҳои сатҳи баланди байналмилалӣ минтақавӣ таҷрибаи бузург дорад.

Зеро захираҳои об яке аз омилҳои калидии рушди устувори иқтисоӣ иқтисодӣ, амнияти озуқаворӣ ва устувориҳои экологӣ маҳсуб ёфта, масъалаҳои норасоии об, таназул ёфтани экосистемаҳои обӣ ва идоракунии онҳо характери глобалӣ пайдо кардааст. Аз ин лиҳоз, ташаббусҳои глобалии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи обу иқлим ва гузаронидани чораби-

ниҳои сатҳи баланд бо ҷонибдорӣ СММ (Ҷадвали 1), заминаи мустаҳкам барои ҳамкорӣ ва муколама чиҳати расидан ба ҳадафҳои рушди устувор фароҳам овард [1-3].

Чи тавре аз ҷадвали 1 баромеояд, чорабиниҳои баргузоргардида ва конференсияҳои байналмилалӣ сатҳи баланд дар ҳамкори бо СММ дар шаҳри Душанбе ва дигар кишварҳо барои таъмини татбиқи мақсадҳои Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» дар доираи Раванди оби Душанбе имконияти саривақтии ва беназир барои ташаккули муҳити мусоид ва платформаи мустаҳкам, рушди шарикӣ, пешбурди муколамаи сиёсӣ, баррасии амалишавии барномаи Даҳсола ва инчунин алоқаманди ба дигар равандҳои мавҷуда дар ҳали мушкилот марбут ба захираҳои об шароити мусоид фароҳам овард [4].

Чадвали 1. Ташаббусҳои ҷаҳонии Тоҷикистон оид ба об ва чорабиниҳои байналмилалӣ сатҳи баланд, ки дар Душанбе баргузор гардидаанд

Номи ташаббус	Чорабиниҳои баргузоргардида
Соли 2003 – Соли байналмилалӣ оби тоза, Қатъномаи СММ А/RES/55/196 аз 20.12.2000	Форуми байналмилалӣ оид ба масъалаҳои оби тоза, 29.08-01.09.2003
	Конференсияи байналмилалӣ оид ба ҳамкориҳои минтақавӣ дар ҳавзаи дарёҳои фаромарзӣ, 30.05-01.06.2005
Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои ҳаёт, солҳои 2005-2015», Қатъномаи СММ А/RES/58/217 аз 23.12.2003	Конференсияи байналмилалӣ оид ба коҳиш додани хавфи офатҳои табиӣ марбут ба об, 27-29.06.2008
	Конференсияи байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба баррасии миёнамуҳлати ҳамаҷонибаи иҷроӣ амалҳо дар доираи Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои ҳаёт, солҳои 2005-2015», 8-10.06.2010
	Конференсияи байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба ҷамъбасти раванди татбиқи амалии Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои ҳаёт, солҳои 2005-2015», 9-11.06.2015
Соли 2013 – Соли байналмилалӣ ҳамкориҳо дар соҳаи об, Қатъномаи СММ А/RES/65/154 аз 20.12.2010	Конференсияи байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба ҳамкорӣ дар соҳаи об, 20-21.08.2013
	Симпозиуми байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба ҳадафи шашуми рушди устувор – «Таъмини дастрасии ҳамагонӣ ба об ва беҳдошт», 9-10.08.2016
Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028», Қатъномаи СММ А/RES/71/222 аз 21.12.2016	Конференсияи якуми байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028», 20-21.06.2018
	Конференсияи дуюми байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» дар мавзӯи «Пешбурди амал ва шарикӣ дар соҳаи захираҳои об дар сатҳҳои маҳаллӣ, миллӣ, минтақавӣ ва ҷаҳонӣ», 6-9.06.2022
	Конференсияи сеюми байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байнал-милалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028», 10-13.06.2024
Соли 2025 – Соли байналмилалӣ ҳифзи пиряхҳо, Қатъномаи СММ А/RES/77/158 аз 14.12.2022	Конференсияи сатҳи баланд оид ба ҳифзи пиряхҳо, 29-31.05.2025

Мушкилоти марбут ба захираҳои об

Бинобар гармшавии глобалӣ иқлим, ифлосшавии ҳавои атмосфера, коҳишёбии захираҳои об, таназзул ёфтани пиряхҳо, биёбоншавӣ, афзоиши аҳоли, талабот ба об, алалхусус оби тозаӣ нӯшокӣ афзуда, боиси зиёдшавии таъсир ба захираҳои об гардидааст. Дар чунин шароит ягона механизме, ки то андозае чунин таъсирасониро коҳиш медиҳад, идоракунии устувору ҳамгироёна ва истифодаи оқилонаи захираҳои об мебошад. Вале, тадбирҳо оид ба беҳтар намудани амалҳо

ва тақвият бахшидани татбиқ аз динамикаи афзоиши мушкилоти экологӣ тадричан оқиб мондаст. Дар баробари ин, тағйирёбии шадиди иқлим ба манбаҳои захираҳои об зерин таъсир қарор дода, ба гирдгашти гидрологӣ вусъат бахшида, равандҳои обу ҳаворо (обҳезӣ, хушксолӣ) афзуда, ба тағйирёбии даврияти мавсими боришот мусоидат кардааст. Ҳамзамон, талаботи афзоянда ба об дар соҳаҳои энергетика, кишоварзӣ, саноат, таъмини аҳоли бо оби нӯшокӣ дар раванди гармшавии иқлим тадричан дарёфти усулҳои

мутобикшавиро ба ин равандҳо ва пайдо кардани имконоти дастрасӣ ба манбаъҳои обро (алалхусус, дар минтақаҳои, ки ба норасоии об дучор шудаанд) боз ҳам мушкил мегардонад. Яке аз таъсири манфии гармшавии иқлим ва оқибатҳои ногувори он муҳочирати аҳолии (экологӣ, иҷборӣ) буда, ба рушди ногаҳонии ҳодисаҳои тағйирёбии обу ҳаво алоқаманд аст ва тибқи ҳисобҳо [5-6], дар соли 2016 беш аз 23 млн нафар аҳолии бар асари офатҳои табиӣ хусусияти иқлимидошта муҳочир шудаанд.

Мувофиқи Гузоришҳои UN-Water оид ба рушди ҷаҳонии захираҳои об [7], ки аз соли 2003 ин ҷониб бо номҳои гуногун интишор меёбанд, айни замон дастрасӣ ба оби тоза дар тамоми ғӯшаю қанори кураи арз ба таври назаррас коҳиш ёфта, ҳоло 2,2 млрд нафар бидуни дастрасӣ ба оби тозаии нӯшокӣ умр ба сар мебаранд ва 3,5 млрд нафар аз беҳдошти бехатарии об маҳруманд. Мувофиқи анғораҳои ба ҳам алоқаманди рушди демографӣ, гармшавии иқлим ва норасоии оби нӯшокӣ, шумораи аҳолии дар давоми сол тӯли як моҳ пурра бо мушкилоти об дучоршаванда, аз 3,6 млрд нафари имрӯза ба 4,8-5,7 млрд нафар дар соли 2050 афзуда, миқдори аҳолии дар минтақаҳои хатарии сел зиндагикунанда аз 1,2 млрд нафари имрӯза то ба 1,6 млрд нафар мерасад. Дар баробари ин, аз соли 2002 то 2021 беш аз 1,4 млрд нафар аҳолии Замин аз хушксолӣ осеб дида, то соли 2022, тақрибан нисфи сокинони кураи Замин сола ҳадди аққал як маротиба бо мушкилоти об рӯ ба рӯ мешаванд, ки қорҷақ ҳиссаи онҳоро дараҷаи ниҳоят баланди камбуди об ташкил медиҳад.

Маврид ба зикр аст, ки истеъмоли об аз ибтидои солҳои 80-уми асри XX инҷониб сола то 1% афзуда, ки ин раванд бо афзоиши аҳолии, рушди иҷтимоӣ иқтисодӣ ва гармшавии глобалии иқлим вусъат меёбад [7]. Тибқи арзёбиҳо, то соли 2050 талабот ба об, бинобар афзоиши талаботи истифодаи об дар соҳаҳои санатаи

маишӣ, бо ҷунин тамоюл афзуда, ин афзоиш нисбат ба сатҳи имрӯзаи истеъмоли об 20-30%-ро ташкил медиҳад. Бо вучуди ин, гармшавии глобалии иқлим ва тағйирёбии даврияти боришот ба коҳиш ёбии захираҳои об мусоидат намуда, басомад ва шиддати ҳодисаҳои фавқулоддари афзоиш медиҳад ва ба рушди иқтисодӣ иҷтимоӣ таъсири манфӣ мерасонад. Аз ин рӯ, Гузориши UN-Water оид ба рушди ҷаҳонии захираҳои об [7], беҳтар намудани идоракунии захираҳои об, дастрасӣ ба об ва хидматрасониҳои беҳдоштиро яке аз роҳҳои муассир дар масири рушди иқтисодӣ иҷтимоӣ ҷомеаи ҷаҳонӣ арзёбии намуда, таъмини оби нӯшокии бехатар ва беҳдошти онро аз ҳуқуқҳои асосии инсон эътироф кардааст.

Барои расидан ба ҳадафҳои гузошташуда, дар Гузориши UN-Water таҳти унвони «Сифати об» [8], панҷ равиши ба ҳам алоқаманди (арзёбии манбаъҳои об (1); захираҳои об дар макон ва экосистемаҳо (2); арзёбии инфрасохтори хоҷагии об барои ҳифз, истифода, истифодаи тақрибӣ ё афзоиши таъминоти об (3); арзёбии хидматрасонии хоҷагии об, асосан оби нӯшокӣ, беҳдошт ва омилҳои марбут ба саломатии инсон (4); арзёбии об ҳамчун захира барои фаъолияти истеҳсоли ва иҷтимоӣ иқтисодӣ, ба монанди ҳуруқворӣ, кишоварзӣ, энергетика ва саноат, тичроат ва шуғл (5) ва дигар арзишҳои иҷтимоӣ фарҳангии об, аз ҷумла ҷанбаҳои фароғатӣ, фарҳангӣ ва маънавӣ) захираҳои арзёбии об нишон нишон дода шудааст. Ин усулҳо дар манотиқи муҳталифи кураи Замин дар асоси таҷриба санҷида шуда, имконоти мувофиқ овардани арзишҳои марбут ба захираҳои обро тавассути равишҳои идоракунии ҳамгироёна, маблағгузорӣ ва баланд бардоштани савияти дониши истифодабарандагон тақвият мебахшанд. Бо вучуди ин, ҳадафҳои СММ дар масири таъмини дастрасӣ ба оби нӯшокӣ то соли 2030, аз ҷумла ҳадафи VI-ми рушди устувор (SDG

б) [9], ханӯз ҳам амалӣ нашуда, баръакс дар ин самт нигарониҳо ҷой доранд, ки ба нобаробарии рушди иқтисодию иҷтимоии кишварҳо марбут мебошад.

Раванди оби Душанбе ва нақши он дар ҳалли масъалаҳои марбут ба об

Ба мақсади татбиқи амалӣ ва пайгирии ҳадафҳои масоили болозикр, моҳи декабри соли 2016 Маҷмаи Умумии СММ зимни баргузории Иҷлоси 71-ум ташаббуси навбатии Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмонро таҳти унвони Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» қабул кард [9], ки ҳадафи меҳварии он дастгирии рушди устувор ва идоракунии ҳамгироёнаи захираҳои об, тақвияти ҳамкорию шарикӣ ноилшавии ҳадафу вазифаҳо дар сатҳи байналмилалӣ мувофиқашудаи марбут ба захираҳои об, аз ҷумла Рӯзномаи рушди устувор барои давраи то соли 2030 мебошад.

Дар робита ба Нақшаи амали СММ ва татбиқи ҳадафҳои Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028», Ҳукумати Тоҷикистон, барои тақвияти талошҳои байналмилалӣ Пешвои миллат, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон чихати фароҳам овардани шароит барои муколамаи сиёсӣ, шарикӣ ва амалҳо дар бахши захираҳои об ва рушди устувор, палтформаи комилан наvero таҳти унвони Раванди оби Душанбе рӯйи кор овард, ки дар доираи он ҳар ду сол дар сатҳҳои ҷаҳонӣ, минтақавӣ ва миллӣ конференсияҳои сатҳи баланди марбут ба захираҳои об баргузор карда мешаванд. Бояд зикр намуд, ки дар доираи Раванди оби Душанбе се конференсия байналмилалӣ сатҳи баланди: якум (20-21.07.2018), дуюм (6-9.06.2022) ва сеюм (10-13.06.2024) дар ш. Душанбе ва Конференсияи СММ оид ба захираҳои об (22-24.03.2023) дар дафтари СММ, ш. Нью-Йорк (ИМА) баргузор гардида [10-11], ва Коференсияҳои чоруми байналмилалӣ сатҳи баланд оид

ба об 25-28 майи соли 2026 дар шаҳри Душанбе баргузор мегардад.

Дар доираи Коференсияи якуми байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028», ки оғози татбиқи ҳадафҳои даҳсолаи мазкур аст, шаш чорабинии канорӣ (Пешбурди фановарӣ дар бахшҳои хоҷагии об ва кишоварзӣ баҳри хоҷагиҳои деҳқонии хурд, Ҷаласаи «Лоихаи тадқиқоти донишҷӯён оид ба идоракунии устувори захираҳои табиӣ дар Осиёи Марказӣ ва Афғонистон», Мутахассисони ҷавон дар соҳаи захираҳои об, Муҳоҷират дар асри коҳишҳои захираҳои об, Татбиқи ислоҳоти соҳаи об дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Муколамаи ҷамъиятӣ оид ба ҳадафи VI-ми рушди устувор (SDG 6) дар соли 2018) баргузор гардида, барои муҳокимаи вазеи масоили марбут ба об ва мавзӯҳои афзалиятноки конференсия шароитҳои мусоид фароҳам оварданд [6]. Ҳамчунин, дар фарҷоми конференсия се ҳуҷҷати натиҷавӣ – Хулосаи ҳамраисон (1), Эълومияи ниҳой, ки аз ҷониби намояндагони давлатҳо ва созмонҳо бо иттифоқи оро қабул гардид (2) ва Даъват ба амалҳо ва шарикӣ, ки аз тарафи Котиботи Коференсияи якуми байналмилалӣ сатҳи баланд таҳия шудааст (3), қабул гардид.

Дар Эълумияи ниҳоии коференсияи мазкур хулоса ва тавсияҳои муҳим инъикос ёфта, аз кишварҳои узв ва дигар ҷонибҳои манфиатдор даъват ба амал меорад, ки дар соҳаи об сармоягузори намуда, истифодаи самараноки захираҳои обро тақвият бахшанд, нобаробарии соҳаро бартараф кунанд ва дастрасии ҳамагониро ба оби нӯшокии беҳатар ва беҳдошти онро таъмин намоянд. Ҳамчунин, дар ин ҳуҷҷат ташаббуси навбатии Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон чихати ҳар ду сол баргузор намудани конференсия оид ба татбиқи Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028»

зикр гардида, аз хама кишварҳои узви СММ ва дигар ҷонибҳои манфиатдор даъват менамояд, ки дар Раванди оби Душанбе фаъолона ширкат намоянд.

Конференсияи дуҷуми байналмилалии сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байналмилалии амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» таҳти унвони «Пешбурди амал ва шарикӣ дар соҳаи захираҳои об дар сатҳҳои маҳаллӣ, миллӣ, минтақавӣ ва ҷаҳонӣ» баргузор гардида [1, 2, 8, 9], барои сарчамъ овардани роҳбарони сиёсӣ ва коршиносони соҳавӣ дар самти идоракунии захираҳои об ҷиҳати муҳокимаи мушкилоти мавҷуда ва ҳалли онҳо заминаю имкониятҳои нав фароҳам овард. Ҳадафи меҳварии конференсияи мазкур муайян кардани масоили асосии марбут ба идоракунии захираҳои об, таҳияи стратегияҳо барои беҳтар намудани дастрасӣ ба оби нӯшокӣ ва тақвияти ҳамкорӣ байни ҳукуматҳо, созмонҳо ҷонибҳои манфиатдор ва ҷомеаи шаҳрвандӣ баҳри таъмини рушди устувор буда, дар доираи он роҳҳои ҳавасмандгардонии иштироки ҷомеа дар раванди қабули қарорҳо дар сатҳҳои мухталиф баррасӣ гардид. Дар қори конференсия беш аз 2600 нафар аз 75 кишвар ва 634 созмони миллӣ, минтақавӣ ва байналмилалӣ ва инчунин, зиёда аз 500 нафар ба таври маҷозӣ (on-line) иштирок намуда, андешаҳои хешро доир ба масъалаҳои баррасишаванда, аз ҷумла пешбурди амалҳоро шарикӣ дар соҳаи захираҳои об барои саҳмгузори дар хама сатҳҳо ва равишҳои ноил гардидан ба ҳадафҳои иброн намуданд.

Мувофиқи барномаи Конференсияи дуҷуми байналмилалии сатҳи баланд [3], дар доираи он панҷ форум («Форуми ҳамкории минтақавӣ об дар Осиёи Марказӣ», «Форуми занон ва об: баробарӣ, гуногунӣ ва фарогирӣ – об моро муттаҳид мекунад», «Форуми об ва ҷавонону кӯдакон», «Форуми мардуми таҳҷой ва ҷомоаҳои маҳаллӣ: равишҳои фарогир ба об дар экосистемаҳо, замин, кишоварзӣ ва

рушди дониш» ва «Об ва кӯҳҳо дар масири рушди устувор») баргузор гардида, мавзӯҳои меҳварии онҳоро аҳамияти об барои солимии ҷомеа, нақши об барои ҳаёт ва рушди иқтисоди фарогир, об, муҳити зист ва баланд бардоштани устуворӣ ба тағйирёбии иқлим ва маориф, технология ва тақвият бахшидани огоҳию савияти дониши аҳоли тақсил медиҳанд.

Дар рафти Конференсияи сеҷуми байналмилалии сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байналмилалии амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» [12], 9 форум (Форуми Осиёи Марказӣ оид ба об ва тағйирёбии иқлим, Форуми Африқо оид ба об таҳти унвони «Баррасии пешрафт ва таҳияи консепсияи оби Африқо барои давраи пас аз соли 2025», Форуми 3-юми минтақавӣ созмонҳои ҳавзавӣ, Форуми байналмилалии пирияхҳо, Форуми кӯдакону ҷавонон оид ба об ва иқлим, Форуми бонувон ва об, Форуми илм ва технология, Форуми бахши хусусӣ, Форуми байналмилалии парлумонӣ таҳти унвони «Захираҳои об ва устувории демографӣ ба манфиати ҷавонон»), 5 муколамаи интерактивӣ ва 18 чорабинии иловагӣ дар Китобхонаи миллӣ баргузор гардида, дар онҳо парламентарҳо, бахши хусусӣ, аҳли илм, бонувон, ҷавонон ва дигар гурӯҳҳои асосӣ тибқи ҳадафҳои конференсия ширкат варзиданд.

Ҳадафи форумҳо эҷоди платформаи иловагӣ баҳри муҳокимаи васеътари масъалаҳои марбут ба об дар байни табақаҳои гуногуни ҷонибҳои манфиатдор ё дар манотиқи алоҳида буда, имкон доданд, ки ҷонибҳои манфиатдор, аз ҷумла бонувон, ҷавонон, гурӯҳҳои касбӣ, олимон, бахши хусусӣ ва умуман, тасмимгирандагону истифодабарандагони об дар татбиқи рӯзномаи об бо тавачҷуҳ ба тақвияти фаъолият ва шарикӣ дар соҳаи об, дар сатҳҳои миллӣ, минтақавӣ ва ҷаҳонӣ ҷалб карда шаванд. Муҳокимаҳо, хулосаҳо ва қарорҳои воқеӣ ва мувофиқ ба қори конференсияи мазкур ва баррасии

Рӯзномаи рушди устувор барои давраи то соли 2030, махсусан доираи суръатбахши ҳадафи VI-ми рушди устувор (SDG 6) мусоидат намуданд. Форумҳои Конференсияи сеюми байналмилалӣ сатҳи баланд имкон фароҳам оварданд, то дар онҳо натиҷаҳои Конференсияи СММ оид ба захираҳои об (2023) ва конференсияҳои якуму дуюми оби Душанбе мавриди баррасӣ қарор гиранд.

Дар асоси дастовардҳои конференсияи якум, дуум ва сеюми Раванди оби Душанбе, Конференсияи СММ оид ба захираҳои об (2023) ва ҷиҳати омодагӣ ба Конференсияи СММ оид ба захираҳои об дар соли 2026 ва дар ин замина, бо мақсади суръат бахшидан ба пешрафт дар самти Ҳадафҳои рушди устувор ва дигар ҳадафҳои мувофиқашудаи байналмилалӣ марбут ба об, аз 25 то 28 майи соли 2026 Конференсияи чоруми байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба Даҳсолаи байналмилалӣ амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028» доир мегардад. Дар конференсияи пешбурди уҳдадорӣ, тақвияти ҳамкориҳо, дастгирии Рӯзномаи ҷаҳонӣ об, натиҷаҳои конференсияҳои қаблӣ, ҳадафҳои даҳсолаи болозикр баррасӣ шуда, дар доираи он нишастҳои пленарӣ сатҳи баланд ва нуҳ ҷаласаи таҳассусӣ, ки бо мавзӯҳои муқолаҳои интерактивӣ Конференсияи оби СММ-2026 ҳамроҳ шудаанд, баргузор мегарданд. Яке аз чунин ҷорабинҳои муҳим Форуми минтақавӣ «Илм, мониторинг ва идоракунии хатарҳои иқлимӣ» мебошад, ки ба 115-солагии пайдоиши кӯли Сарез бахшида шуда, чор бахши ба ҳам алоқамандро (115-солагии кӯли Сарез: таърих, тадқиқ ва устувории оянда (1), об, иқлим ва хатарҳои офатҳои табиӣ дар манотиқи кӯҳсор (2), офатҳои табиӣ марбут ба об (3) ва Илм, мониторинг ва идоракунии хатарҳои обу иқлим (4)) дар бар мегирад.

Ҳамзамон барномаи Конференсияи чоруми байналмилалӣ сатҳи баланд ҷорабинӣ минтақавӣ СММ барои омода-

гӣ ба Конференсияи СММ оид ба захираҳои об дар соли 2026, ки аз ҷониби Комиссияи иқтисодӣ иҷтимоӣ барои Осиё ва Уқёнуси Ором ташкил карда мешавад, фаро гирифта, барои ҳамроҳсозии мавқеъҳои минтақавӣ ва таҳкими саҳми дастаҷамъонаи онҳо дар Конференсияи СММ дар соли 2026 ва Конференсияи СММ оид ба захираҳои об, ки соли 2028 дар ш. Душанбе барпо мегардад, имконияти муҳим фароҳам меорад.

Боиси зикр аст, ба рушди минбаъдаи Раванди оби Душанбе аз ҷониби Ассамблеяи Генералии СММ бо ташаббуси Президенти Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон эълон гардидани соли 2025, соли байналмилалӣ ҳифзи пирияхҳо ва баргузори Конференсияи байналмилалӣ сатҳи баланд оид ба ҳифзи пирияхҳо дар шаҳри Душанбе ва қабули Эълонии Душанбе аз натиҷаи он, аз ҷумла дар он эълон гардидани «Даҳсолаи амал барои рушди илмҳои криосфера, солҳои 2025-2034» мусоидат намуд [14-15].

Ҷораҳои амалӣ барои татбиқи қарорҳои Раванди оби Душанбе.

Ба мақсади ҳалли масъалаҳои марбут ба об, ки ба тағйирёбии иқлим алоқаманд мебошад, Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таври фаъол ислохотро барои таҳияи системаи ягонаи ҳамгиришудаи идоракунии захираҳои об ва замин ва инчунин ҷорабинҳои об оид ба мутобиқшавӣ ба иқлим амалӣ менамояд.

Тоҷикистон ҳамчун кишвари ташаббускори ғояҳои ҷаҳонӣ обу иқлим давоми солҳои соҳибистиқлолӣ ба беш аз 10 конвенсияи байналмилалӣ экологӣ ҳамроҳ гардида (Ҷадвали 2), дар заминаи ҳамкориҳои дучониба ва бисёрҷониба барои иҷрои уҳдадорӣ ҳамаҷам кушиш менамояд. Ҳамзамон, Ҷумҳурии Тоҷикистон дар доираи ду ниҳоди бузурги ҷаҳонӣ марбут ба тағйирёбии иқлим ва захираҳои об – Конвенсияи қолабии СММ оид ба тағйирёбии иқлим ва Шумори ҷаҳонӣ об, ки мувофиқан аз соли

1995 ҳар соли конференсияҳои тарафҳои конвенсия ва аз соли 1997 ҳар се сол фо-

румҳои ҷаҳонии обро баргузор менамоянд, фаъолияти назаррас дорад [2, 5, 6, 12-13].

Ҷадвали 2. Конвенсияҳои байналмилалӣ экологӣ, ки Тоҷикистон давоми солҳои соҳибистиклолӣ ҳамроҳ гардидааст

Конвенсия	Соли қабул	Соли эътибор	Ҳамроҳшавии Тоҷикистон
Конвенсияи Вена оид ба ҳифзи қабати озон	1985	1988	1996
Конвенсияи СММ оид ба гуногунии биологӣ	1992	1993	1997
Конвенсияи СММ оид ба мубориза бар зидди биёбоншавӣ	1994	1996	1997
Протоколи Монреал оид ба моддаҳои вайронкунандаи қабати озон	1987	1989	1998
Конвенсияи қолабии СММ оид ба тағйирёбии иқлим	1992	1994	1998
Конвенсияи Ромсар оид ба ботлокзорҳои дорои аҳамияти байналмилалӣ	1971	1975	2000
Конвенсияи Бонн оид ба ҳайвоноти кӯчии ёбӣ	1979	1983	2001
Конвенсияи Орхус оид ба дастрас намудани иттилооти экологӣ, иштироки ҷомеа дар раванди қабули қарорҳо доир ба масъалаҳои ҳифзи муҳити зист	1998	2001	2001
Конвенсияи Стокгоlm оид ба ифлоскунандаҳои устувори органикӣ	2001	2004	2002
Конвенсия оид ба хариду фурӯши байналмилалӣ навъҳои набототи ёбӣ ва ҳайвоноти ваҳшӣ	1973	1975	2016
Конвенсияи Базел оид ба назорати интиқоли байнисарҳадии партовҳои хатарнок ва нобудсозии онҳо	1989	1992	2016

Ҳамзамон, Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷиҳати иҷрои уҳдадорӣҳои худ дар назди Конвенсияи қолабии СММ оид ба тағйирёбии иқлим чор Аҳбори миллий доир ба тағйирёбии иқлим – якум (2002-2003), дуюм (2008), сеюм (2014) ва чорум (2022), Нақшаи миллии амал оид ба коҳиш додани тағйирёбии иқлим (2003), Гузориши якуми дусолаи бақайдгирии газҳои гулхонаӣ (2018) -ро омода намуда, ба котиботи он пешниҳод кардааст. Дар баробари ин, Ҳукумати кишвар чор стратегияи муҳими миллии марбут ба мушкилоти захираҳои об ва тағйирёбии иқлим – Стратегияи миллии об барои давраи то соли 2040, Стратегияи миллии мутобикшавӣ ба тағйирёбии иқлим барои давраи то соли 2030, Стратегияи миллий оид ба коҳиши хатари офатҳои табиӣ барои солҳои 2019-2030» ва Стратегияи рушди иқтисоди «сабз» барои солҳои 2023-2037 [5-6] қабул намуда, баҳри татбиқи амалии онҳо

аз тамоми воситаю имконот самаранок истифода менамояд.

Хулоса

Ҳамин тавр, Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳти сарварӣ ва роҳнамоии Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон мавзӯҳои меҳварии Рӯзномаҳои ҷаҳонии обу иқлимро дар арсаи байналмилалӣ мунтазам ва фаъолона пеш мебарад ва давоми беш аз ду даҳсола аст, ки ташаббусҳои ҷаҳонии кишвари мо дар бахшҳои захираҳои об, тағйирёбии иқлим, ҳифзи пиряхҳо ва дигар масоили экологӣ аз ҷониби Созмони Милали Муттаҳид дастгирӣ меёбанд ва дар пешбурди ин масъалаҳо дар сатҳҳои мухталиф нақши муҳим мебозанд.

То имрӯз бо пешниҳоди Ҷумҳурии Тоҷикистон 15 қатъномаи Маҷмаи Умумии Созмони Милали Муттаҳид оид ба масъалаҳои обу иқлим қабул гардидааст, ки дар татбиқи ҳадафҳои мушаххас, аз

ҷумла «Рӯзномаи рушди устувор барои давраи то соли 2030» асос гузошанд.

Ҳамин тарик, ташаббусҳои ҷаҳонии Ҷумҳурии Тоҷикистон, бахусус дар самти обу иқлим ва ҳифзи пирияхҳо ҷомеаи ҷаҳонӣ, бахусус кишварҳои узви Созмони Милали Муттаҳид ва ниҳодҳои он, соҳторҳои минтақавию байналмилалӣ ва дигар ҷонибҳои манфиатдорро бо мақсади дарёфти роҳҳои ҳалли мушкилоти экологии сайёраи Замин ба ҳам овардаанд.

Адабиёт

1. Мачмуи суҳанрониҳои Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Раиси Ҳизби Халқии Демократии Тоҷикистон Эмомалӣ Раҳмон оид ба Ҳадафҳои Рушди Устувор дар соҳаи об ва иқлим дар даври соҳисбистиклолии Ҷумҳурии Тоҷикистон. – Душанбе, 2023. – 444 с.
2. Хакдод, М.М. Глобальные водные инициативы Таджикистана – платформа для сотрудничества и диалога в достижении устойчивого развития / Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й международной научной конференции, 19-20 мая 2022 г., г. Минск, Республика – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч.1. – С.123-126.
3. Курбон, Н. Ташаббуси Тоҷикистон дар ҳалли мушкилоти глобалии об / Номвар Курбон, Хубон Назирӣ // Маорифи Тоҷикистон, 2024. – №6. – С.21-23.
4. Амирзода, О.Х. Душанбинский водный процесс – важный механизм реализации глобальных водных инициатив Таджикистана / О.Х. Амирзода, М.М. Хакдод // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2024. – Т.4. – №2. – С.6-13.
5. Курбон, Н. Проблемы изменения климата: взгляды на причины, последствия и подходы к

адаптации / Номвар Курбон. – Душанбе: Дониш, 2025. – 260 с. (на тадж. яз.).

6. Курбон, Н. Метеоролого-экологическая оценка глобальных инициатив Лидера нации в области воды и климата / Номвар Курбон. – Душанбе: «Дониш», 2026. – 140 с. (на тадж. яз.).
7. The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind // URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>
8. The United Nations world water development report 2021: valuing water // URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
9. DUSHANBE WATER PROCESS in support of the successful implementation of the International Decade for Action “Water for Sustainable Development, 2018-2028” // URL: <https://dushanbewaterprocess.org/>
10. United Nations. International Decade for Action, “Water for Sustainable Development, 2018-2028” // URL: <https://docs.un.org/en/a/res/71/222>
11. Ҳифзи табиат ҳифзи Ватан аст / Зери назари Шерализода Б.А. - Душанбе: Промэкспо, 2022. - 332 с.
12. Чавҳарӣ, М. Нақши Тоҷикистон дар форумҳои ҷаҳонии об / Муҷиббахон Чавҳарӣ, Номвар Курбон // Маърифати омӯзгор, 2024. – №7. – С.5-9.
13. Курбон, Н. Сарвари давлат ва конфронси иқлими Созмони Милали Муттаҳид / Номвар Курбон // Маърифати омӯзгор, 2024. – №12. – С.1-4.
14. Хакдод, М.М. О роли криосферных наук в изучении и сохранении ледников / М.М. Хакдод, А.А. Гулахмадзода, А.М. Хакдодов // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2025. – Т.5. – №1. – С.9-18.
15. Курбон, Н. Қадами устувор дар мутобиқномаи ноҳияҳои кӯҳсор ба гармшавии иқлим: таърих ва равандҳо / Номвар Курбон, Муҳайё Ҳотамова // Маърифати омӯзгор, 2026. - №1. - С.10-12.

**ДУШАНБИНСКИЙ ВОДНЫЙ ПРОЦЕСС – АРЕНА ДЕЙСТВИЯ
В РЕШЕНИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ**

**Хакдод М.М.¹, Амирзода О.Х.^{1,2}
Курбон Н.Б.^{1*}, Гулахмадзода А.А.¹**

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

²Маджлиси Намояндагон Маджлиси Олии Республики Таджикистан

*Автор корреспондент. E-mail: knomvarb.0502@gmail.com

Аннотация. Душанбинский водный процесс является одним из уникальных и своевременных инициатив Президента Республики Таджикистан, уважаемого Эмомали Рахмона, и рассматривается как логическое продолжение международных усилий Правительства Таджикистана по созданию платформы для политического диалога, партнерства и действий в области водных ресурсов и устойчивого развития. В

рамках данной платформы Правительство республики в сотрудничестве с Организацией Объединенных Наций проведены конференции высокого уровня каждые два года на глобальном, региональном и национальном уровнях для реализации целей Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028». В рамках реализации «Душанбинского водного процесса» состоялись Первая (20-21.07.2018), Вторая (6-9.06.2022) и Третья (10-13.06.2024) Душанбинские международные конференции высокого уровня, а также Конференция ООН по водным ресурсам (22-24.03.2023), и Четвертая Душанбинская международная конференция высокого уровня по водным ресурсам состоится 25-28 мая 2026 года.

В статье приводятся аналитические сведения о ходе реализации глобальных инициатив Таджикистана в области воды и климата, и действий для выполнения целей и задач устойчивого развития в рамках Душанбинского водного процесса на глобальном, региональном и национальном уровнях.

Ключевые слова: Душанбинский водный процесс, международные конференции высокого уровня, экологические конвенции, экологические проблемы, глобальное потепление, водные ресурсы, нехватка питьевой воды, отступление ледников.

THE DUSHANBE WATER PROCESS – AN ARENA OF ACTION IN SOLVING GLOBAL WATER ISSUES

Haqdod M.M.¹, Amirzoda O.H.^{1,2},
Kurbon N.B.^{1,*}, Gulahmadzoda A.A.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan,

²Majlisi Namoyandagoni Majlisi Oliy of the Republic of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: knomvarb.0502@gmail.com

Abstract. The Dushanbe Water Process is one of the unique and timely initiatives of the President of the Republic of Tajikistan, Emomali Rahmon, and is seen as a logical continuation of the Government of Tajikistan's international efforts to create a platform for political dialogue, partnership, and action on water resources and sustainable development. Within the framework of this platform, the Government of the Republic, in cooperation with the United Nations, has held high-level conferences every two years at the global, regional, and national levels to implement the goals of the International Decade for Action "Water for Sustainable Development, 2018-2028". As part of the implementation of the Dushanbe Water Process, the First (20-21.07.2018), Second (6-9.06.2022) and Third (10-13.06.2024) Dushanbe International High-Level Conferences were held, as well as the UN Water Conference (22-24.03.2023), and the Fourth Dushanbe International High-Level Conference on Water Resources will be held on May 25-28, 2026.

The article provides analytical information on the progress of Tajikistan's global initiatives in the field of water and climate, and actions to achieve the goals and objectives of sustainable development within the Dushanbe water process at the global, regional and national.

Keywords: Dushanbe Water Process, high-level international conferences, environmental conventions, environmental issues, global warming, water resources, drinking water shortages, glacier retreat.

Маълумот дар бораи муаллифҳо: Ҳақдод Маҳмадшариф Маҳмуд – доктори илмҳои техникаӣ, профессор, узви вобастаи АМИТ, сарҳодими илмии лабораторияи иншоотҳои гидротехникии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 92-771-75-53; E-mail: mkhakdodov@mail.ru; Амирзода Ориф Ҳамид – доктори илмҳои техникаӣ, дотсент, раиси комиссияи экологии Маҷлиси намояндагони Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон, Тел.: (+992) 93-728-72-72; E-mail: orif2000@mail.ru; Курбон Номвар Бойназар – номзади илмҳои техникаӣ, дотсент, мудири лабораторияи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 93-474-88-66, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор – доктори илмҳои техникаӣ, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 885-47-16-16; E-mail: agulakhmadov@gmail.com.

Сведения об авторах: Хақдод Маҳмадшариф Маҳмуд – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Таджикистана, главный научный сотрудник лаборатории гидротехнических сооружений Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, Тел.: (+992) 92-771-75-53; E-mail: mkhakdodov@mail.ru; Амирзода Ориф Ҳамид – доктор технических наук, доцент, председатель экологической комиссии Маҷлиси намояндагон Маҷлиси Оли Республики Таджикистан, Тел.: (+992) 93-728-72-72; E-mail: orif2000@mail.ru; Курбон Номвар Бойназар – кандидат тех-

нических наук, доцент, заведующий лабораторией моделирования водных ресурсов и климатических процессов Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, Тел.: (+992) 93-474-88-66, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Гулахмадзода Аминджон Абдуджаббор – доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 885-47-16-16; E-mail: agulakhmadov@gmail.com.

Information about the authors: Haqdod Mahmadsarif Mahmud – Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Chief Researcher of the Laboratory of Hydraulic Structures of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992) 920-771-75-53; E-mail: mkhakdodov@mail.ru; Amirzoda Orif Hamid – Doctor of Technical Sciences, Docent, Chairman of the Environmental Commission of the Majlisi Namoyandagon of the Majlisi Oli of the Republic of Tajikistan, Tel.: (+992) 93-728-72-72; E-mail: orif2000@mail.ru; Kurbon Nomvar Boinazar – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Laboratory of Modeling Water Resources and Climate Processes of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992) 93-474-88-66, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Gulahmadzoda Aminjon Abdujabbor – Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 885-47-16-16; E-mail: agulakhmadov@gmail.com.

УДК: 575.3

ЗАХИРАҶОИ ОБИИ ТОЧИКИСТОН ВА ИДОРАКУНИИ УСТУВОРИ ОНҶО ДАР ШАРОИТИ ТАҒЙИРЁБИИ ГЛОБАЛИИ ИҚЛИМ

Гулахмадов Н.А.^{1,2*}, Насруллоев Ф.^{1,2},
Парвизи Х.^{1,2}, Шарипов С.А.²

¹Институтуи экология ва географияи Синҷони Академияи илмҳои Чин

²Институтуи масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: nekruz.abdujabborovich@inbox.ru

Шарҳи мухтасар. Мақола ба таҳлили вазъи ҳозира ва дурнамои захираҳои обии Тоҷикистон дар шароити тағйирёбии глобалии иқлим ва таҳаввулоти геополитикии минтақавӣ бахшида шудааст. Нақши стратегии кишвар ҳамчун «Манораи оби Осиёи Марказӣ», таъсири обшавии пиряхҳо, тағйирёбии боришот ва афзоиши хатарҳои гидрологӣ ба гидроэнергетика ва кишоварзӣ баррасӣ мегардад. Ҳамчунин, мушкилоти идоракунии захираҳои об, фарсудаи инфрасохтор ва масъалаҳои ҳамкориҳои кишварҳои болообу поёноб таҳлил шуда, зарурати таҳияи стратегияҳои истифодаи устувор бо мақсади таъмини амнияти энергетикӣ, озуқаворӣ, экологӣ ва тақвияти ҳамкориҳои минтақавӣ таъкид мегардад.

Калидвожаҳо: захираҳои об, руиди устувор, тағйирёбии иқлим, Тоҷикистон, Осиёи Марказӣ

Муқаддима

Тоҷикистон кишвари куҳсор буда, 93 дарсади онро куҳҳо ташкил медиҳанд ва дар Осиёи Марказӣ ҳамчун макони асосии захираҳои об ба шумор меравад, ки ҳамчун “Манораи обӣ” маъруф аст [1-3]. Тибқи маълумотҳо бештар аз 60 %- и оби Осиёи Марказӣ дар Тоҷикистон ташакул меёбад ва кишварҳои поёноб асосан дар хоҷагии халқ махсусан дар соҳаи кишоварзӣ, ки ба тариқи дарёҳои Аму ва Сир қорӣ мегарданд аз он истифода мебаранд [3,4]. Об ба сифати сарчашмаи асосии ҳаёт дар зиндагии мардум таъсири калон

дорад. Обҳое, ки аз тамоми захираҳои табиӣ дар Тоҷикистон тавлидгардида ба кишварҳои минтақа тариқи бузургтарин дарёҳои минтақавӣ Аму ва Сир ба кишварҳои поёноб қорӣ гардида, аз он беш аз 60 миллион аҳолии минтақа баҳрвар мегарданд[5-7].

Дар робита ба таъсири рузафзуни баландшавии ҳарорати ҳаво ба низоми идоракунии об дар Тоҷикистон шидати таъсири он бештар гардида истодааст. Ҳамзамон бинобар баландшавии ҳарорати ҳаво обшавии пиряхҳо, ки асосан дар худуди Тоҷикистон ва Қирғизистон ма-

кон доранд раванди обшавии босуръатро аз сар гузаронида истодаанд ва ба низоми идоракунии об ва ноустувории гидрологӣ таъсиргуздор аст [8,9]. Тибқи тадқиқотҳои солҳои охир ҳаҷми пирияхҳо дар Осиёи Миёна асосан дар Тоҷикистон босуръат коҳиш ёфта истодааст [8,10,1]. Ҳамаи навъи чолишҳои бавучудодамада Тоҷикистонро дар самти низоми идораи об дар кишвар ба мушкилоти нав зам мегардад, ки ин ба рушди соҳаҳои, ки аз об вобастагӣ доранд бевосита таъсири мустақим мерасонад. Бовучуди он, ки Тоҷикистон дар байни кишварҳои Осиёи Миёна за ҳама захираи бештари об тавлид менамояд, аммо аз ҳама ғисади ками обро истифода ва ихтиёрдорӣ менамояд [6,7]. Ҳамзамон тибқи баъзе тадқиқотҳои солҳои охир идора ва истифодаи захираҳои об маҳсусан дар кишварҳои қуҳӣ мисли Тоҷикистон мушкилтар мегардад [5,9].

Боришоти миёнаи солона дар Ҷумҳурии Тоҷикистон тақрибан ба 760 мм-ро баробар буда, дар баъзе минтақаҳои ҷанубии кишвар ин шумора то 100 мм ва дар ноҳияҳои баландқуҳи Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон то ба 2400 мм тағйирёбанда мебошад [11,12].

Тибқи маълумотҳои таҳлилии мавҷуда зиёда аз 60%-и захираҳои пирияхҳои Осиёи Марказӣ ба Тоҷикистон рост меояд [4,13]. Тоҷикистон худуди 14 000 пириях дорад, ки масоҳати умумии онҳо беш аз 8476 километри мураббаъро ташкил медиҳад. Дар байни онҳо зиёда аз 1000 пириях беш аз 1,5 километр тул дорад. Инчунин 1000 пирияхи дигар бо таъсири тағйирёбии иқлим об шудаанд [13,14]. Захираи обҳои пирияхҳои Тоҷикистон ду дарёи байнидавлтӣ муҳимтарини Осиёи Марказӣ Амударё ва Сирдарёро ба вучуд оварданд. Амударё аз қӯҳҳои Бадахшони Тоҷикистон сарчашма мегирад ва аз худуди Тоҷикистон, Узбекистон ва Туркменистон мегузарад ва ба баҳри Арал ҷорӣ мегардад. Сирдарё аз қӯҳҳои Тиёншони Қирғизистон сарчашма гирифта, тавассути Тоҷикистон, Узбеки-

стон ва Қазоқистон ба баҳри Арал ҷорӣ мегардад [8,13].

Аз нуқтаи назари тақсимои амудӣ, захираҳои оби Тоҷикистон асосан дар қӯҳҳои баланд дар баландии 2000 метр аз сатҳи баҳр ҷойгир шудаанд, дар ҳоле, ки дар водии дарёӣ (500-1500 метр аз сатҳи баҳр), ки дар онҳо ғайриинсон ва маҳсулоти кишоварзӣ мутамарказ шудааст, захираҳои об нисбатан кам мебошад. Ин ҷобачошавии ғайриинсон «об дар баландӣ ва одамон дар пастихо» мушкилоти бузурги муҳандисӣ ва сарбории хароҷотро барои коркард ва истифодаи захираҳои об оварда, инчунин мушкили тақсимои захираҳои обро зиёд кардааст [5,6,12].

Ҷанбаҳои мавсимӣ дар тақсимои захираҳои об низ возеҳ ба назар мерасанд. Обшавии пирияхҳо ба ҷараёни рӯдхонаҳо дар Тоҷикистон тағйироти назарраси мавсимиро нишон медиҳад. Маҷрои аз ҳама бештар дар тобистон (июн-август) буда, зиёда аз 50% маҷрои солоноро ташкил медиҳад. Ҷараёни аз ҳама кам дар фасли зимистон (декабр-феврал) буда, ҳамагӣ 10% -ро ташкил медиҳад. Ин тақсимои нобаробари мавсимӣ идоракунии захираҳои обро талаб мекунад, ки барои танзим ба обанбор зарурият пайдо гардидааст, то талаботро ба таъмини мувозинати об дар давоми сол қонеъ гардонад [3,13,14].

Мақсади таҳқиқот. Таҳлили ҳолат ва дурнамои захираҳои оби Тоҷикистон дар шароити тағйирёбии иқлим ва асоснок намудани роҳҳои идоракунии устувори онҳо.

Вазифаҳои таҳқиқот. Арзёбии вазъи кунунии захираҳои об (пирияхҳо, дарёҳо, қӯҳҳо ва обҳои зеризаминӣ); Омӯзиши таъсири тағйирёбии иқлим ба низоми гидрологӣ; Пешгӯии тамоюлҳои ояндаи захираҳои об; Таҳлили мушкилоти идоракунии захираҳои об; Таҳияи тавсияҳо барои истифода ва идоракунии устувори захираҳои об.

Усулҳои таҳқиқот. Таҳлили адабиёт ва манбаъҳо, таҳлили оморӣ ва муқоисавӣ, истифодаи технологияҳои геоинформатсионӣ (GIS), таҳлили маълумоти фосилавӣ (remote sensing), моделсозӣ ва сенариясозӣ (RCP/SSP) ва усули систе-

мавӣ барои арзёбии ҳамгироёнаи захираҳои об.

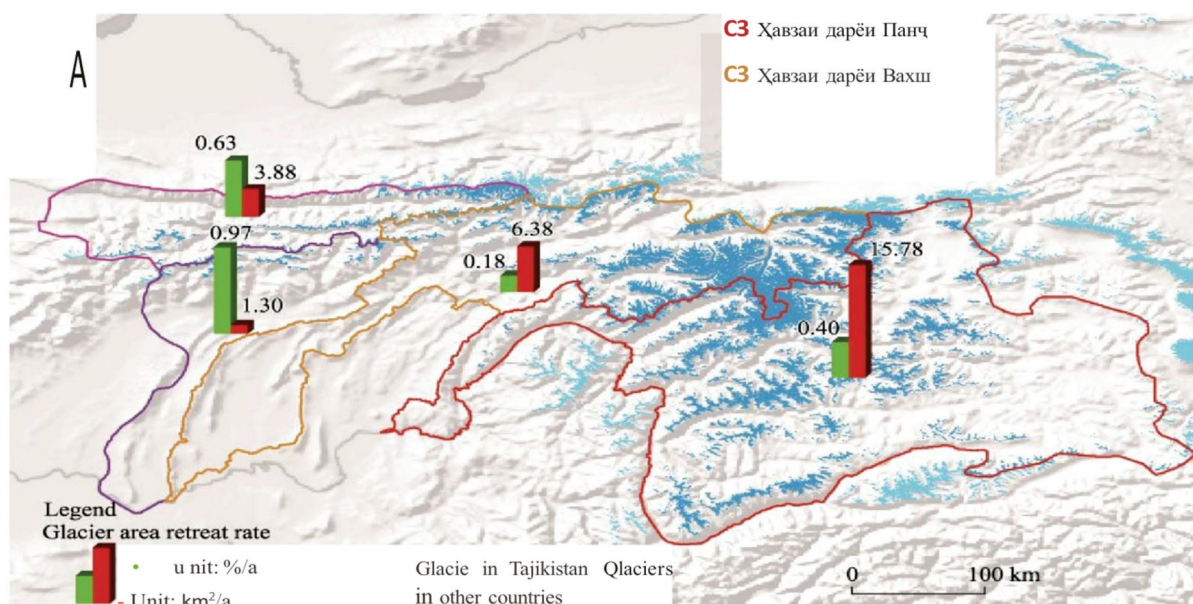
Низоми дарёҳои Тоҷикистонро тақрибан ба панҷ системаи ҳавзаҳои дарёҳои қалон тақсим намудан мумкин аст:

Ҷадвали 1. Низоми дарёҳои Тоҷикистон

Номи дарё	Дарозӣ, (км)	Масоҳати ҳавза (километри мураббаъ)	Сарфи миёнаи солона, (м³/с)	Хусусиятҳои асосӣ	Аз байни кишварҳои меғузарад
Панҷ	921	114,000	1000	Обёрӣ, гидроэнергетика, экология	Тоҷикистон, Афғонистон, Узбекистон, Туркманистон
Вахш	524	39,100	645	Гидроэнергетика, обёрӣ	Тоҷикистон
Кофарниҳон	387	5.62	170	Обёрӣ, гидроэнергетика, экология	Тоҷикистон
Зарафшон	877	12,000	162	Обёрӣ ва обёриҳои хонагӣ	Тоҷикистон, Узбекистон
Сирдарё	110	5000	80	Обёри, энергетика, рекратсия, экология	Тоҷикистон, Узбекистон, Қазоқистон

Аз ин шумора 4 дарёи дарозиашон зиёда аз 500 километр, 15 дарё бо дарозии 100-500 километр ва 947 дарёи дарозиашон зиёда аз 10 километр мебошад. Дарозии умумии онҳо зиёда аз 28,5 ҳазор километрро ташкил дода, системаи зичи

шабакаи дарёро бо маҷрои солонаи 52,2 миллиард м³ ташкил медиҳад, ки манбаи пуарарзиши об барои истеҳсолоти саноатӣ ва кишоварзӣ ва зиндагии сокинон мебошад [6,13,15].



Расми 2. Ҳавзаҳои дарёҳои Тоҷикистон

Тоҷикистон дорои кӯлҳои зиёди кӯҳӣ мебошад. Дар кишвар зиёда аз 1300 кӯл мавҷуд аст, ки асосан дар кӯҳҳои Помир паҳн шудаанд ва якрангии назарраси фазоиро нишон медиҳанд. Маълумоти оморӣ нишон медиҳад, ки масоҳати умумии кӯлҳо дар Тоҷикистон 705 км² буда, асосан дар ҳавзаи дарёи Панҷ ҷойгир шуда, масоҳати кӯлҳо 484,19 км² буда, 94,19% ҳаҷми умумии кӯлҳоро ташкил медиҳад. Масоҳати кӯлҳо дар ҳавзаи дарёи Вахш тақрибан 15,75 км² (3,06%), дар ҷои дуҷум ва дарёи (5,62 км², 1,09%), дарёи Зарафшон (4,27 км², 0,83%) ва Сирдарё (4,21 км², ҳавза 0,12% камтар) мебошанд. Ин шакли тақсимот метавонад бо хусусиятҳои топографии минтақавӣ (ҳавзаи дарёи Панҷ кӯлҳои Помирро фаро мегирад) ва фарқияти обшавии пиряхҳо, ки ба тақсмоти захираҳои оби минтақавӣ

ва функцияҳои хизматрасонии экосистема таъсири муҳим дорад, зич алоқаманд бошад. Калонтарин кӯли сунӣ дар Тоҷикистон обанбори Баҳри тоҷик буда, масоҳаташ тақрибан 520 км² мебошад, ки дар қисми шимолии вилояти Суғд, дар дарёи Сир ҷойгир аст. Кӯли дуввуми калонтарин кӯли Сарез яке аз калонтарин кӯлҳои ярҷӣ дар ҷаҳон буда, масоҳаташ тақрибан 79,7 километри мураббаъро ташкил медиҳад. Кӯли Ховаркӯл, ки дар шимоли Вилояти мухтори куҳистони Бадахшон ҷойгир аст, масоҳати максималии 380 км² ташкил медиҳад. Кӯлро кӯҳҳои пурбарф ихота намуда, манзараҳои зебо дорад, аммо оби кӯл шӯрии зиёд дорад ва барои нӯшидан ва обёрии мустақим мувофиқ нест. Кӯли Искандаркӯл масоҳати тақрибан 3,4 километри мураббаъ дорад [14,12,13].

Ҷадвали 2. Масоҳат ва таносуби кӯлҳо дар ҳар як ҳавзаи дарёҳои Тоҷикистон.

Дарёҳо	Масоҳати кӯл,(км ²)	Таносуби масоҳат, (%)
Ҳавзаи Сирдарё	4,21	0,82
Ҳавзаи дарёи Зарафшон	4,27	0,83
Ҳавзаи дарёи Кофарниҳон	5,62	1,09
Ҳавзаи дарёи Вахш	15,75	3,06
Ҳавзаи дарёи Панҷ	484,19	94,19
Ҷамағӣ	514,04	100

Тоҷикистон инчунин захираҳои нисбатан фаровони обҳои зеризаминӣ дорад, ки асосан дар водиҳои дарёҳо ва ҳамвориҳои доманакӯҳ паҳн шудаанд. Захираи обҳои зеризаминӣ тақрибан 18,7 километри мукаабро ташкил медиҳад, аммо сатҳи ҳозираи коркард ва истифодабарӣ паст буда, ҳамагӣ тақрибан 5 фоизи захираи оби кишварро ташкил медиҳад. Дар манотиқи дурдасти кӯҳистон обҳои зеризаминӣ аксар вақт манбаи муҳими оби ошомиданӣ барои сокинон мебошанд. Дар айни замон истифодабарии обҳои зеризаминӣ асосан ба тартиб андохта нашудааст. Дар ҳавзаи Сир ва водии Фарғона, дар вилояти Суғд ба далели иқлими хушк, кишоварзон барои ҷуброни камбуди об бештар аз обҳои сатҳӣ истифода меку-

нанд. Бо таъсири афзоюндаи захираҳои обҳои сатҳӣ коркард ва ҳифзи захираҳои обҳои зеризаминӣ як самти муҳими идоракунии захираҳои оби Тоҷикистон дар оянда мегардад.

Идоракунии захираҳои оби Тоҷикистон пас аз истиқлолият аз низоми мутамакази Иттиҳоди Шуравӣ ба низоми ғайримарказӣ табдил ёфт. Дар айни замон, барои барпо намудани низоми маҷмуии идоракунии захираҳои об, ки ба шароити мамлакат мувофиқ аст, дар доираи санадҳои меъёрӣ ҳуқуқии миллӣ ва байналмилалӣ мавҷуда идора мегарданд.

Пас аз истиқлолият механизми аслии мубодилаи обу энергия тадриҷан иваз гардид. Кишварҳои поёноб талаб карданд, ки аз кишварҳои болооб бо нархи бозор

нерӯи барқ харидорӣ кунанд, дар ин ро-сто кишварҳои болооб саъй карданд, ки хиссаи худро дар истифодаи об афзоиш диҳанд. Дар Тоҷикистон ҷиҳати баланд бардоштани коэффитсиенти истифодаи захираҳои оби худ дар асоси дастурҳои байналмилалии истифодаи захираҳои об ва тағйир додани сохтори нобаробари истифодаи об, ки таърихан ташаккул ёфта-аст, рӯз ба рӯз зарурияти бештар бавучуд омадааст. Ҳукумати Тоҷикистон дар соли 2015 "Барномаи ислоҳоти соҳаи об барои солҳои 2016-2025"-ро қабул кард, ки ҳадафи он тақмили заминаи ҳуқуқӣ ва механизми институтсионалӣ, ҷорӣ намудани идоракунии захираҳои оби ҳавзаи дарёҳо ва бунёди як низоми ҳамгиросудаи идо-

ракунии захираҳои об мебошад. Дар ҳоли ҳозир дар кишвар лоиҳаи "Стратегияи миллии об барои давраи то соли 2040" ва Барномаи ислоҳоти соҳаи оби Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳия гардидааст, ки ба ҳифзи ҳуқуқи инсон ба оби ошомиданӣ ва иншооти беҳдоштӣ авлавият медиҳанд.

Тоҷикистон дар сатҳи байналмилалӣ рӯзномаи ҷаҳонии обро фаъолона пеш мебарад. Кишвар бо ташаббуси Созмони Милали Муттаҳид ба масъалаҳои об муаллифи як қатор қатъномаҳо, аз ҷумла «Соли байналмилалии оби тоза» (2003), Даҳсолаи байналмилалии амал «Об барои ҳаёт» (2005-2015) ва Даҳсолаи байналмилалии амал «Об барои рушди устувор, 2018-2028» мебошад [2].

Ҷадвали 3. Баррасии маълумоти асосии захираҳои оби Тоҷикистон.

Категорияи захираҳо	Миқдор	Ҳолати рушд	Аҳамияти стратегӣ
Захираҳои пирияхҳо	8476 километри мураббаъ, 14000 пириях	Мониторинг ва муҳофизат	Сарчашмаи дарёҳои асосии Осиёи Марказӣ, танзимгари иқлим
Системаи дарё	947 дарё (10 км), бо маҷрои солони 52,2 км ³	Суръати тараққиёти гидроэнергетика 3-4 Ҷоиз	Гидроэнергетика, обёрии кишоварзӣ, нигоҳдорӣ экологӣ
Кӯлҳо ва обанборҳо	Зиёда аз 1300 кӯл, ки дар кӯли Сарез 17 миллиард метри мукааб об нигоҳ дошта мешавад	Истифодаи кам, хатарҳои эҳтимоли	Назорати обхезӣ, манбаи эҳтимолии офатҳои табиӣ (хатарҳои заминларза)
Захираҳои обҳои зерзаминӣ	Захираи умумии он 18,7 км ³ , истихроҷи солони 2,8 км ³ мебошад	Рушди суст	Манбаи оби иловагӣ барои оби барои нӯшокии сокинон ва обёрии кишоварзӣ

Пирияхҳо муҳимтарин манбаи оби Тоҷикистон мебошанд. Масоҳати умумии пирияхҳо дар кишвар 8476 километри мураббаъро ташкил медиҳад, ки тақрибан 6% масоҳати умумии қаламрави онро ташкил медиҳад. Ин пирияхҳо асосан дар кӯҳҳои Бадахшон ва кӯҳҳои Тиёншон паҳн шуда, сарчашмаи дарёҳои асосии Осиёи Марказиро ташкил медиҳанд.

Системаҳои дарёҳо ҷузъи динамикии захираҳои оби Тоҷикистонро ташкил ме-

диҳанд, ки маҷрои солони он 52,2 километри мукааб мебошад. Дарёҳои асосӣ Амударё, Сирдарё, Вахш, Панҷ ва Зарафшон мебошанд. Дар натиҷаи пастравии азими релефи кӯҳӣ ин дарёҳо дорои захираҳои ғании энергетикӣ буда, иқтидори назариявии гидроэнергетикӣ 527 миллиард киловатт-соатро ташкил медиҳанд, вале суръати ҳозираи рушд ва истифодаи он ҳамагӣ 4-5 Ҷоиз буда, дурнамои рушд васеъ аст.

Чадвали 4. Таъсири обшавии пиряхҳо ба захираҳои оби Тоҷикистон дар миёнамуддат ва дарозмуддат.

Самти таъсир	Таъсири миёнамуддат (2025–2040)	Тамоюли дарозмуддат (2040–2100)
Ҳаҷми умумии захираҳои об	Афзоиши муваққатии ҳаҷми қараён, эҳтимоли ба даст омадани авҷи маҷро	Камшавии пайвастаи қараёни асосӣ, ташдиди хушксолии гидрологӣ
Тақсироти мавсимии қараён	Тавсеаи қараён дар мавсими тобистон, камобшавии шадид дар фасли зимистон	Афзоиши номутаносибии мавсимӣ, тӯлонитар шудани давраи хушкӣ
Тақсироти фазоии захираҳо	Нигоҳдории иқтисодии таъминоти об дар минтақаҳои баландкӯҳ дар кӯтоҳмуддат	Қоҳиши назаррасии функсияи “манбаи оби” пиряхҳо дар манотиқи кӯҳӣ
Тағйироти сифатии об	Афзоиши таҳшинҳо ва қоришавии моддаҳои қалбшуда ба обшавии пирях	Баландшавии эҳтимоли концентратсияи моддаҳои ифлоскунанда дар об

Дар баробари ин тағйироти бебо-згашт, барои Тоҷикистон зарурияти фар-ран стратегияи идоракунии захираҳои обро тақдир намуда ва аз тақдир ба обҳои обшавии пиряхҳо ба модели устувори истифодаи захираҳои об гузаштан фаро расидааст. Ҳамзамон, ин тағйирот сох-тори манобеи оби тамоми минтақаи Осиёи Марказиро низ тағйир хоҳад дод ва кишварҳои поёноб бояд ба камбудии об дар “давраи пас аз пиряхҳо” омодагӣ би-нанд.

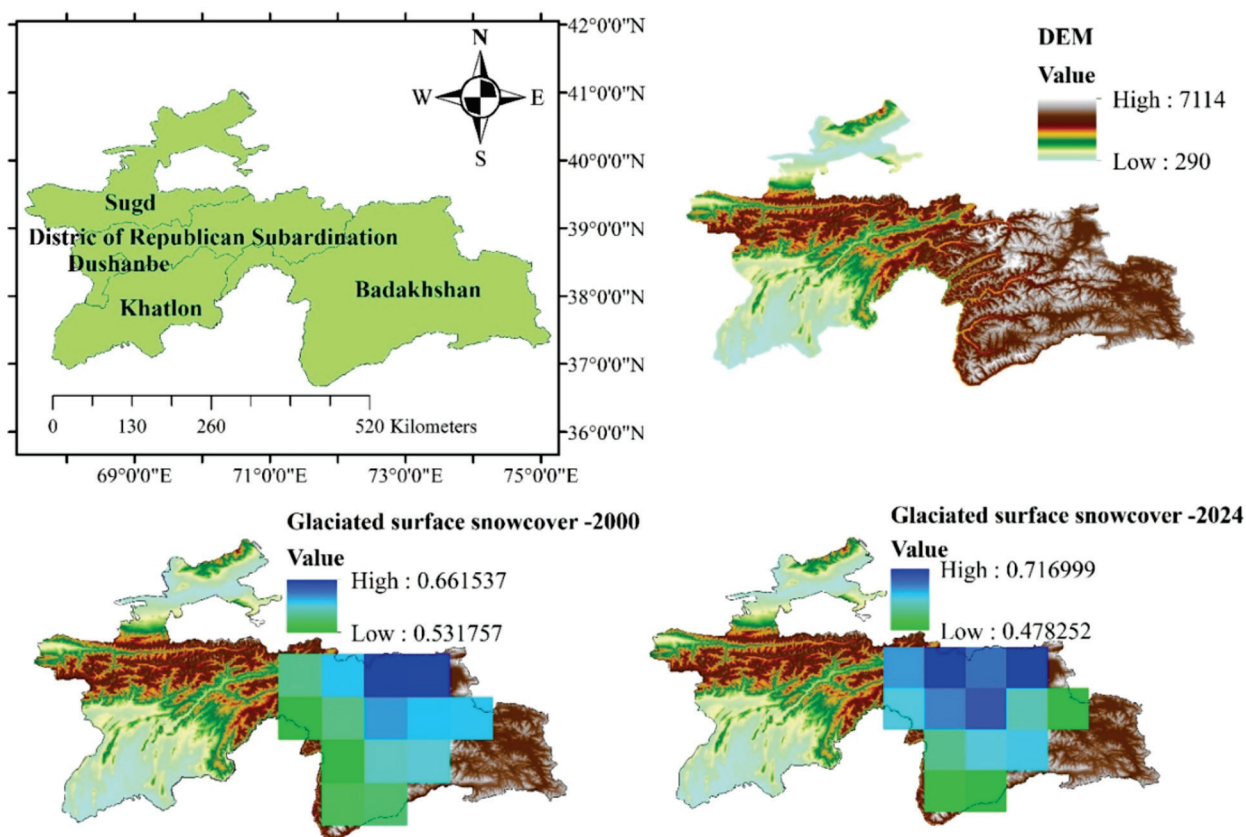
Тағйироти захираи пиряхҳо омил муҳиме хоҳад буд, ки ба тағйироти оян-даи захираҳои оби Тоҷикистон таъсир мерасонад. Тибқи маълумот дар бораи тағйирёбии масоҳати пиряхҳо дар ҳав-заҳои асосии дарёҳои Тоҷикистон аз соли 1990 то 2020, масоҳати умумии пиряхҳои минтақавӣ тамоюли назаррасии қоҳишро нишон дода, аз 10009,76 км² дар соли 1990 то ба 8063,61 км² дар соли 2020 қоҳиш ёфта, дар маҷмӯъ 19,4% қоҳиш ёфт. Дар байни онҳо ҳавзаи дарёи Вахш ва дарёи Панҷ ҳамчун минтақаҳои асосии паҳн-шавии пиряхҳо мутаносибан 12,9% (аз 3754,18 то 3270,28 км²) ва 21,6% (аз 5245,52 то 4112,87 км²) кам шуданд. Масоҳа-ти пиряхҳо дар ҳавзаи дарёи Зарафшон 31,6% (789,47→539,71 км²) ва дарёи 35,8% (218,46→140,25 км²) кам шуд [16-18]. Ҳав-

заи Сирдарё дар Тоҷикистон пойгоҳҳои хурдтарин, вале тағйирёбии назаррасро дошт, ки масоҳати соли 1990 дар соли 2020 ҳамагӣ 23,6% -ро ташкил дод. Қобили зикр аст, ки баъзе ҳавзаҳо (ба монанди дарёи Зарафшон ва дарёи Вахш) дар байни солҳои 2000-2015 тадриҷан зиёдшавии масоҳатро аз сар гузаронидаанд. Аммо мувозинат тамоюли умумии пастшави-ро давом дод. Ин тағйирот ба заминаҳои иқлимӣ ба таври назаррас баланд шудани ҳарорат ва кам шудани боришот дар Осиёи Марказӣ зич алоқаманд буда, барои амнияти захираҳои оби Тоҷикистон ва кишварҳои поёноб аҳамияти огоҳсозӣ дорад.

Пажӯҳишҳо нишон медиҳанд, ки тибқи тамоюлҳои кунунии тағйирёбии иқлим, захираи пиряхҳои Тоҷикистон дар миёнаҳои асри қорӣ метавонад 40-60% кам шавад. Ин пешгӯӣ бо гузориши арзёбии гурӯҳи байниҳукумати оид ба тағйирёбии иқлим (IPCC), ки осебпазирии пиряхҳои кӯҳиро дар заминаи гармшавии глобалӣ нишон медиҳад, мувофиқат ме-кунад. Аз ҷумла, пиряхҳои хурд (бо масоҳати камтар аз 1 километри мураббаъ) метавонанд комилан аз байн раванд, ки боиси камшавии манбаҳои оби маҳаллӣ гардад [8,11,19].

Чадвали 5. Масоҳати пирахҳо дар ҳавзаҳои гуногуни дарёҳои Тоҷикистон аз соли 1990 то 2020 (км²).

Сол	Сирдарё	Зарафшон	Кофарниҳон	Вахш	Панҷ	Умумӣ
1900	2,12	789,47	218,46	3754,18	5245,52	10009,76
1995	0,63	621,44	179,26	3367,17	4602,01	8770,5
2000	0,46	605,64	143,35	3720,73	4512,7	8982,88
2005	0,24	626,01	147,54	3849,05	4504,03	9126,87
2010	0,24	646,76	145,81	3664,79	4545,48	9003,08
2015	1,18	707,01	167,18	3586,41	4398,34	8860,11
2020	0,5	539,71	140,25	3270,28	4112,87	8063,61



Расми 3. Қабати барфии пирахҳо.

Таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои оби Тоҷикистон хусусиятҳои мураккаби андоза ва сатҳи гуногунро пешниҳод мекунад, ки бевосита ба системаи гардиши обҳои минтақавӣ асосан тавасути баландшавии ҳарорат, тағйирёбии шаклҳои боришот ва афзоиши ҳодисаҳои шадиди иқлим таъсир мерасонад. Ҳамчун як кишвари маъмулии кӯҳӣ, системаи за-

хираҳои оби Тоҷикистон ба тағйироти иқлим хеле ҳассос аст ва механизми таъсири он ҳам умумичаҳонӣ ва ҳам хусусиятҳои минтақавӣ дорад. Таҳлили амиқи ин механизмҳои таъсиргузор аз ҷиҳати илмӣ пешгӯии тамоюлҳои ояндаи захираҳои об ва таҳияи стратегияҳои мутобиқшавӣ мебошад [11].

Чадвали 6. Пешгӯӣ бисёрсенариявии тағйироти захираҳои оби пирахҳои Тоҷикистон.

Давраи пешгӯишуда	Сенарияи RCP2.6	Сенарияи RCP4.5	Сенарияи RCP8.5	Таъсирҳои асосӣ
2020–2050	Камшавии масоҳати пирахҳо 20–30%	Камшавии масоҳат 25–35%	Камшавии масоҳат 30–45%	Чараҳои оби тобистона аввал зиёд шуда, сипас кам мешавад; тағйироти гидрологӣ меафзояд
2050–2100	Масоҳати пирахҳо устувор ё андаке коҳиш меёбад	Камшавӣ 35–50%	Камшавӣ 60–80%	Таъмини об аз пирахҳо шадидан кам мешавад, хавфи хушксолӣ зиёд мешавад
Нуктаҳои калидии тағйирот	Баъзе пирахҳо метавонанд устувор шаванд	Аксари пирахҳои хурд нест мешаванд	Пирахҳои бузург ба таври назаррас ақиб мераванд	Системаи гидрологӣ ба тағйироти ғайриқобили баргашт рӯ ба рӯ мешавад

Арзёбии илмии механизмҳои таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои оби Тоҷикистон ва пешгӯӣ тамоюлҳои оянда дар ин самт, барои таҳияи стратегияи мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим ва идоракунии устувори захираҳои об дар сатҳи минтақа аҳамияти роҳнамоӣ ва амалӣ дорад.

Хулоса

Барои коҳиш додани таъсири тағйирёбии глобалии иқлим ба захираҳои об, татбиқи равиши ҳамгириёна ва системавӣ зарур мебошад, ки ҷанбаҳои сиёсӣ, ҳуқуқӣ, технологӣ, иқтисодӣ ва институтсионалиро дар бар мегирад. Ин тадбирҳо бояд ҳам мушкilotи фаврӣ, аз ҷумла норасоии обу энергия ва самаранокии пасти обёриро ҳал намоянд ва ҳам ба мутобиқшавии дарозмуддат ба тағйирёбии иқлим ва рушди устувор мусоидат кунанд.

Тақмили заминаи меърию ҳуқуқӣ ва институтсионалӣ, аз ҷумла рушди идоракунии ҳамгирии захираҳои об, тақвияти идоракунии хавзаҳои дарё ва ҳамоҳангсозии байниидоравӣ, барои баланд бардоштани самаранокии идоракунӣ аҳамияти калидӣ дорад. Ҷорӣ намудани механизмҳои иқтисодӣ, ислоҳоти нархгузори об ва сармоягузорӣ ба инфрасохтори аз ҷиҳати иқлим устувор, аз ҷумла модернизатсияи системаҳои ирригатсионӣ ва истифодаи технологияҳои каммасрафи

обёрӣ, метавонанд сарфаи об ва адолати иҷтимоиро таъмин намоянд.

Илова бар ин, рушди низоми рақамии идоракунии захираҳои об, тақвияти мониторинги гидрологӣ ва истифодаи технологияҳои таҳқиқоти фосолавӣ ва GIS-технология барои қабули қарорҳои илмӣ ва баланд бардоштани устувории идоракунии захираҳои об аҳамияти муҳим доранд.

Адабиёт

1. Immerzeel W.W., Lutz A.F., Andrade M. et al. Значение и уязвимость водонапорных башен в мире // Nature. – 2020. – Vol. 577. – P. 364–369.
2. Шарипов С.А. Механизмҳои ҳуқуқӣ ва институтсионалии фаъолияти мақомоти муштарақ дар идоракунии захираҳои об // Захираҳои об, энергетика ва экология, 2025. -№5/2. - С.6-12.
3. Chen Y., Fan G., Li Z., Zhang X., Li W., Gulakhmadov N., Nasrulloev F., Gulakhmadov A. Водные ресурсы и устойчивое управление ими в Таджикистане в условиях глобальных изменений // Sustainability. – 2024. – Vol. 16. – P. 1–18.
4. Водный ежегодник: Центральная Азия и весь мир, 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cawater-info.net/yearbook/index_e.htm
5. Wang X.X., Chen Y.N., Li Z. et al. Разработка и использование водных ресурсов в Центральной Азии // Agricultural Water Management. – 2020. – Vol. 240. – Art. 106270.
6. Pritchard H.D. Тающие ледники Азии защищают большие популяции животных от засухи // Nature. – 2017. – Vol. 545. – P. 169–174.
7. Курбонов, Н.Б. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние

- изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.
8. Bhattacharya A., Bolch T., Mukherjee K. et al. The response of high-altitude Asian glaciers to climate change revealed by long-term satellite observations since the 1960s // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 4133. – DOI: 10.1038/s41467-021-244739.
 9. Chen Y.N., Li Z., Fan G.H. et al. Large-scale changes in hydrological processes in transboundary rivers of Central Asia // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2018. – Vol. 123, № 10. – P. 5059–5069.
 10. Braun L.N., Hagg W., Severskiy I.V. et al. Оценка снежных и ледниковых ресурсов Азии // *Hydrological Processes*. – 2009. – Vol. 23. – P. 123–136.
 11. Насруллоев, Ф.Х. Оценка состояния ледника Скогач в условиях изменения климата / Ф.Х. Насруллоев // *Наука и инновация*. – 2024. – № 3. – С. 68-73. – EDN JAQZPH.
 12. Водные ресурсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w.unesco.tj/ru/index/index/pageId/78>
 13. Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mewr.tj>
 14. Каюмов А. Ледниковые ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата. – Душанбе: Государственное агентство по гидрометеорологии, 2016. – 220 с.
 15. Wang X.X., Chen Y.N., Li Z. et al. Управление водными ресурсами в трансграничных бассейнах Центральной Азии // *Hydrology and Earth System Sciences*. – 2021. – Vol. 25, № 6. – P. 3281–3299.
 16. Wang X.X., Cui B., Chen Y.N. et al. Динамические процессы водных конфликтов в трансграничных бассейнах Азии // *Ecological Indicators*. – 2025. – Vol. 172. – Art. 113325.
 17. Wang X.X., Chen Y.N., Fan G.H. et al. Растущий водный кризис в Центральной Азии и его движущие силы // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 378. – Art. 134574.
 18. Zhang K.B., Kang S.C. Изменение высоты снеговой линии ледников на Памире (Таджикистан) в 1998–2013 гг.: данные дистанционного зондирования // *Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 9. – P. 1–15.
 19. Brun F., Lambrecht A., Mayer C. et al. Многовременные изменения высоты ледника Федченко (Таджикистан) в 1928–2021 гг. // *The Cryosphere*. – 2025. – Vol. 19. – P. 1123–1140.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ТАДЖИКИСТАНА И ИХ УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Гулахмадов Н.А.^{1,2,*}, Насруллоев Ф.Х.^{1,2},
Парвизи Х.^{1,2}, Шарипов С.А.²

¹Синьцзянский институт экологии и географии Академии наук Китая

²Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

*Автор корреспондент. E-mail: nekruz.abdujabborovich@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу текущего состояния и перспектив водных ресурсов Таджикистана в контексте глобального изменения климата. Рассматривается стратегическая роль страны как «Водной башни Центральной Азии», влияние таяния ледников, изменения количества осадков и возрастающих гидрологических рисков на гидроэнергетику и орошаемое земледелие. Кроме того, анализируются проблемы управления водными ресурсами, деградации инфраструктуры и вопросы сотрудничества между странами, расположенными выше и ниже по течению, а также подчеркивается необходимость разработки стратегий устойчивого использования водных ресурсов для обеспечения энергетической, продовольственной и экологической безопасности и укрепления регионального сотрудничества.

Ключевые слова: водные ресурсы, устойчивое развитие, изменение климата, Таджикистан, Центральная Азия.

WATER RESOURCES OF TAJIKISTAN AND THEIR SUSTAINABLE MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

Gulahmadov N.A.^{1,2,*}, Nasrulloev F. Kh.^{1,2},
Parvizi H.^{1,2}, Sharipov S.A.²

¹Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences

²Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: nekruz.abdujabborovich@inbox.ru

Abstract. This article analyzes the current state and prospects of Tajikistan's water resources in the context of global climate change. It examines the country's strategic role as the "Water Tower of Central Asia," as well as the impact of melting glaciers, changing precipitation, and increasing hydrological risks on hydropower and irrigated agriculture. It also examines water resource management issues, infrastructure degradation, and cooperation between upstream and downstream countries. It also highlights the need to develop sustainable water use strategies to ensure energy, food, and environmental security and strengthen regional cooperation.

Keywords: water resources, sustainable development, climate change, Tajikistan, Central Asia.

Маълумот дар бораи муаллифон: Гулаҳмадов Некрӯз Абдучабборович – постдокторанти Институти экология ва географияи Синҷони Академияи илмҳои Чин, E-mail: nekruz.abdujabborovich@inbox.ru; Насруллоев Фарҳод – постдокторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: farhadnasrullo@gmail.com; Парвизи Хотам – постдокторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: hparviz92@mail.ru; Шарипов Саид Аҳмадович – ходими калони илмии шуъбаи Идоракунии захираҳои об ва обсарфакунии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: sharipovsa1988@gmail.com.

Сведения об авторах: Гулаҳмадов Некруз Абдуджабборович – постдокторант Синьцзянского института экологии и географии Академии наук Китая, E-mail: nekruz.abdujabborovich@inbox.ru; Насруллоев Фарҳод – постдокторант Институти водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана, E-mail: farhadnasrullo@gmail.com; Шарипов Саид Аҳмадович – старший научный сотрудник Отдела управления водными ресурсами и водображения Институти водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана, E-mail: sharipovsa1988@gmail.com.

Information about the authors: Gulahmadov Nekruz Abdujabborovich – postdoctoral fellow at the Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, E-mail: nekruz.abdujabborovich@inbox.ru; Nasrulloev Farhod – postdoctoral fellow at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: farhadnasrullo@gmail.com; Парвизи Хотам – постдокторант Институти проблем водных ресурсов, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, E-mail: hparviz92@mail.ru; Sharipov Said Ahmadovich - Senior Researcher of the Department of Water Resources Management and Water of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAST, E-mail: sharipovsa1988@gmail.com.

КЛИМАТО-ОРОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА

Холмирзозода М.О.^{1*}, Кодиров А.С.¹,
Садриддинов О.М.², Азизов З.Б.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетика и экология Национальной академии наук Таджикистана,

²Таджикский государственный педагогический университет имени Садриддина Айни

*Автор-корреспондент. E-mail: kholmirezoeva76@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению климато-орографических условий формирования водных ресурсов Центрального Таджикистана. Рассматривается влияние высотного рельефа, горных хребтов, ледникового и снегового питания рек на гидрологический режим региона. Анализируются температурные и осадочные показатели различных гидрометеорологических станций, особенности речной сети и типы питания рек – ледниково-снеговое, снегово-ледниковое, снегово-дождевое и снеговое. Особое внимание уделено бассейну реки Кафирниган, где выявлены сезонные колебания стока. Работа имеет практическое значение для планирования водопользования и сохранения уникальной гидросистемы Центрального Таджикистана.

Ключевые слова: Таджикистан, Центральный Таджикистан, водные ресурсы, климат, рельеф, речная сеть, ледниковое питание, снеговое питание, орошение, гидрология, антропогенное воздействие, экосистема.

Введение

Таджикистан – страна, расположенная в центральной части континента и обладающая наименьшей территорией среди государств Центральной Азии. Она находится в юго-восточной части региона, между 36°40' и 41°05' северной широты и 67°31' и 75°14' восточной долготы [1-2]. Около 93% территории страны занимают горы, причем примерно половина территории расположена на высоте свыше 3000 метров. Менее возвышенные участки делятся на северные и южные области, разделённые тремя крупными горными системами.

Административно Таджикистан подразделяется на пять регионов: Северный Таджикистан, Юго-Западный Таджикистан, Центральный Таджикистан, Западный Памир и Восточный Памир [2]. Эти районы различаются по климатическим условиям, геологической структуре, растительности, фауне и плотности населения. В целом климат страны характеризуется как континентальный, субтропический и полузасушливый с элементами пустынного, что определяется

сочетанием солнечной радиации, особенностей атмосферной циркуляции и сложного горного рельефа.

Речные воды Таджикистана отличаются по химическому составу [3], на который влияют гидрогеологические и гидрохимические особенности речного бассейна. Значительное влияние на качество воды оказывают наносы, таяние снега и ледниковых ручьев, приток крупных рек, подземные воды, а также деятельность человека.

Питание рек в основном осуществляется за счёт снега и ледников. Весенние паводки, возникающие в марте и апреле, связаны с таянием снега на равнинах и в горах бассейнов рек. Основное половодье, связанное с интенсивным таянием ледников, приходится на май и достигает пика в июле. В декабре и январе наблюдается снижение уровня воды, при этом основным источником питания рек становятся подземные воды. Разнообразие источников биогенных веществ определяет сезонные колебания физико-химических характеристик вод и концентрации растворённых металлов [4-6].

Материалы

В работе использованы данные гидрометеорологических наблюдений (температура воздуха и количество осадков) с гидрометеорологических станций бассейна реки Кафирниган (Файзабад, Майхура, Душанбе, Исанбай, Айвадж), а также

обобщённые гидрологические сведения о речной сети и типах питания рек Центрального Таджикистана; при этом конкретный временной период в статье явно не указан, однако анализ выполнен на основе многолетних (климатических) рядов наблюдений.



Рисунок 1. Бассейн реки Кафирниган

Метод

В данной работе использован комплексный аналитико-статистический метод исследования, включающий климатологический и гидрологический анализ данных гидрометеорологических станций, а также сравнительно-географический подход для сопоставления природных условий различных высотных зон, что позволило оценить влияние климато-орографических факторов на формирование водных ресурсов региона.

Результаты и обсуждение

Благодаря обилию ледниковых источников питания, в Таджикистане сформирована густая речная сеть. Общая протяжённость рек длиной более 10 км превышает 28 500 км (табл. 1) [7-8]. На территории страны протекает около 600 рек и временных водотоков, принадлежащих крупнейшим бассейнам Центральной Азии – Амударья и Сырдарья. Крупнейшие реки, такие как Амударья, Сырдарья, Вахш, Пяндж и Зеравшан, берут начало в

горах Таджикистана. В верховьях и среднем течении реки отличаются быстрым и

бурным течением, а на равнинах становятся спокойными и величавыми.

Таблица 1. Основные реки Таджикистана

Крупнейшие реки	Длина водотока, км
Амударья-Пяндж	1415-921
Зеравшан	877
Бартанг-Мургаб-Оксу	558
Вахш	524
Кафирниган	387

Речная сеть Таджикистана делится с учётом Алайско-Туркестанской горной цепи и Гиссарского хребта на три крупные системы: Сырдарьинскую на севере, Зеравшанскую в центральной части и Амударьинскую на юге [9]. На Восточном Памире также расположены бессточные котловины с озёрами Ховаркуль и Шоркуль, а река Шухоб, впадающая в Китай и являющаяся притоком реки Сурхоб, представляет собой отдельную гидрологическую систему.

Незначительная часть территории республики (около 9,2%) находится севернее Туркестанского хребта и относится к бассейну Сырдарьи, тогда как остальная территория, расположенная к югу от хребта, входит в бассейн Амударьи. По южной границе с Афганистаном протекает река Пяндж, которая является верховьем Амударьи. Она берёт своё начало из памирского озера Заринкуль и до слияния с левым притоком Вахандарья на афганской стороне носит название Памир.

Согласно [2,7,9], с востока на запад в реку Пяндж с правой стороны впадают крупные притоки: Гунт с притоком Шахдара, Бартанг (Мургаб) с притоком Гудара, Язгулем, Ванч, южная Сурхоб с притоком Яхсу, а также Вахш с притоком Обихингоу. Ниже слияния Вахша с Пянджем река получает название Амударья, в которую впадают река Кафирниган с притоками Варзоб, Ханака, Каратаг и Сурхандарья с многочисленными притоками.

На территории Таджикистана находятся верховья Амударьи и Зеравшана, а также значительная часть бассейна Сырдарьи и её притоков. Воды крупных многоводных рек используются частично для орошения внутри страны, однако значительная часть этих ресурсов направляется на орошение в соседние государства – Узбекистан и Туркменистан. Остатки воды через крупные реки Сырдарью и Амударью впадают в Аральское море.

Большинство рек Таджикистана характеризуется очень крутым падением. На Восточном Памире реки спускаются с высот 5000-4000 м на плато 3000-3500 м, в северной, центральной и южной частях страны – с отметок 2000-3000 м до 300-150 м. Благодаря крутизне склонов и многоводности реки обладают значительным гидроэнергетическим потенциалом, составляющим около половины запасов гидроэнергии всей Центральной Азии. В горной зоне реки представляют собой бурные потоки, протекающие через узкие ущелья и обрывистые террасы. Жесткость горных пород, образующих русла и долины, создаёт благоприятные условия для строительства водохранилищ и гидроэлектростанций.

Реки Таджикистана имеют четыре типа питания: ледниково-снеговое, снегово-ледниково-снеговое, снегово-дождевое и снеговое [10]. Реки ледниково-снегового питания берут начало в высокогорьях, где непрерывно накапливаются ледники и снега. На Памиро-Дарвазской возвышен-

ности, почти полностью покрытой ледниками, расположены истоки главных притоков Амударьи – Вахша и Пянджа. Из ледников центрального горного массива вытекают Зеравшан и некоторые левые притоки Сырдарьи. Наибольший сток этих рек приходится на июль и август – период интенсивного таяния снега и ледников. К ним относятся Вахш, Обихингоу, Гунт, Шахдара, Бартанг, Язгулем, Ванч, Зеравшан, Фандарья, Ягноб, Искандерья, Кштут, Магиян, Исфара и Сырдарья.

Реки снегово-ледникового питания характеризуются наибольшим стоком в мае и июне. К этому типу относятся Кафирниган, Варзоб, Ханака, Каратаг, Шеркент и Сангикар [4-6]. Реки снегово-дождевого питания достигают максимального стока в марте-мае, при этом паводки часто имеют селевой характер. Примеры таких рек – южная Кызылсу и Яхсу.

Результаты

Реки снегового питания характеризуются наибольшим стоком в апреле и мае. К ним относятся малые притоки среднего и нижнего течения рек Варзоб, Кафирниган, Иляк и Лучоб. Типичным представителем этого класса является река Гурке – правый приток Варзоба.

Помимо рассмотренных рек по типу питания, в Таджикистане протекают небольшие речки, питаемые родниками. В ряде районов – у подножий Кураминского и Туркестанского хребтов, в горных междуречьях между Гиссарской и Вахшской долинами, а также в долинах рек Яхсу, южной Кызылсу и Бешкентской – водами родниковых рек орошаются десятки, а иногда сотни гектаров сельскохозяйственных угодий.

Тип питания рек напрямую влияет на их возможности для орошения. Наиболее эффективными для полива в условиях Таджикистана являются реки ледниково-снегового питания, затем –

снегово-дождевого, снегового и, наконец, реки с ограниченным снегово-дождевым питанием, где запас воды в период июля–сентября составляет лишь 0–13% годового стока. В таких реках летом возможно пересыхание, что затрудняет обеспечение водными ресурсами орошаемого земледелия в наиболее жаркий и водоёмкий период.

Реки Таджикистана имеют большое народно-хозяйственное значение. Они обеспечивают жизнь долинных районов, где в летние месяцы яркое солнце делает воду особенно ценным ресурсом. Согласно [11], на реке Вахш построена одна из крупнейших гидроэлектростанций мира – Нурекская ГЭС, плотина которой достигает высоты более 300 метров, являясь самой высокой в мире.

Климатические условия в бассейне реки Кафирниган характеризуются как резко континентальные, что проявляется в значительных сезонных колебаниях температуры и количества осадков. Формирование климата в этом регионе определяется совокупностью факторов, включая рельеф местности, широтное положение, атмосферную циркуляцию и удалённость от океанов. Все эти элементы вместе создают уникальные климатические условия, оказывающие прямое влияние на экосистему бассейна.

Температурный режим варьируется в зависимости от высоты над уровнем моря. В высокогорных участках, где река берет своё начало, среднегодовая температура колеблется от -4 до $+5^{\circ}\text{C}$, что создаёт суровые условия для жизни, однако местные экосистемы успешно адаптировались к таким температурным особенностям. В равнинных зонах температура воздуха повышается до $+14$ – 17°C , создавая более благоприятные условия для проживания человека и ведения сельского хозяйства (рис. 2) [12].

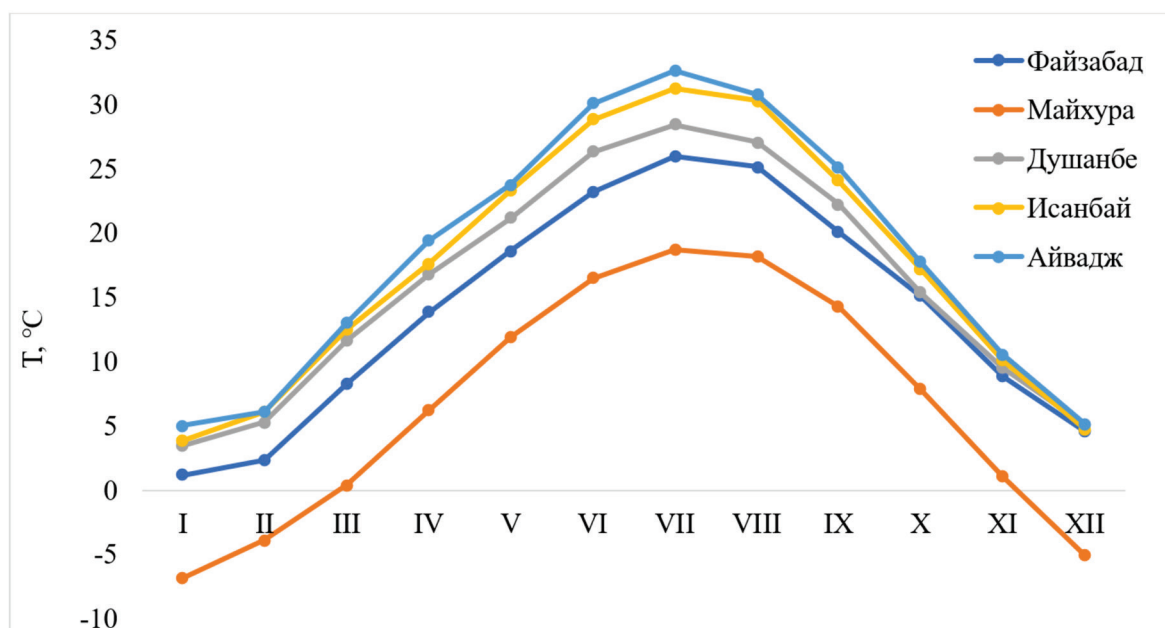


Рисунок 2. Среднемесячные температуры воздуха по ключевым метеостанциям бассейна Кафирнигана.

Данные рисунка показывают распределение средних месячных температур воздуха в пяти гидрометеорологических станциях (ГМС) бассейна реки Кафирниган: Файзабад, Майхура, Душанбе, Исанбай и Айвадж. Анализ температурного режима позволяет выделить выраженные закономерности, характерные для резко континентального климата региона.

В высокогорной зоне, представленной станциями Файзабад и Майхура, средние температуры зимних месяцев (декабрь-февраль) находятся ниже нуля или около 0°C . В частности, в Майхуре наблюдаются отрицательные значения температуры в январе ($-6,8^{\circ}\text{C}$) и феврале ($-3,8^{\circ}\text{C}$), что свидетельствует о суровых зимних условиях. Весной (март-май) температура постепенно повышается: в Файзабаде она увеличивается с $8,3^{\circ}\text{C}$ в марте до $18,7^{\circ}\text{C}$ в мае, а в Майхуре – с $0,45^{\circ}\text{C}$ до $11,95^{\circ}\text{C}$. Летом (июнь-август) температурные показатели достигают максимальных значений, особенно в высокогорных районах: Файзабад – до 26°C в июле, Майхура – $18,75^{\circ}\text{C}$ в июле. Осенью температура постепенно снижается, а к декабрю вновь

достигает отрицательных значений в Майхуре [12-14].

В равнинной и предгорной зоне (Душанбе, Исанбай, Айвадж) температурный режим существенно мягче и теплее. Средняя температура января колеблется от $+3,49^{\circ}\text{C}$ в Душанбе до $+5,06^{\circ}\text{C}$ в Айвадж, а в июле достигает максимальных значений: $28,43^{\circ}\text{C}$ в Исанбае и $32,65^{\circ}\text{C}$ в Айвадж. Летние месяцы характеризуются устойчиво высокими температурами, что создаёт благоприятные условия для развития сельского хозяйства и водопользования. Сезонные колебания температуры здесь более выражены, чем в высокогорных районах, с амплитудой от $3-5^{\circ}\text{C}$ зимой до $30-32^{\circ}\text{C}$ летом.

Сравнительный анализ станций показывает влияние высоты над уровнем моря на температурный режим: по мере увеличения высоты среднегодовая температура снижается, а амплитуда сезонных колебаний уменьшается. Высокогорные районы (Майхура, Файзабад) характеризуются более холодной зимой и прохладным летом, тогда как предгорные и равнинные территории (Душанбе, Исанбай, Айвадж) – мягкой зимой и жарким летом.

Таким образом, данные рисунка отражают выраженную вертикальную зональность климата бассейна реки Кафирниган, которая оказывает непосредственное влияние на гидрологический режим рек и возможности водопользования в различных частях бассейна. Повышенные летние температуры в низких районах способствуют активному таянию снега и ледников, что формирует летний половодный сток, в то время как холодная зима в высокогорьях замедляет течение и снижает риск раннего таяния ледников.

Количество осадков варьируется в зависимости от высоты над уровнем моря: в горных районах годовое количество осадков достигает 800-1000 мм, в то время как на равнинах не превышает 200-300 мм (рис. 3) [14]. Основная часть осадков приходится на весенне-осенний сезон, с пиком в марте-апреле. Летом осадки минимальны, а в некоторых регионах могут наблюдаться засушливые условия.

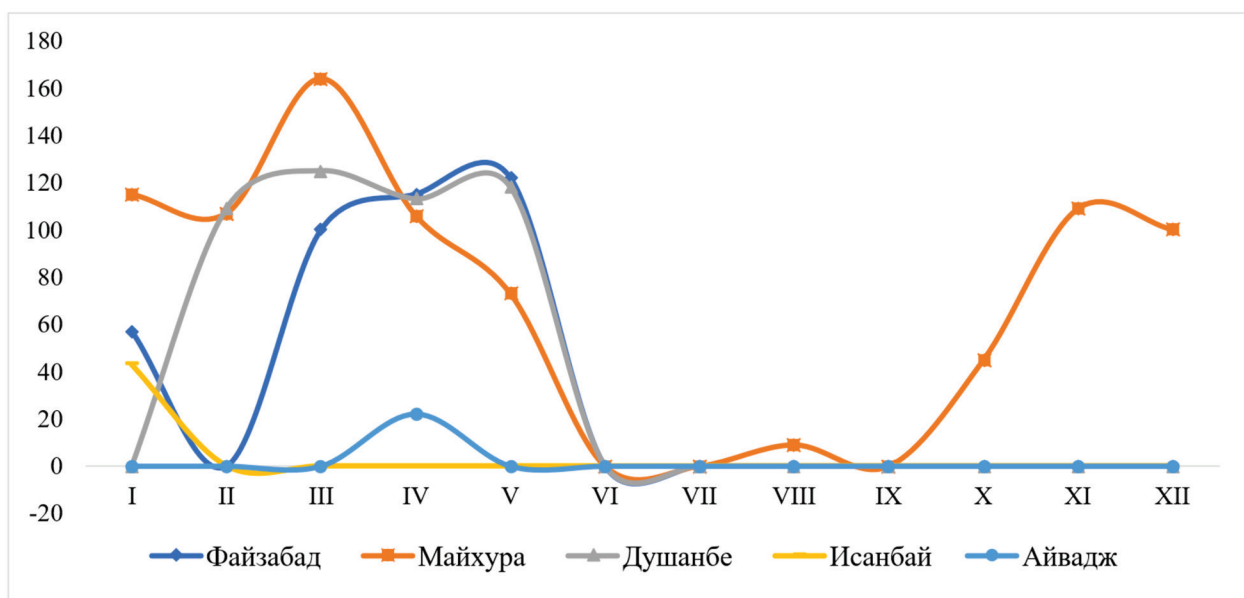


Рисунок 3. График среднемесячного распределения осадков в различных высотных зонах бассейна реки Кафирниган.

Сильная испаряемость, обусловленная высокими летними температурами и интенсивным солнечным излучением, характерна для равнинной местности. В этой зоне испаряемость достигает 1000–1500 мм в год [14], что значительно превосходит количество осадков. Такой дисбаланс приводит к дефициту влаги, особенно во время летнего сезона, что необходимо учитывать при изучении сезонных колебаний состава поверхностных вод.

Режим реки Кафирниган определяется в первую очередь снеговым и ледниковым стоком, а также атмосферными осадками. Образование вод реки происходит за счет:

- сход снега и таяние ледников, что и провоцирует весенне-летний паводок (с апреля по июнь);
- основным источником питания является дождевая вода, преимущественно в осенние месяцы;
- существует подземное питание, хоть и менее интенсивное, но всё же обеспечивающее базовую пропитание в зимний период.

Влияние рельефа и растительности на водный режим бассейна реки Кафирниган представляет собой сложную взаимосвязанную систему, где каждый фактор оказывает значительное воздействие

на климатические и гидрологические характеристики [13]. Рельеф бассейна, характеризующийся значительными высотными перепадами, играет ключевую роль в формировании водного баланса. Горные массивы, возвышающиеся на высоту более 2500-3000 метров над уровнем моря, выступают в качестве гигантских резервуаров воды, аккумулируя её в виде снежников и ледников. Эти ледниковые образования служат естественными регуляторами стока реки, обеспечивая её питание в течение всего года, особенно в засушливые летние месяцы, когда таяние снегов и ледников компенсирует недостаток осадков. Без этого естественного резервуара, река в летнее время могла бы значительно мелеть, что негативно сказалось бы на экосистеме и потреблении водных ресурсов.

В итоге, все перечисленные факторы – рельеф, растительность, сельскохозяйственная деятельность, глобальное потепление и развитие инфраструктуры – оказывают комплексное воздействие на водные ресурсы бассейна реки Кафирниган. Наибольшую опасность представляет сочетание этих воздействий в период летне-осеннего маловодья, когда отсутствует разбавляющий эффект паводковых вод, и концентрация загрязняющих веществ достигает своего максимума.

Для эффективного сохранения водных ресурсов бассейна необходим комплексный подход, включающий рациональное использование вод, внедрение экологически чистых технологий в сельском хозяйстве, создание защитных лесонасаждений и регулирование антропогенной нагрузки на речную экосистему. Только такое всестороннее управление позволит сохранить уникальную водную систему бассейна Кафирнигана для будущих поколений.

Выводы

Основные выводы заключаются в том, что климато-орографические условия Центрального Таджикистана играют

ключевую роль в формировании водных ресурсов: высотная зональность определяет температурный режим, количество осадков и типы питания рек, что, в свою очередь, формирует сезонные колебания стока; установлено, что максимальный водный сток связан с таянием снега и ледников летом, а минимальный — с зимним периодом, при этом рельеф способствует развитию мощного гидроэнергетического потенциала; также выявлено, что на количество и качество водных ресурсов существенно влияют антропогенные факторы, особенно в период маловодья, что требует комплексного и рационального управления водными ресурсами для их сохранения и устойчивого использования.

Литература

1. Мухаббатов, Х.М. Проблемы природопользования в горных регионах Таджикистана / Х.М. Мухаббатов. - Душанбе: Дониш, 2015. - 565 С.
2. Курбонов, Н.Б. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.
3. Абдушукуров, Д.А. Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана / Д.А. Абдушукуров, З.Н. Салибаева. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. - 130 с.
4. Анализ физико-химических свойств воды на примере бассейна реки Кафирниган / М.Р. Боев, Н.Б. Курбон, А.У. Нуров, Ф.Д. Шарифов // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2025. – Т.5. – №4. – С.129-137. – EDN YRVSSC (на тадж. яз.)
5. Сезонные изменения состава воды в притоках реки Кафирниган / М.Р. Боев, Ф.И. Шоймуродов, Ф.Д. Шарифов, Н.Б. Курбон // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2025. – Т.5. – №1. – С.123-131. – EDN ZYKHEM (на тадж. яз.).
6. Анализ редкоземельных элементов в состав вод бассейна реки Кефарнихан / Н.Б. Курбон, М.Р. Боев, Ф.И. Шоймуродов, Ф.Д. Шарифов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2025. – №2-4 (141). – С.170-174. – EDN QGTWMB (на тадж. яз.)

7. Тахиров И.Г. Водные ресурсы Республики Таджикистан. Ч.2 / И.Г. Тахиров, Г.Д. Купай. – Душанбе, 1998. - 201 с.
8. Кодиров, А.С. Гидрографический, гидроэнергетический и ирригационный потенциал бассейна реки Вахш / А.С. Кодиров, Н.К. Насиров, З.У. Эшонкулова // URL: <http://www.sawater-info.net/library/rus/kodirov-nasirov-eshonkulova.pdf>
9. Гидрохимия изотопов водорода ($\delta^2\text{H}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) поверхностных вод зоны формирования реки Вахш / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин, И.Ш. Норматов, З.В. Кобулиев, А.О. Муминов, К.Н. Одинаев // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции. - Санкт-Петербург, 5-9 октября 2020 г. - С.135-140.
10. Рахими, Ф. Вода, наука и устойчивое развитие / Ф. Рахими, Х. Мухаббатов, А.С. Ниёзов, Х. Аброров. - Душанбе «Дониш», 2018. - 432 с. (на тадж. яз.).
11. Влияние изменения климата на экологию и эффективность работы гидротехнических сооружений реки Вахш / О.Х. Амирзода, Ф.А. Кариева, С.С. Бобиев, Н.Б. Курбонов, Ю.М. Курбонов // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2023. – Т.3. – №1. – С. 44-51. – EDN HSUZEB.
12. Кариева, Ф.А. Климатические особенности верхней и средней части ущелья реки Варзоб / Ф.А. Кариева, Д. Халилов, Н.Б. Курбон // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2024. – Т.4. – № 3. – С.37-44. – EDN AXDZDT.
13. Влияние рельефа на формирование местного микроклимата (на примере южного склона Гиссарского хребта) / Н.Б. Курбон, О.Ш. Маджидов, Ф.Д. Шарифов, С.О. Мирзохоннова // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т.16. – №4(62). – С.1849-1861. – DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1849-1861. – EDN PTMYQM.
14. Гулаёзов, М.Ш. Пространственное распределение осадков по климатическим зонам бассейна реки Варзоб / М.Ш. Гулаёзов, З.В. Кобули, Л. Яоминг, А.С. Кодиров // Вестник Педагогического университета, 2021. – №1. – С.207-212.

ШАРОИТҲОИ ИҚЛИМӢ ВА ОРОГРАФИИ ТАШАККУЛӢБИИ ЗАХИРАҲОИ ОБ ДАР ТОҶИКИСТОНИ МАРКАЗӢ

**Холмирзозода М.О.^{1,*}, Кодиров А.С.¹,
Садриддинов О.М.², Азизов З.Б.¹**

¹Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,

²Донишгоҳи давлатии омӯзгори Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни

*Муаллифи масъул. E-mail: kholmirezoeva76@bk.ru

Шарҳи мухтасар. Дар ин мақола шароити иқлимӣ ва орографии ташаккули захираҳои об дар Тоҷикистони Марказӣ баррасӣ мешавад. Таъсири рельефи баландӣ, қаторкӯҳҳо ва дарёҳои аз пирияхҳо ва барф гизогранда ба режими гидрологии минтақа таҳқиқ карда мешавад. Маълумот дар бораи ҳарорат ва боршиот аз истгоҳҳои гуногуни гидрометеорологӣ, хусусиятҳои шабакаи дарёҳо ва намудҳои гизои дарёҳо - пирияхӣ-барф, барфӣ-пирияхӣ, барфӣ-борон ва барф - таҳлил карда мешаванд. Таваҷҷуҳи махсус ба ҳавзаи дарёи Кофирнигон равона карда шудааст, ки дар он тағйироти мавсимии ҷараёни об муайян карда мешаванд. Ин кор барои банақшагирии истифодаи об ва ҳифзи системаи беназири гидроэнергетикии Марказии Тоҷикистон аҳамияти амалӣ дорад.

Калидвожаҳо: захираҳои об, иқлим, рельеф, шабакаи дарёҳо, гизогии пирияхҳо, гизогии барф, обёрӣ, гидрология, таъсири антропогенӣ, экосистема, Тоҷикистони Марказӣ, Тоҷикистон.

CLIMATOLOGICAL AND OROGRAPHIC CONDITIONS OF WATER RESOURCE FORMATION IN CENTRAL TAJIKISTAN

**Kholmirezoda M.O.^{1*}, Kodirov A.S.¹,
Sadriddinov O.M.², Azizov Z.B.¹**

¹*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan,*

²*Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Ayni*

*Corresponding author. E-mail: kholmirezoda76@bk.ru

Abstract. *This article examines the climatic and orographic conditions of water resource formation in Central Tajikistan. The influence of altitudinal topography, mountain ranges, and glacial and snow-fed rivers on the region's hydrological regime is examined. Temperature and precipitation data from various hydrometeorological stations, river network characteristics, and river alimentation types – glacial-snow, snow-glacial, snow-rain, and snow-are analyzed. Particular attention is paid to the Kafirnigan River basin, where seasonal fluctuations in runoff are identified. This work has practical implications for water use planning and the preservation of the unique hydrosystem of Central Tajikistan.*

Keywords: *Tajikistan, Central Tajikistan, water resources, climate, topography, river network, glacier feeding, snow feeding, irrigation, hydrology, anthropogenic impact, ecosystem.*

Маълумот дар бораи муаллифҳо: Холмирзода Муслима Олим – мудири лабораторияи сифати оби Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 918-89-59-64, E-mail: kholmirezoda76@bk.ru; Қодиров Анвар Саидкулович – доктори илмҳои техникӣ, ходими калони илми лабораторияи сифати оби Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 93-830-19-83, E-mail: as.kodirov@gmail.com; Садриддинов Озодбахт Муҳиддинович – докторанти факултети географияи Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни, Тел.: (+992) 777-05-55-11, E-mail: sadriddinov.ozodbakht@mail.ru; Азизов Зуршо Бобохонович – унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел.: (+992) 985-81-80-80. E-mail: zursho_a@gmail.com.

Сведения об авторах: Холмирзода Муслима Олим, заведующая лабораторией качества воды Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, Тел.: (+992) 918895964, E-mail: kholmirezoda76@bk.ru; Кодиров Анвар Саидкулович – д.т.н., старший научный сотрудник лаборатории качества воды Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, Тел.: (+992)938301983. E-mail: as.kodirov@gmail.com; Садриддинов Озодбахт Муҳиддинович – докторант (PhD) географического факультета Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни, Тел.: (+992) 777-05-55-11, E-mail: sadriddinov.ozodbakht@mail.ru; Азизов Зуршо Бобохонович – соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. Тел.: (+992) 985-81-80-80. E-mail: zursho_a@gmail.com.

Information about the authors: Kholmirezoda Muslima Olim – Head of the Water Quality Laboratory of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992) 918895964, E-mail: kholmirezoda76@bk.ru; Kodirov Anvar Saidkulovich – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of the Water Quality Laboratory of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992) 938301983, E-mail: as.kodirov@gmail.com; Sadriddinov Ozodbakht Muhiddinovich – PhD student of the Faculty of Geography of the Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Aini, Phone: (+992) 777-05-55-11, E-mail: sadriddinov.ozodbakht@mail.ru; Azizov Zursho Bobokhonovich – researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Tel.: (+992) 985-81-80-80. E-mail: zursho_a@gmail.com.

УДК: 551.324.43

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДНИКА БАБРГУЗАР ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОСЪЁМКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Муслимов К.^{1,*}, Убайдуллоев У.Р.¹, Кабутов Х.К.¹

¹Государственное научное учреждение Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана

*Автор корреспондент. E-mail: muslimov.cryos@gmail.com

Аннотация. В работе предлагается комплексный подход к анализу современной поверхности ледника Бабргузар (Зулмарт), основанный на данных аэрофотосъёмки, полученной с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На основе цифровой модели рельефа были рассчитаны ключевые морфометрические параметры, отражающие пространственную структуру ледниковой поверхности: уклон, экспозиция, суммарная солнечная радиация, кривизна и характеристики гидрологического стока. С применением метода многокритериального взвешенного наложения выполнена интеграция этих факторов в единую карту пригодности поверхности. Полученная модель выявила закономерное распределение зон аккумуляционного потенциала и участков с повышенной абляцией, подчёркивая влияние локальной морфометрии на современные процессы на леднике. Результаты подтверждают эффективность использования высокоточных данных БПЛА для детального картографирования гляциальных поверхностей.

Ключевые слова: ледник Бабргузар (Зулмарт), морфометрический анализ, БПЛА (UAV), Цифровая модель рельефа (ЦМР), Взвешенное наложение (Weighted Overlay), ГИС-моделирование.

Введение

Ледники высокогорных регионов являются важными элементами криосферы и ключевым компонентом водного баланса горных территорий [1].

Их состояние чувствительно к колебаниям температур, распределению твёрдых осадков и интенсивности солнечной радиации, что делает их надёжными индикаторами климатических изменений [2, 3,4].

В Памире за последние десятилетия наблюдается устойчивое сокращение ледникового покрова, что подтверждается международными исследованиями [5, 6, 7,8]. Эти изменения напрямую отражаются на водных ресурсах региона и экосистемных процессах. На территории Таджикистана, где ледники обеспечивают значительную часть годового стока рек, мониторинг оледенения приобретает особую значимость.

Современные методы дистанционного зондирования, особенно высокоточная аэрофотосъёмка с БПЛА, позволяют получать детальные цифровые модели рельефа, которые служат основой

для анализа морфометрии ледников [9,10]. Интеграция DEM с инструментами ГИС расширяет возможности оценки влияния солнечной радиации, уклонов и гидрологических сетей на динамику ледниковых процессов.

Цель данной работы - выполнить комплексный морфометрический анализ поверхности ледника Бабргузар (Зулмарт) и построить карту его пространственной пригодности, отражающую влияние уклона, экспозиции, радиации и гидрологических характеристик на условия аккумуляции и абляции.

1. Район исследования

Ледник Бабргузар расположен в восточной части Памира - регионе, где современные исследования фиксируют ускоренные климатические изменения и сокращение ледников [11,12]. Для района характерны низкие температуры, малый объём осадков и существенная роль ветрового перераспределения снега.

Высоты в пределах ледника варьируют от 4600 до 5500 м, что приводит к выраженной вертикальной зональности.

Верхняя аккумуляционная часть отличается сглаженными формами, тогда как нижняя зона характеризуется расчленённым рельефом, трещинами и активным поверхностным стоком. Южные склоны подвергаются значительной солнечной инсоляции, что усиливает процессы абляции.

Ледник входит в бассейн озера Каракуль и участвует в формировании сезонного стока местных водотоков. Сложные ландшафтные условия и труднодоступность делают применение дистанционных методов основным подходом к его изучению.



Рисунок 1. Ледник Бабругзар (Зулмарт) (Снимок с Google Earth Pro).

2. Методы

Методическая основа исследования базируется на комплексном подходе, сочетающем детальный морфометрический анализ цифровой модели рельефа (DEM) с последующим многокритериальным геоинформационным моделированием.

Основная цель данного блока состояла в разработке единой интегральной модели, способной оценить пространственные различия в процессах аккумуляции,

таяния и локальной динамики ледниковой поверхности.

2.1. Исходные данные и подготовительные операции

Цифровая модель рельефа (DEM) была создана в ПО Metashape на основе высокоточных аэрофотоснимков БПЛА. DEM была приведена к единой системе координат, отфильтрована и проверена на артефакты, что обеспечило корректность дальнейших расчётов.

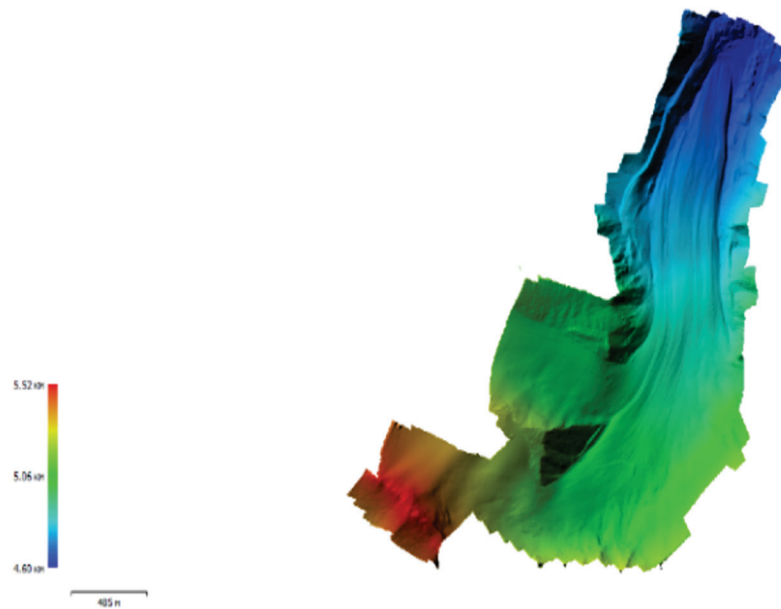


Рисунок 2. Цифровая модель местности (DEM) после сглаживания незначительных артефактов методом фильтрации низких пространственных частот, выполненного в программе фотограмметрической реконструкции.

2.2. Расчет экспозиции склонов (Aspect)

Экспозиция определена с использованием инструмента Arcgis(10.5) и переклассифицирована в укрупнённые

направления. Северные экспозиции рассматривались как потенциально аккумуляционные.

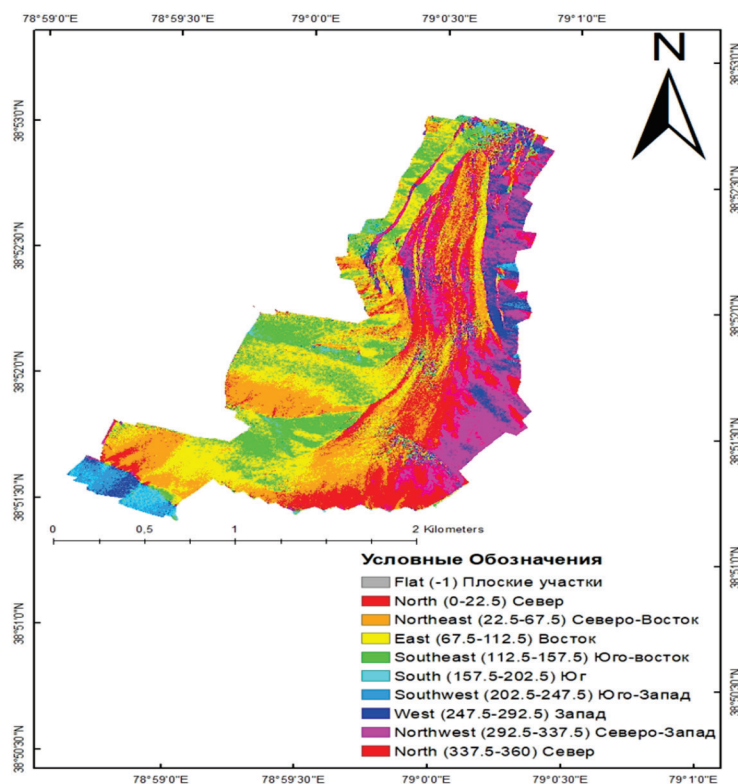


Рисунок 3. Карта экспозиции ледника, построенная по данным цифровой модели местности (DEM). Цветовая шкала указывает направление склонов в градусах (север – синий, юг – зеленый, восток – желтый, запад – темно-синий).

2.3. Кривизна поверхности (Curvature)

Параметр кривизны использован для выявления участков, способствующих накоплению или рассеиванию поверх-

ностного стока. Вогнутые участки интерпретировались как аккумуляционные, выпуклые - как зоны стока.

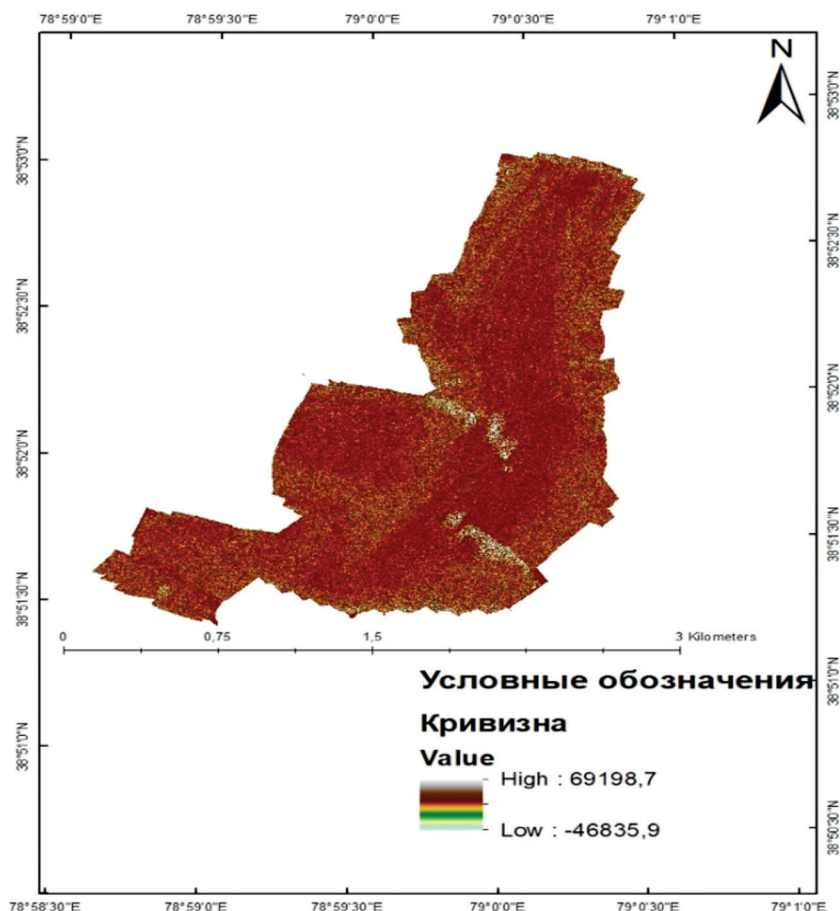


Рисунок 4. На карте синим цветом выделены вогнутые формы рельефа (участки конвергенции стока и потенциального накопления снега), красным цветом — выпуклые формы (гребни и выступы, подверженные интенсивной абляции), серым (или белым) цветом — участки с нулевой или близкой к ней кривизной.

2.4. Уклон поверхности (Slope)

Уклон рассчитан в градусах и разделён на классы, отражающие динамику стока талых вод. Пологие склоны соответствуют стабильным зонам, крутым - зонам активной абляции.

- Зеленые оттенки: Участки с минимальным уклоном (от 0 до примерно 15 градусов). Это могут быть плоские вершины, ледниковые плато или широкие долины.

- Желтые и оранжевые оттенки: Участки со средним уклоном (от 15 до примерно 40 градусов).
- Красные оттенки: Участки с максимальным уклоном (более 40 градусов, вплоть до 88.15 градусов). Это самые крутые склоны и обрывы на исследуемой территории.)

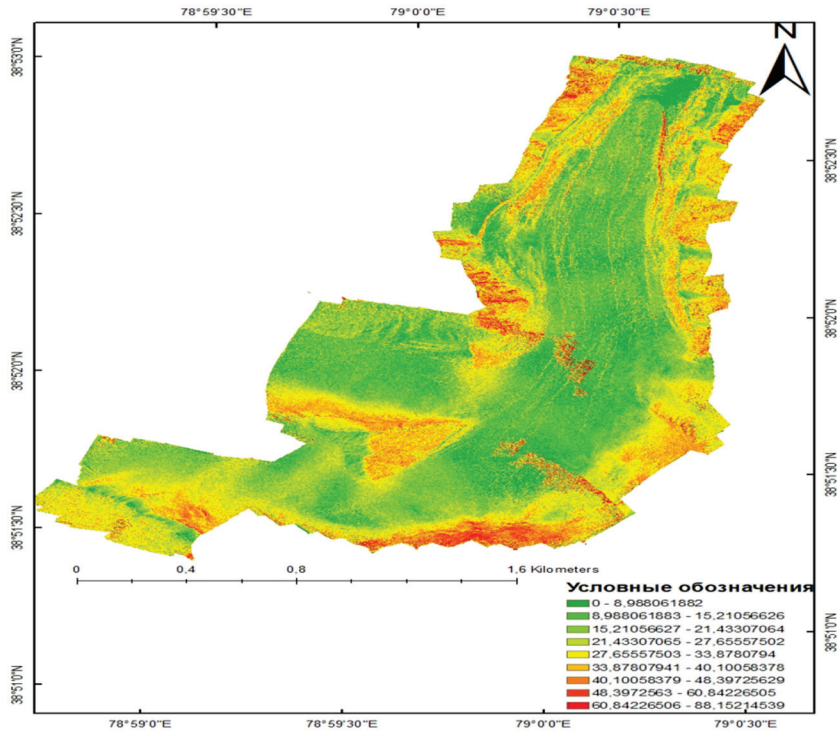


Рисунок 5. Карта уклонов поверхности ледника, построенная по данным цифровой модели местности (DEM). Цветовая шкала указывает угол наклона поверхности в градусах (от 0° до >60°).

2.5. Солнечная радиация

Радиационная модель построена с учётом рельефных теней и сезонных параме-

тров солнечного освещения. Этот показатель - важный критерий таяния льда [12].

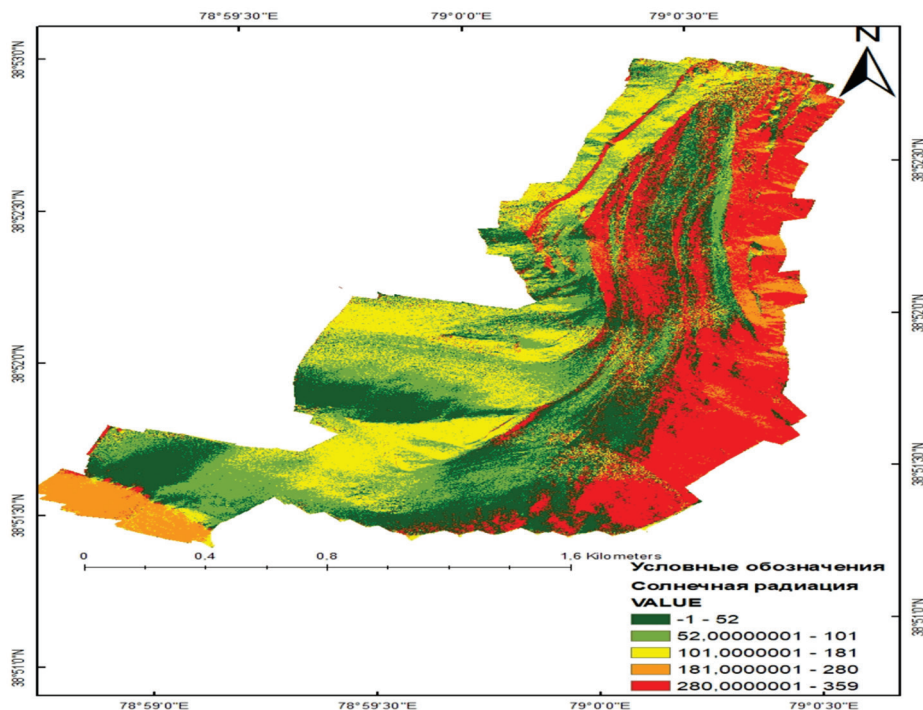


Рисунок 6. Карта суммарной солнечной радиации на поверхность ледника. Цветовая шкала указывает интенсивность радиации (VALUE) в диапазоне от низких значений (зеленый) до высоких (красный).

2.6. Гидрологические характеристики

С помощью Flow Direction и Flow Accumulation были смоделированы направления и концентрации потоков та-

лых вод. Это важно для понимания формирования поверхностных каналов и зон задержки воды.

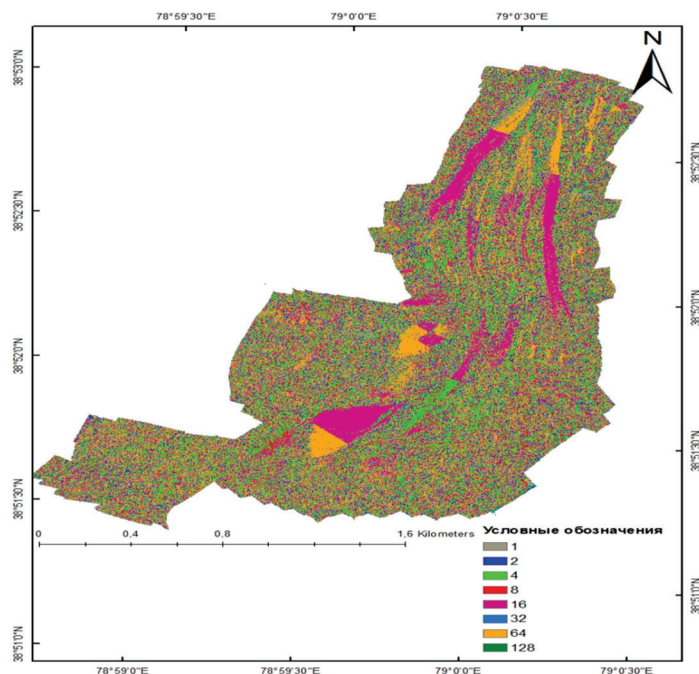


Рисунок 7. Карта гидрологической модели направлений стока воды ледника. Условные обозначения (1-128) представляют собой дискретные коды, используемые в ГИС-анализе для определения пути стока осадков и талых вод по поверхности рельефа.

2.7. Многокритериальная интеграция (Weighted Overlay)

Для объединения всех параметров была использована методика взвешенно-

го наложения. Наибольшие веса получили уклон и солнечная радиация, поскольку они сильнее всего влияют на абляцию.

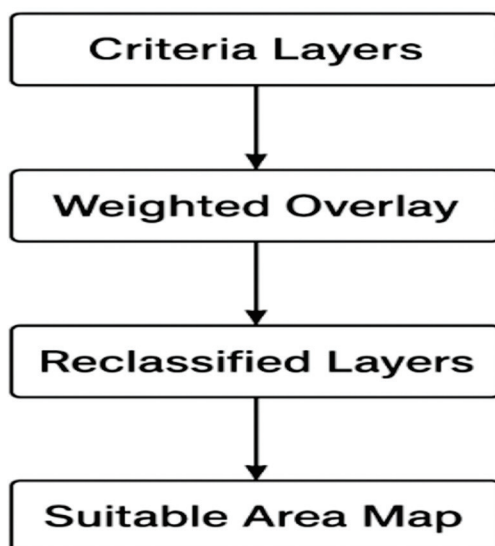


Рисунок 8. Алгоритм выполнения операции взвешенного наложения (Weighted Overlay) в программном обеспечении Arcgis (10.5) Показана последовательность от входных данных (Criteria Layers) до итогового картографического продукта (Suitable Area Map).

2.8. Карта пригодности

Финальным этапом стала интеграция всех реклассифицированных параметров в единую карту пригодности. Для этого использовался инструмент *Weighted Overlay*, где каждому фактору был присвоен весовой коэффициент.

Весовые коэффициенты распределялись с учетом их значимости: уклон и

солнечная радиация были признаны наиболее значимыми, а сток, экспозиция и кривизна имели меньший вес. Суммарная оценка дала итоговый растр, отражающий пространственные различия условий на поверхности ледника (9,10). Для повышения точности результат был обрезан по границе ледника

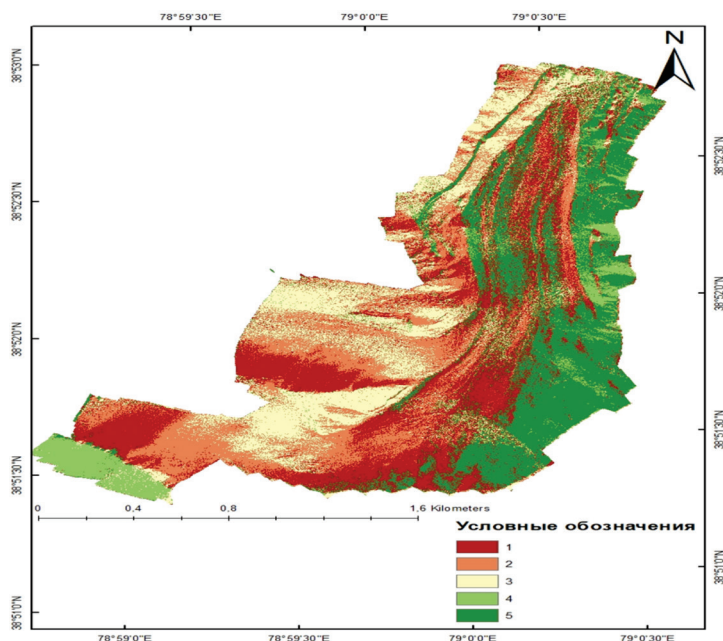


Рисунок 9. Карта пространственной оценки территории ледника, полученная с помощью инструмента "Взвешенное наложение" (*Weighted Overlay*).

Цветовая шкала (от 1 до 5) отражает итоговый индекс оценки, где 1 - наименьшая оценка (красный), 5 - наибольшая оценка (зеленый).

2.9. Количественная оценка распределения классов пригодности

Для перехода к количественной оценке площадей, занятых каждым классом пригодности, результирующий растровый слой был конвертирован в полиго-

нальный формат с помощью инструмента «Растр в полигоны». В атрибутивной таблице агрегирована статистическая информация по каждому уникальному классу.

Таблица 1. Статистика площадей для каждого класса пригодности.

OID	gridcode	Count gridcode	Sum Shape Area
0	1	412092	902729,109781
1	2	418408	890497,296562
2	3	257682	595838,792136
3	4	181191	263516,517336
4	5	202150	984330,499279

3. Результат исследования

Построенная интегральная карта пригодности поверхности ледника демонстрирует выраженную неоднородность морфометрических условий, определяющих современные процессы перераспределения снега, таяния и концентрации талых вод. На итоговом растре чётко выделяются несколько зон, различающихся по степени потенциальной устойчивости и характеру взаимодействия с внешними факторами.

Наиболее благоприятные условия (класс 5), представленные на карте зелёными тонами, сосредоточены преимущественно на относительно пологих участках ледника и в областях с северной и северо-восточной экспозицией. Эти территории характеризуются пониженным уровнем солнечной радиации и менее выраженной динамикой поверхностного стока. Подобная комбинация факторов указывает на вероятное преобладание аккумуляционных процессов либо, по крайней мере, на относительно слабую интенсивность абляции в течение сезона таяния.

Противоположная картина наблюдается в зонах, отнесённых к наиболее

неблагоприятным классам (1–2), окрашенных в красные тона. Эти участки совпадают с крутыми склонами и южными или юго-западными экспозициями, получающими максимальную суммарную солнечную радиацию. Кроме того, здесь фиксируются высокие значения аккумуляции стока, что свидетельствует о концентрации талой воды и вероятности формирования временных русел либо локальных эрозионных форм на поверхности. На таких элементах рельефа условия для сохранения снежного покрова заметно хуже, что делает их потенциальными зонами активной абляции.

Интересным аспектом является пространственное распределение участков со средней степенью пригодности (классы 3–4). Они формируют переходную полосу между стабильными и динамически активными зонами ледника. Эти территории представляют собой сочетание умеренных уклонов и экспозиций, а также вариативных значений кривизны. Вероятно, именно здесь происходит наиболее активное перераспределение снега в начале сезона таяния, что отражает их роль в формировании структуры поверхностного стока.

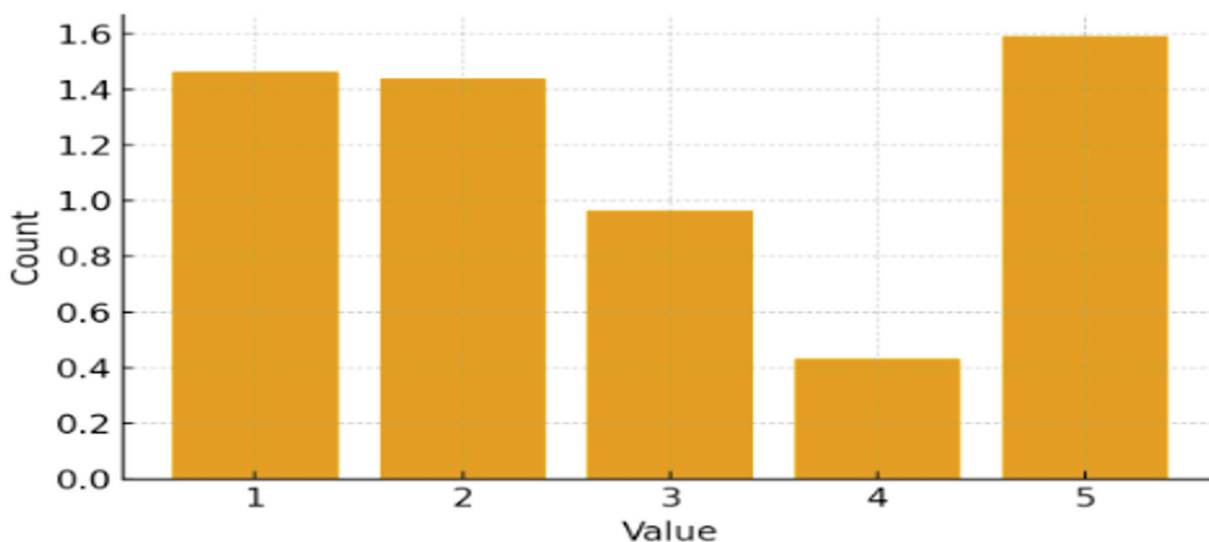


Рисунок 10. Распределение количества пикселей (Count) по пяти итоговым классам оценки (Value от 1 до 5). График иллюстрирует долю площади ледника, относящуюся к каждому классу пригодности/опасности.

Сопоставление карты пригодности с морфологией ледника показывает, что результаты анализа хорошо согласуются с наблюдаемыми элементами рельефа. Пологие аккумуляционные зоны в верхней части ледника демонстрируют высокие значения пригодности, тогда как центральный и нижний абляционный пояс характеризуется преимущественным развитием неблагоприятных классов. Это подтверждает корректность выбранного подхода и обоснованность включённых морфометрических параметров.

Таким образом, полученная модель позволяет не только выделить участки с различной динамической напряжённостью, но и установить взаимосвязь между рельефными характеристиками и современными процессами на поверхности ледника. Комбинация уклона, экспозиции, солнечной радиации, кривизны и гидрологических параметров формирует устойчивую картину пространственной изменчивости условий, ключевую для дальнейших исследований динамики ледниковых систем.

4. Обсуждение результатов

Выявленные закономерности хорошо согласуются с классической структурой горных ледников, где северные склоны играют роль аккумуляционных зон, а южные - зон интенсивной абляции. Полученная модель подтверждает, что морфометрические параметры оказывают ключевое влияние на распределение областей таяния и накопления.

Применение метода *Weighted Overlay* показало свою эффективность при интеграции разнородных геопространственных данных. Высокоточные DEM, полученные с БПЛА, дают возможность детально анализировать даже мелкие элементы рельефа, ранее трудные для картографирования.

Итоговая карта пригодности поверхности ледника демонстрирует ярко выра-

женную пространственную дифференциацию.

- Зона высокой пригодности (класс 5) располагается на пологих северных склонах с минимальной инсоляцией. Эти участки соответствуют аккумуляционным зонам, известным по предыдущим исследованиям ледников Памира [12].
- Зоны низкой пригодности (классы 1–2) совпадают с южными крутыми склонами, где наблюдается максимальный приход солнечной радиации и интенсивный сток.
- Переходные классы (3–4) формируют пояс умеренной динамики и отражают сочетание средних уклонов и вариативной кривизны.

Сопоставление результатов с фактической морфологией ледника подтверждает корректность использованного подхода.

Выводы

Использование беспилотного летательного аппарата (БПЛА) позволило получить данные с пространственным разрешением 24.8 см/пикс. На их основе была построена высокоточная цифровая модель рельефа (ЦМР), что обеспечило детальный расчет морфометрических параметров (уклона, экспозиции и кривизны) и позволило выявить микроформы рельефа ледника Бабргузар, которые не фиксируются спутниковыми снимками среднего разрешения.

На поверхности ледника отчётливо выделяются аккумуляционные зоны на северных пологих склонах и абляционные зоны на южных крутых участках.

1. Морфометрические параметры - уклон, экспозиция, радиация и кривизна являются ключевыми факторами пространственной изменчивости ледника.

2. Метод многокритериального анализа (*Weighted Overlay*) позволил получить интегральную оценку условий стабильности ледяной массы.

3. Данные БПЛА доказали высокую эффективность для детального анализа состояния ледников в труднодоступных районах Памира.

Литература

1. Котляков В. М. Избранные труды. Кн.1. Гляциология. – М.: Наука, 2000. – 688 с.
2. Immerzeel W. W., van Beek L. P. H., Bierkens M. F. P. Importance and vulnerability of the world's water towers // Nature. – 2020. – Vol. 577, No. 7790. – P. 364–369.
3. Kapitsa V., et al. Assessment of glacier surface evolution using high-resolution UAV photogrammetry // Journal of Mountain Science. – 2020. – Vol. 17. – P. 2355–2371.
4. Курбонов, Н.Б. Использование математического выражения, для определения объема и толщины ледников Кызылкул и Дидал бассейна реки Сурхоб, в результате последствия изменения климата // Земледелец. – 2023. – Т.99. – №2. – С.184-191. – EDN UHRGMD (на тадж. яз.).
5. Gardelle J., Berthier E., Arnaud Y., Kääb A. Region-wide glacier mass balances over the Pamir-Karakoram-Himalaya from 1999 to 2011 // The Cryosphere. – 2013. – Vol. 7, No. 4. – P. 1263–1286.
6. Farinotti D., Longuevergne L., Moholdt I., et al. Glacier decline in the Pamir as revealed from satellite and in situ data // Nature Communications. – 2015. – Vol. 6. – Article 8023.
7. О зависимости движения ледника медвежий от изменения метеорологических параметров / Н.Б. Курбон, Т.М. Чурабеков, Ф.Д. Шарифов, Б.М. Боев // Ледники Таджикистана – источник водных ресурсов Центральной Азии в условиях изменения климата: Международная научно-практическая конференция, посвященная Международному году сохранения ледников, 2025 г. и Международному дню сохранения ледников, 14-15 марта 2025 г. - С.92-101. – EDN EKHRVN (на тадж. яз.).
8. Kääb A., Linsbauer M., Altena B. Quiescent phase glacier velocities and thinning rates in the Pamir Mountains, Central Asia // The Cryosphere. – 2018. – Vol.12, No.4. – P.1321-1334.
9. Heid T., Kääb A. Worldwide glacier velocities derived from optical satellite data // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol.121. – P.393-404.
10. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature // International Journal of Geographical Information Science. – 2006. – Vol.20, No.7. – P.703–726.
11. Eastman J. R., Jones P. A. K. K. GIS and Decision Making // GIS, Spatial Analysis and Remote Sensing. – 2016. – P.195–216.
12. Mayer C., et al. Glaciological characteristics of the Fedchenko Glacier, Pamir // Annals of Glaciology. – 2004. – Vol. 39. – P.103–110.
13. Pohl E., Knoche C., Gloaguen R., et al. In-situ measurements of glaciers in the Pamir Mountains, Tajikistan // Journal of Glaciology. – 2017. – Vol. 63. – P.1–18.

ТАҲЛИЛИ МОРФОМЕТРИИ САТҲИ ПИРЯХИ БАБРГУЗАР ДАР АСОСИ МАЪЛУМОТИ АКСҶОИ МОҶВОРАИИ САТҲИ БАЛАНД

Муслимов К.^{1,*}, Убайдуллоев У.Р.¹, Кабутов Х.Қ.¹

¹Муассисаи давлатии илмии Маркази омӯзиши пирияхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
*Муаллифи масъул. E-mail: muslimov.cryos@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар мақола таҳлили морфометрии сатҳи пирияхи Бабргузар (Зулмарт) дар асоси модели рақамии релйеф (DEM), ки тавассути Ҳавопаймои бесернишин ба даст оварда шудааст, пешниҳод мегардад. Нишондодҳои асосӣ ба монанди релйеф, нишебӣ, мавқеи ҷойгиршавӣ, хамиш, радиатсияи офтоб ва самтҳои ҷараёни об бо истифода аз имконоти Гео-иттилоотӣ натиҷагирӣ карда шуданд. Ҳамаи натиҷаҳои ҳосилшуда тавассути усули Weighted Overlay ба як модели ягона ҳамгиро карда шуданд. Харитаи ниҳоии баҳодиҳии ҳолати аккумулятсионӣ ва қитъаҳои ба аблятсияи фаъол дучоришуда тартиб дода шуд. Ин модел метавонад ҳамчун асос барои мониторинги минбаъдаи динамикаи пирияхҳо ва арзёбии устувории онҳо дар шароити тағйирёбии иқлим хизмат намояд.

Калидвожаҳо: Пирияхи Бабргузар (Зулмарт), морфометрия, модели рақамии релйеф (DEM), аксбардори ҳавоӣ, ҳаврпаймои бесарнишин, нишебӣ, экспозитсия, қачи сатҳ, радиатсияи офтобӣ, таҳлили гидрологӣ, ҷараёни сатҳ.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE BABRGUZAR GLACIER SURFACE USING HIGH-RESOLUTION AERIAL PHOTOGRAPHY DATA

Muslimov K.^{1,*}, Ubaydullov U.R.¹, Kabutov Kh.Q.¹

¹State Scientific Institution Center for the Study of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: muslimov.cryos@gmail.com

Abstract. This study aims to identify and spatially differentiate zones of morphological stability (accumulation) and potential risk (ablation) on the Babrguzar (Zulmart) glacier surface. The analysis utilized high-precision data obtained from aerial photography via an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The research relies on a comprehensive Geographic Information System (GIS) analysis, including the calculation of several morphometric parameters: slope, aspect, curvature, and detailed modeling of incoming solar radiation. The Multi-Criteria Weighted Overlay method was applied to integrate these diverse factors. Modeling results established a clear zonal differentiation of the glacier: accumulation areas are predominantly concentrated on gentle northern slopes, whereas active melting zones coincide with steep, high-insolation southern slopes. The resulting quantitative distribution of suitability classes confirms that local surface morphology is a key regulator of the glacier's mass balance.

Keywords: Zulmart (Babrguzar) Glacier; Morphometric analysis; UAV; Digital Elevation Model (DEM); Weighted Overlay; GIS modeling;

Маълумот оид ба муаллифон: Муслимов Кадыр Каримович – лаборанти калони Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пирахҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон», Тел: +992905051564; E-mail muslimov.cryos@gmail.com; Убайдуллоев Убайдулло Равшанович – ходими калони илмии Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пирахҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон», Тел: +992200000946; E-mail ubaydullov80@gmail.com; Кабутов Хусрав Курбонҷонович – мудири шуъбаи мониторинги пирахҳои криосфера гляциология ва ГИС-технологияи Маркази омӯзиши пирахҳои АМИТ, Тел.: 934538084, E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com.

Сведения об авторах: Муслимов Кадыр Каримович – старший лаборант Государственного научного учреждения Центра изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана, Тел: +992905051564; E-mail muslimov.cryos@gmail.com; Убайдуллоев Убайдулло Равшанович - старший научный сотрудник Государственного научного учреждения Центра изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана Тел: +992200000946, E-mail ubaydullov80@gmail.com. Кабутов Хусрав Курбонҷонович – заведующий отделом мониторинга ледников, криосферы, гляциологии и ГИС-технологий Центра изучения ледников НАНТ, Тел.: 934538084, E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com.

Information about the authors: Muslimov Kadyr Karimovich – Senior Laboratory Technician Centre for Glacier Study of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Tel +992905051564; E-mail muslimov.cryos@gmail.com; Ubaydullov Ubaydullo Ravshanovich – Senior Scientific Researcher Centre for Glacier Study of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel: +992200000946, E-mail ubaydullov80@gmail.com; Kabutov Khusrav Kurbonjonovich – Head of Department for Monitoring glaciers, Cryosphere, Glaciology and GIS technology Center for Research of Glaciers of the NAST» Tel.: 934538084, E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com.

АРЗЁБИИ ДИНАМИКАИ АЛБЕДО БА МУҲИТИ КРИОСФЕРА ДАР ШАРОИТИ ТАҒЙИРЁБИИ ИҚЛИМ (ДАР МИСОЛИ ТОЧИКИСТОН)

Насруллоев Ф.Х.^{1*}, Гулаҳмадзода А.А.¹, Парвизи Ҳ.¹,
Изатуллозода Р.Х.¹, Муродова С.А.¹

¹Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: farhadnasrullo@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар мақолаи мазкур динамикаи тағйирёбии албедро сатҳи пирияхҳо, ки яке аз нишондиҳандаҳои асосии криосферӣ дар шароити тағйирёбии иқлим дар Тоҷикистон баррасӣ мешавад. Алbedo дар тавозуни энергияи пирияхҳо нақши калидӣ мебошад ва мустақиман ба равандҳои коҳиш ё ба тавозуни массаи онҳо таъсир мерасонад. Маълумоти моҳвораии MODIS (MOD10A1 ва MYD10A1) барои давраи солҳои 2000-2025 барои таҳлили тағйироти фазой-вақтӣ дар албедро сатҳи пирияхҳо истифода шуданд. Ҳисобҳо асосан барои давраи аблятсия (июн - август) гузаронида шуданд ва бо истифода аз платформаи Google Earth Engine ва нармафзори ArcGIS 10.5 коркард шуданд. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки дар ду даҳсолаи охир тамоюли настравиши устувори албедро сатҳи пирияхҳо дар минтақаҳои баландкӯҳи Тоҷикистон, бахусус дар Помир ва қаторкӯҳҳои Ҳисор-Олай мушоҳида шудааст. Ин раванд бо баланд шудани ҳарорати ҳаво, кам шудани боришот ва афзоиши миқдори омехтаҳои нурфурубаранда дар сатҳи пирияхҳо зич алоқаманд аст. Кам шудани нишондиҳандаи алbedo, ки боиси афзоиши фурубарии радиатсияи офтоб мегардад, ин раванд суръати обшавии пирияхҳо зиёд менамояд. Натиҷаҳои бадастомада аҳамияти муҳими илмӣ ва амалӣ доранд ва метавонанд барои арзёбии устувори захираҳои об ва банақшагирии мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим дар Тоҷикистон истифода шаванд.

Калидвожаҳо: криосфера, пирияхҳо, албедро сатҳӣ, тағйирёбии иқлим, таҳқиқоти фосилавӣ, MODIS, Тоҷикистон.

Муқаддима

Криосфераи ҷаҳонӣ барф, яхҳои дарё ва кӯлҳо, яхи баҳр, пирияхҳо, қабатҳои ях ва яхбандии доимиро дар бар мегирад. Пирияхҳо яке аз қисмҳои муҳими криосфера мебошанд ва дар шароити гармшавии иқлим онҳо дар саросари ҷаҳон коҳиш меёбанд. Бузургтарин пирияхҳои кӯҳӣ дар арзҳои миёна ва пасти ҷаҳон дар минтақаи баландкӯҳҳои Осиё, аз ҷумла дар Тоҷикистон, ҷойгиранд ва ҳамчун «манораи обӣ»-и муҳим хизмат мекунанд. Ҳавзаи дарёи Аму, ки бузургтарин дарё дар Осиёи Марказӣ мебошад, зиёда аз 40 миллион аҳолии ҷумҳуриҳои дар ин ҳавза воқеъбударо бо об таъмин менамояд, ки он барои кишоварзӣ, энергетика ва дигар эҳтиёҷот истифода мешавад. Сарчашмаи асосии оби ин дарё оби пирияхҳо мебошад, ки дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон воқеъ шудаанд ва дар натиҷаи обшавии онҳо дар шароити гармшавии иқлим ташаккул меёбад [1-5].

Дар шароити гармшавии глобалӣ пирияхҳои Осиёи Марказӣ, аз ҷумла пирияхҳои Тоҷикистон, тағйироти назаррасро аз сармегузаронанд: масоҳати пирияхҳо коҳиш ёфта истодааст ва тавозуни массаи онҳо аз соли 2000 инҷониб кам мегардад. Ин раванд ба амнияти обии минтақа таҳдид намуда, захираҳои криосфераро коҳиш медиҳад, равандҳои гидрологиро тағйир дода, ба устувори захираҳои об таъсири манфӣ мерасонад [6-8].

Албедро сатҳи пириях яке аз параметрҳои муҳим дар соҳаи пирияхшиносӣ мебошад. Алbedo бузургииест, ки хусусияти инъикос ё парокандашавии радиатсияро аз сатҳи ҷисм тавсиф мекунад ва аз калимаи латинӣ гирифта шуда, таносуби қисми радиатсияи афтандаро, ки аз ҷониби сатҳи ҷисм инъикос мегардад, ифода менамояд. Якчанд намуди алbedo мавҷуд аст, аз ҷумла албедро ҳақиқӣ ё албедро ламбертианӣ, ки ба инъикоси паҳншуда мувофиқат мекунад ва таносуби ҷараёни радиатсияи парокандашуда аз унсури

сатҳи ҳамвор дар ҳамаи самтҳо ба чараёни радиатсияи афтанда мебошад.

Агар сатҳ дар ҳолати равшании амудӣ мушоҳида карда шавад, ин навъи албедо ҳамчун албедеи ҳақиқӣ (муқаррарӣ) муайян мегардад. Дар муқоиса бо дигар сатҳҳои табиӣ, албедеи муқаррарии барф ва ях хеле баланд аст: албедеи барфи тоза тақрибан 1,0, албедеи барфи дондор одатан дар ҳудуди 0,4 - 0,6 ва албедеи ангиштсанг тақрибан 0,04 мебошад. Қимати албеде аз спектри радиатсияи афтанда ва хосиятҳои физикии сатҳ вобастагӣ дорад. Аз ин рӯ, албеде барои минтақаҳои гуногуни спектрӣ (оптикӣ, ультрабунафш, инфрасурх), зерминтақаҳо (визуалӣ, аксбардорӣ) ва ҳатто барои дарозии мавҷҳои алоҳида (албедеи монохроматӣ) ҷудогона чен карда мешавад [9-11].

Албедеи сатҳи пирах ин таносуби радиатсияи кӯтоҳмавҷи офтобии воридшаванда ба радиатсияи инъикосшуда мебошад. Ин параметр мувозинати энергетикӣ сатҳи пирахро муайян мекунад ва омили муҳиме мебошад, ки ба обшавии он таъсир мерасонад, хусусан дар минтақаҳое, ки пирахҳои кӯҳӣ васеъ паҳн шудаанд [12,13]. Одатан барои муайян кардани албедеи сатҳи пирахҳо ду усул истифода мешаванд: мушоҳидаҳои саҳроӣ ва таҳқиқоти фосилавӣ [14-16].

Маълумоти моҳвораҳои MODIS ва Landsat маҷмӯаҳои асосии додаҳо ба шумор мераванд, ки аксар вақт барои ҳисоб кардани албедеи ҳам пирахҳои алоҳида ва ҳам минтақаҳои калони яхбандӣ истифода мешаванд. Ин маълумот имкон медиҳад, ки тамоюлҳои дарозмуддати албеде муайян карда шаванд. Таҳқиқотҳо нишон медиҳанд, ки коҳиши албеде метавонад аз 30% то 60% ба равандҳои обшавии пирахҳо дар минтақаи баландкӯҳҳои Осиё, аз ҷумла Тоҷикистон, таъсир расонад ва инчунин боиси босуръат кам шудани тавозуни массаи пирахҳо гардад.

Омилҳое, ки ба тағйирёбии албедеи пирахҳо таъсир мерасонанд, одатан инҳо-

янд: ҳарорати ҳаво, боришоти атмосферӣ ва мавҷудияти омехтаҳои рӯшноифурӯбаранда (карбони сиёҳ, чанг, карбони органикӣ). Дар минтақаҳои баландкӯҳ ҳарорати пасттар аксар вақт боиси боришот дар шакли барф мегардад, ки ба мубодилаи энергия байни пирах ва атмосфера таъсир мерасонад. Баъзе таҳқиқотҳо нишон медиҳанд, ки бо гармшавии иқлим барфи тобистона метавонад бо борон иваз гардад ва коҳиши бориши барф боиси паст шудани албедеи пирахҳо мешавад [13, 16-19].

Барои омӯхтани тақсимои фазоии тамоюлҳои тағйирёбии албедеи пирахҳо асосан усулҳои анъанавии омӯрӣ, аз ҷумла таҳлили регрессия, истифода мешаванд. Бо вучуди ин, чунин усулҳо масъалаҳои бисёрколлинеарӣ ва хусусиятҳои тақсимои фазоии маълумотро ба таври кофӣ ба назар намегиранд. Дар айни замон моделҳои физикии атмосфера асосан ба таҳлили таъсири карбони сиёҳ ва чангҳо равона шудаанд [13].

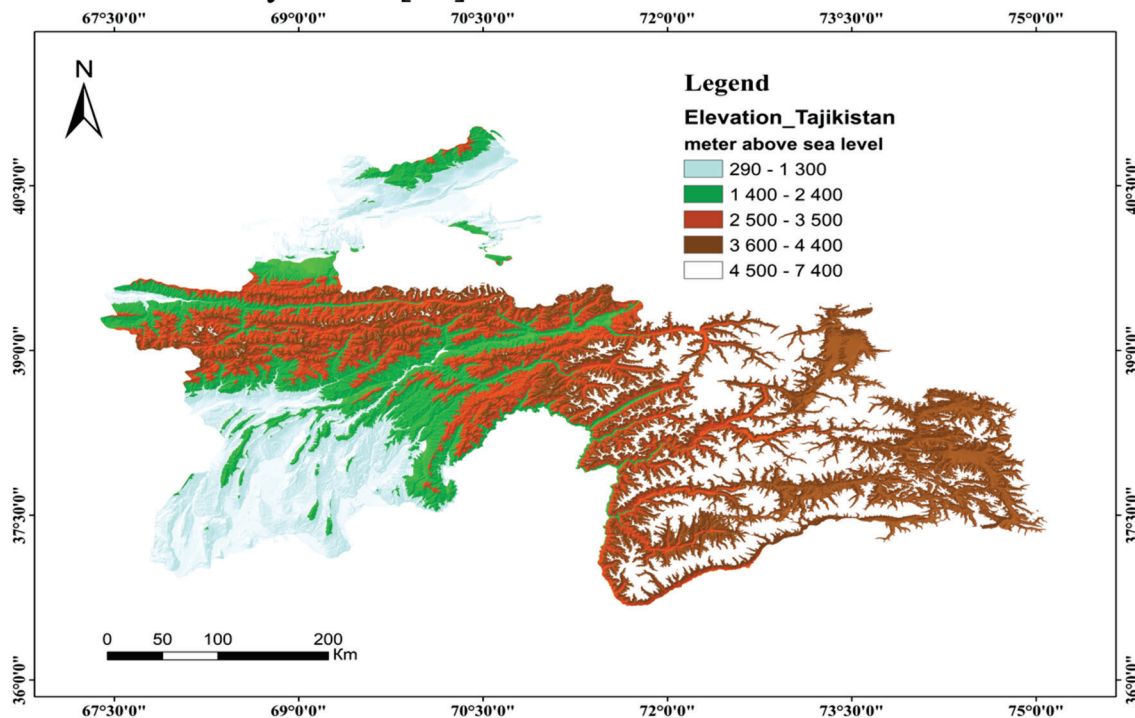
Ҳадаф ва мақсади ин таҳқиқот омӯзиши адабиёти илмӣ вобаста ба таъсири коҳишёбии албеде ба тағйирёбии пирахҳо, таҳлили маълумоти иқлимӣ ва тақсимои фазоии тағйирёбии албедеи пирахҳо дар давраи солҳои 2000-2025 мебошад. Барои расидан ба ин мақсад, тақсимои фазоии тамоюлҳои тағйирёбии албедеи пирахҳо дар солҳои 2000 - 2025 бо истифода аз маълумоти барфии моҳвораи MODIS дар пирахҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳисоб карда шуд.

Минтақаи тадқиқот

Тоҷикистон дар шимол бо Қирғизистон, дар ғарб бо Ўзбекистон, дар ҷануб бо Афғонистон ва дар шарқ бо Чин ҳамсарҳад мебошад. Масоҳати кишвар 141379 ҳаз. км²-ро ташкил медиҳад. Релефи он асосан кӯҳӣ буда, тақрибан 93 % масоҳати умумиро кӯҳҳо ташкил медиҳанд ва қариб нисфи он аз баландии 3000 м болотар аз сатҳи баҳр ҷойгир аст (расми 1). Релефи кишварро асосан пуштакуҳҳои Помир

ташкил медиҳанд, ки дар қисми ҷанубу шарқ баланд буда, ба самти ҷанубу ғарб тадричан паст мешаванд. Пиряхҳои Тоҷи-

кистон асосан дар пуштакуҳҳои Помир ва кӯҳҳои Помир - Олой паҳн шудаанд [11].



Расми 1. Харитаи тақсимои релефи Тоҷикистон.

Тоҷикистон иқлими континенталии маъмулӣ дорад, ки бо тағйироти калон дар ҳарорат, намӣ ва дигар параметрҳои метеорологӣ дар мавсимҳо ва шабона-рӯзҳо тавсиф мешавад.

Мавод ва усулҳо

Коҳишҳои албедаи сатҳи пиряхҳо ба тавозуни масса ва камшавии масоҳати пиряхҳо таъсири манфӣ мерасонад. Дар ин мақола барои ба даст овардани албедаи солони сатҳи пиряхҳои Тоҷикистон ва таҳлили тағйирпазирии он дар фасли тобистона (моҳҳои июн–август) аз маҷмӯи маълумоти ҳармоҳаи албедаи сатҳи пирях истифода шуд. Ин маълумот аз спектрометри тасвирии миёнаҳаҷм (MODIS)/Terra (MOD10A1) ва MODIS/Aqua (MYD10A1) Snow Cover Daily L3 Global 500 m SIN (Sinusoidal) Grid барои давраи аблиятсия аз соли 2000 то 2025 гирифта шудаанд. Ҳамзамон, маълумоти ҳаррӯзаи албедаи барф бо дақиқии 500 м истифода гардидааст. Ин маълумотҳо

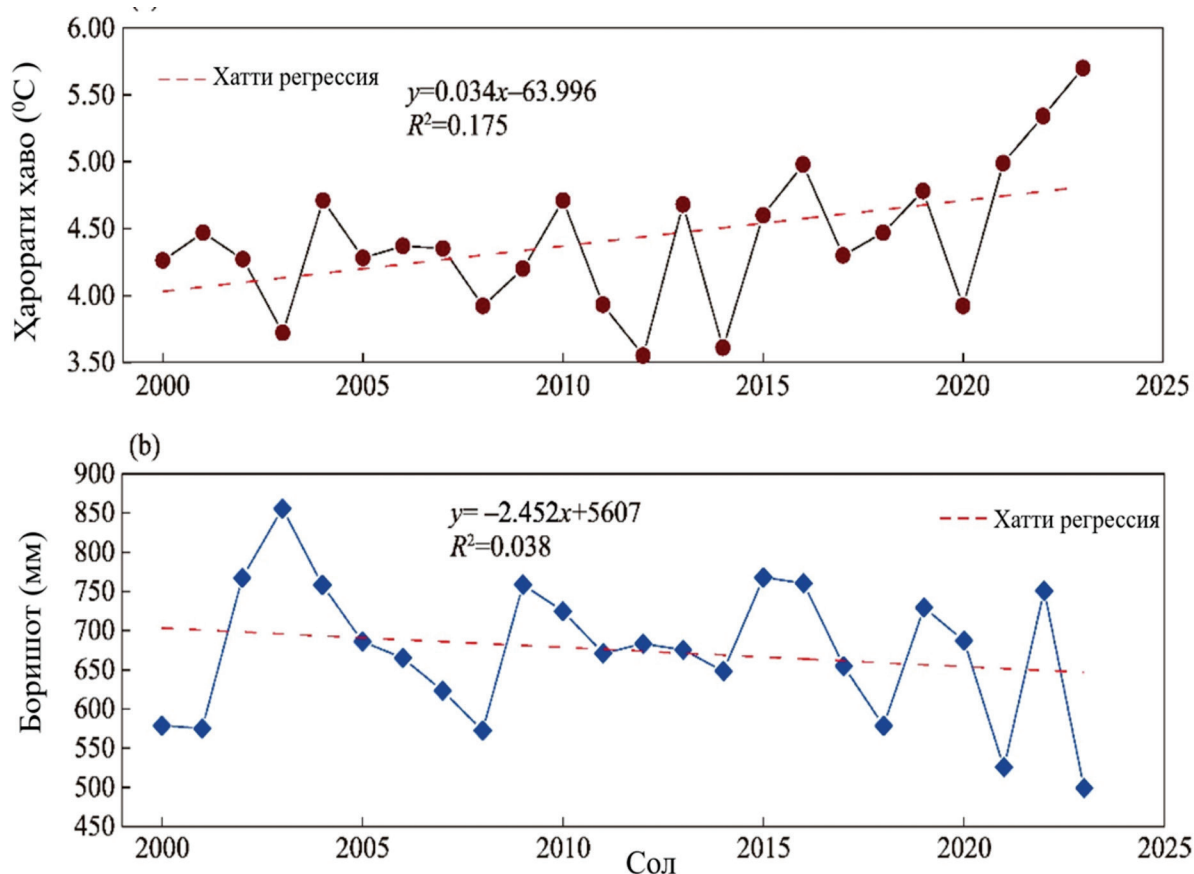
дар Маркази миллии додаҳои платои Тибет дастрас буда, дар платформаи Google Earth Engine ба даст оварда мешаванд ва бо нармафзори ArcGIS 10.5 коркард шудаанд [20–22].

Натиҷаҳо ва муҳоҷиса

Таҳлили тағйирҳои иқлим дар Тоҷикистон. Ҳарорати ҳаво ва боришоти солони омилҳои асосии коҳишҳои тавозуни масса ва масоҳати пиряхҳо мебошанд. Ҳарорат бевосита ба қисми забонаи пирях (аблятия) таъсир мерасонад, дар ҳоле ки боришоти саҳт раванди аккумулятсия (ҷамъшавӣ)-ро муайян мекунад. Маълумоти дарозмуддати шабакавии CRU, ки аз Гурӯҳи Бонки ҷаҳонӣ дастрас аст, тамоюли баландшавии ҳароратро нишон медиҳад: ҳарорати миёнаи ҳаво дар як даҳсола ба 0,34 °C афзоиш ёфта, пас аз соли 2020 ба таври назаррас боло рафтааст (Расми 2а). Ҳамзамон, боришот дар Тоҷикистон коҳиш ёфтааст, ки дар шароити гармтар боиси кам шудани захираи

барф мегардад. Натиҷаҳои моделсозии каблӣ нишон медиҳанд, ки барои ҷуброн кардани талафоти масса, ки аз афзоиши ҳарорат дар $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ба вуҷуд омадааст, боришот бояд 25% - 35% афзоиш ёбад [19, 20] (Расми 2b).

Маълумот барои таҳлил аз маҷмӯи таърихии CRU гирифта шудааст, ки аз ҷониби Бонки Ҷаҳонӣ пешниҳод гардидааст [19]. Расми 10 тағйироти ҳарорати миёнаи солони ҳаво (а) ва боришоти солонириро (б) дар Тоҷикистон барои солҳои 2000 - 2025 нишон медиҳад.



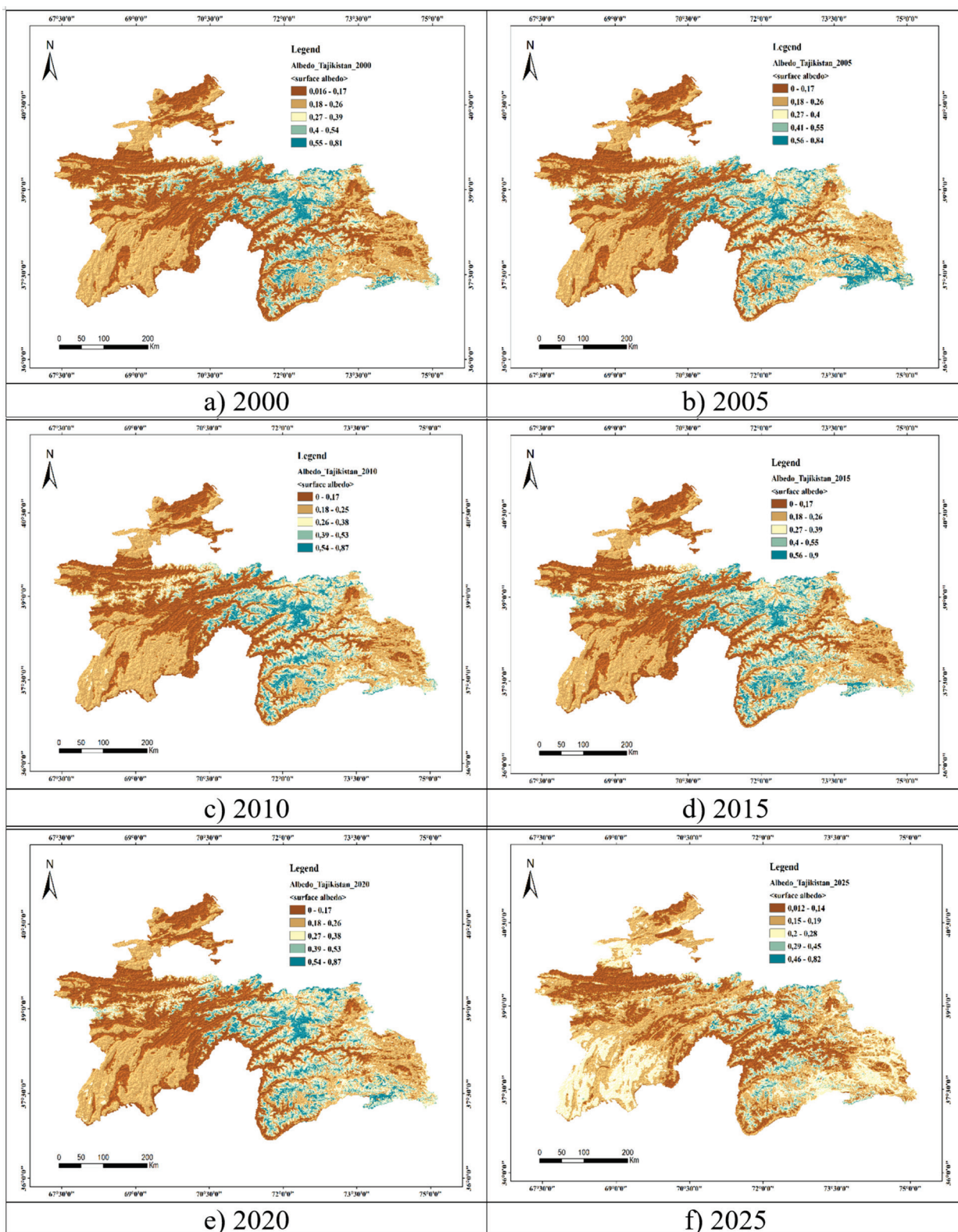
Расми 2. Тағйирбии ҳарорати миёнаи солони ҳаво (а) ва боришот (б) дар Тоҷикистон барои давраи солҳои 2000 то 2023[19].

Таҳлили тағйирёбии фазой - замони албедро сатҳӣ. Ҳисобҳои албедро барф тибқи маълумоти моҳвораи MODIS ба албедро нимкуравӣ (гемиферӣ) асос ёфтаанд, ки одатан нисбат ба албедро спектралӣ-самтнок баландтар мебошад. Ин фарқ махсусан ҳангоми муайян будани таркиби кунҷҳо, аз ҷумла кунҷи зенитии офтоб, кунҷи зенитии сенсор ва азимути нисбии байни сенсор ва офтоб, мушоҳида карда мешавад.

Вақте ки плиткаи шабонарӯзии албедро барф дар сатҳи пирах мушоҳида карда мешавад, он одатан ҳамчун албедро пи-

рах қабул карда мешавад. Маълумотҳои моҳворагии албедро сатҳи пирахҳо дар таҳқиқотҳои каблӣ санҷида ва тасдиқ гардидаанд. Аксари таҳқиқотҳо қимати ҳадди ақал ё миёнаи албедро ҳангоми аблятсия (обшавӣ) бо истифода аз маълумоти моҳвораи MODIS ҳисоб кардаанд. Ин ҳисобҳо бо андозагириҳои тавозуни массаи пирахҳо алоқамандии хуб нишон доданд [13,16].

Барои муайян намудани албедро ҳар як сол, харитаҳо таҳия шуданд, ки имконияти визуализатсияи тақсими фазой ва тағйирёбии албедро фароҳам мео-



Расми 3. Динамикаи албедрои сатҳӣ дар Тоҷикистон барои давраҳои 2000-2025.

ранд. Барои муқоиса намудани натиҷаҳо усулҳои таснифоти фазоӣ ва рамзгузори стандартии картографӣ истифода шудаанд (Расми 3). Таҳлили харитаҳои тақси-

моти фазоии албедрои сатҳии қаламрави Тоҷикистон барои солҳои 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 ва 2025 гуногунии равшани фазоӣ-вақтии ин нишондиҳандаро

ошкор намуд, ки ба шароити орографӣ ва омилҳои иқлимӣ вобастагии калон дорад.

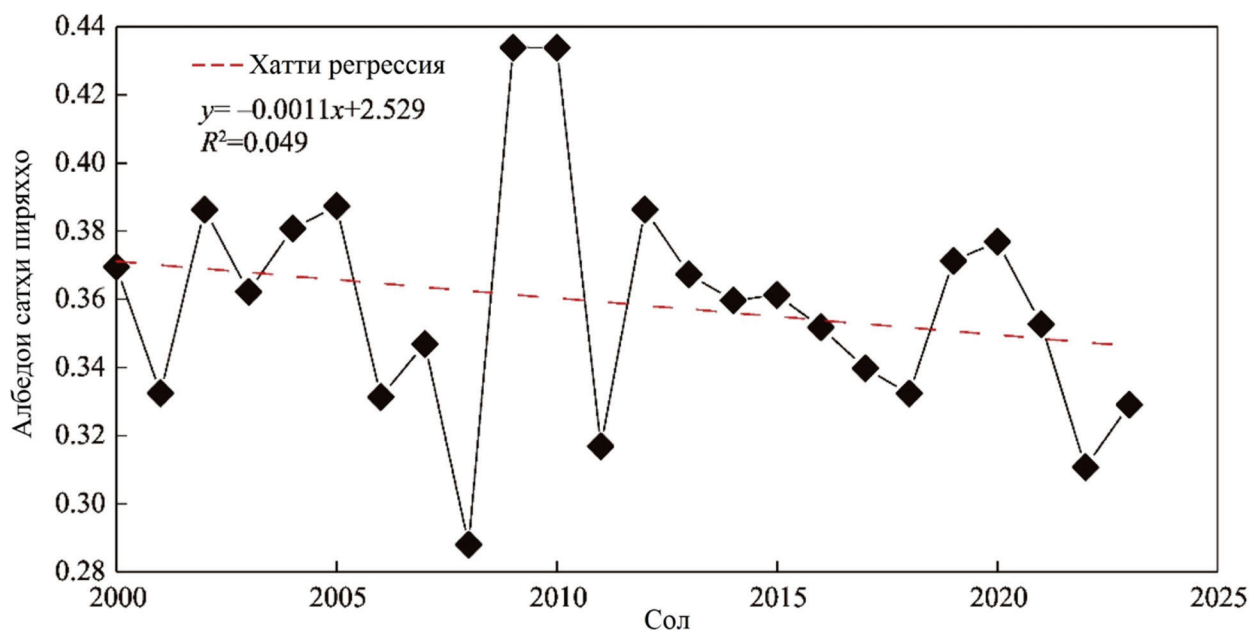
Аз рӯи таҳлил ва коркарди маълумотҳои бадастомада муайян карда шуд, ки дар тӯли ду даҳсолаи охир баландтарин қимати албедро, ки аз 0,45 то 0,85 мерасад, устувор дар минтақаҳои баландкӯҳи Помир ва қаторкӯҳҳои Ҳисору Олой ба қайд гирифта шудааст. Ин бо мавҷудияти қабати барф ва сатҳҳои яхӣ алоқаманд аст.

Қиматҳои паст ва миёнаи албедро, ки аз 0,10 то 0,35 фарқ мекунанд, асосан дар минтақаҳои доманакӯҳӣ ва ҳамвор, аз ҷумла водии Вахш, Ҳисор ва Фарғона, ба қайд гирифта шудаанд. Дар ин минтақаҳо хокҳо, растаниҳо ва ландшафтҳои таҳти таъсири фаъолияти инсон бештар паҳн шудаанд.

Таҳлили муқоисавӣ барои солҳои гуногун нишон медиҳад, ки дар минтақаҳои баландкӯҳ дар давраи 2000–2025 тамо-

юли коҳишҳои устувори албедро сатҳӣ ба амал омадааст. Тағйироти назаррас хусусан пас аз соли 2010 мушоҳида мешаванд ва дар коҳишҳои масоҳати пирияхҳо, камшавии қабати барф, гузариши қиматҳои албедро аз баланд ба миёна ва паст, инчунин афзоиши қиматҳои миёна ва паст албедро таҷассум меёбанд. Ин тамоюл таназзули қабати барф ва пирияхҳо, шиддатҳои равандҳои обшавии пирияхҳо (аблятсия) ва ҷамъшавии омехтаи ҷангу ғубор дар сатҳи пирияхҳо инъикос мекунанд.

Дар маҷмӯъ, динамикаи албедро сатҳӣ асосан паст ва коҳишбанди мушоҳида мешавад. Афзоиши равандҳои обшавии пирияхҳо, коҳиши албедро ва фурубарии радиатсияи офтобӣ шаҳодат медиҳанд, ки равандҳои таназзули криосфера суръат гирифта, муҳити экологӣ дар қаламрави кишвар тағйир меёбад.



Расми 4. Албедро миёнаи сатҳи пирияхҳои Тоҷикистон барои моҳҳои июн - августи солҳои 2000-2025 [20].

Умуман, коҳишҳои босуръати пирияхҳои Тоҷикистон асосан ба баландшавии назарраси ҳарорати ҳаво, коҳишҳои боришот (аз ҷумла боришоти саҳт) ва паст будани албедро сатҳи пирияхҳо дар фасли тобистон вобастагии калон дорад.

Ҳамаи ин омилҳо дар ҳамбастагӣ амал карда, шиддатҳои равандҳои обшавии пирияхҳо таъмин мекунанд.

Хулосаҳо

Таҳқиқоти албедро пирияхҳо барои арзёбии раванди обшавии пирияхҳо ва та-

возуни масса муҳим мебошанд. Ҳамзамон, пурра муайян ва фаҳмидани омилҳое, ки ба камшавии албедро таъсир мерасонанд, аҳамияти калон дорад. Дар қорҳои илмии оянда албедро сатҳи пирияхҳо ва омилҳои назоратии онро бо истифода аз маълумоти зондкунии дурдаст ҷ таҳлили такрорӣ муайян карда, дақиқият ва ҳалли фазоиро беҳтар мекунанд. Дар ҳамин ҳол, омилҳои антропогенӣ низ ба назар гирифта мешаванд.

Адабиёт

- Nasrulloev F., Yaning CH., SHERALIZODA N., Gulahmadov N., Shobairi SEYED, Murodov M. Hydrological change trends of the Surkhob and Khingov river basins in the Vakhsh River of Tajikistan under climate change, *Regional Sustainability*, Volume 7, Issue 1, 2026, <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2026.100300>.
- Pritchard, H.D., 2019. Asia's shrinking glaciers protect large populations from drought stress. *Nature*. 569, 649–654. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1240-1>
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., Barandun, M., Machguth, H., Nussbaumer, S.U., Gartner-Roer, I., Thomson, L., Paul, F., Maussion, F., Kutuzov, S., Cogley, J.G., 2019. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature* 568 (7752), 382–386. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>
- Miles, E., McCarthy, M., Dehecq, A., et al., 2021. Health and sustainability of glaciers in high mountain Asia. *Nat. Commun.* 12, 2868. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23073-4>.
- Zhang, Q., Chen, Y., Li, Z., Fang, G., Xiang, Y., & Sun, C. (2026). Glacier change threatens Central Asia's water towers. *iScience*, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2026.114727>
- Процесс деградациии ледников верховья бассейна реки Зарафшан в условиях современного изменения климата / Н.Б. Курбонов, Ф.К. Восидов, С.О. Мирзохонова, А.М. Халимов // *Наука и инновация. Серия геологических и технических наук*, 2019. - №2. - С.58-67.
- Курбонов, Н. Б. Климато-географический анализ влияния температурного режима на деградацию ледников бассейна реки Зерафшан / Н.Б. Курбонов // *География и водные ресурсы*. - 2022. - №3. - С.15-25. – DOI 10.55764/2957-9856/2022-3-15-25.14. – EDN AVFXRC.
- Курбонов, Н.Б. Мониторинг метеорологических условий и их влияние на состояние ледников бассейна реки Зерафшан / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // *Известия ВУЗов Кыргызстана*. - 2015. - №4. - С.82-86. – EDN ULPPAN.
- Flanner, M.G., Zender, C.S., 2006. Linking snowpack microphysics and albedo evolution. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 111 (D12). <https://doi.org/10.1029/2005JD006834>
- Gardner, A.S., Sharp, M.J., 2010. A review of snow and ice albedo and the development of a new physically based broadband albedo parameterization. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 115 (F1). <https://doi.org/10.1029/2009JF001444>
- Насруллоев, Ф. Х. Оценка состояния ледника Скогач в условиях изменения климата / Ф. Х. Насруллоев // *Наука и инновация*. – 2024. – № 3. – С. 68-73. – EDN JAQZPH.
- Naegeli, K., Huss, M., 2017. Sensitivity of mountain glacier mass balance to changes in bareice albedo. *Ann. Glaciol.* 58 (75pt2), 119-129. <https://doi.org/10.1017/aog.2017.25>
- Yao Xiao, Chang-Qing Ke, Xiaoyi Shen, Yu Cai, Haili Li. What drives the decrease of glacier surface albedo in High Mountain Asia in the past two decades? *Science of The Total Environment*, Volume 863, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160945> .
- Wang, J., Ye, B., Cui, Y., He, X., Yang, G., 2014. Spatial and temporal variations of albedo on nine glaciers in western China from 2000 to 2011. *Hydrol. Process.* 28 (9), 3454–3465. <https://doi.org/10.1002/hyp.9883>
- Davaze, L., Rabatel, A., Arnaud, Y., Sirguey, P., Six, D., Letreguilly, A., Dumont, M., 2018. Monitoring glacier albedo as a proxy to derive summer and annual surface mass balances from optical remote-sensing data. *Cryosphere* 12 (1), 271–286. <https://doi.org/10.5194/tc-12-271-2018>
- Liu, P.; Wu, G.; Cao, B.; Zhao, X.; Chen, Y. Variation in Glacier Albedo on the Tibetan Plateau between 2001 and 2022 Based on MODIS Data. *Remote Sens.* 2024, 16, 3472. <https://doi.org/10.3390/rs16183472>
- Yue, X.; Li, Z.; Li, H.; Wang, F.; Jin, S. Multi-Temporal Variations in Surface Albedo on Urumqi Glacier No.1 in Tien Shan, under Arid and Semi-Arid Environment. *Remote Sens.* 2022, 14, 808. <https://doi.org/10.3390/rs14040808>
- Ren, S., Jia, L., Miles, E.S., Menenti, M., Kneib, M., Shaw, T.E., Buri, P., McCarthy, M.J., Yang, W., Pellicciotti, F., Yao, T. (2024). Observed and projected declines in glacier albedo across the Third Pole in the 21st century. *One Earth*, 7(9), 1587–1599. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.08.010>
- Бонки Ҷаҳонӣ <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/tajikistan/climate-data-historical>

20. Xu, C., Li, Z., He, Z., Wang, F., Mu, J., Chen, Y., Nazrialo, S., Nasrulloev, F., Gulahmadzoda, A., Current status and recent changes of glaciers in Tajikistan, Regional Sustainability, <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2026.100296> .
21. Маркази миллии додаҳои платои Тибет (<https://data.tpdc.ac.cn>)
22. Платформаи Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>)

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ АЛЬБЕДО В КРИОСФЕРНОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ТАДЖИКИСТАНА)

Насруллоев Ф.Х.^{1,*}, Гулахмадзода А.А.¹,
Парвизи Х.¹, Изатуллозода Р.Х.¹, Муродова С.А.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана
*Автор корреспондент. E-mail: farhadnasrullo@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается динамика изменений альbedo ледниковых поверхностей, являющегося одним из основных криосферных показателей в условиях изменения климата в Таджикистане. Альbedo играет ключевую роль в энергетическом балансе ледников и непосредственно влияет на процессы их сокращения и массового баланса. Для анализа пространственно-временных изменений альbedo поверхности ледников использовались спутниковые данные MODIS (MOD10A1 и MYD10A1) за период 2000-2025 годов. Расчеты проводились в основном для периода абляции (июнь-август) и обрабатывались с помощью платформы Google Earth Engine и программного обеспечения ArcGIS 10.5. Результаты исследования показывают, что за последние два десятилетия в высокогорных районах Таджикистана, особенно в Памире и горном хребте Гисор-Олай, наблюдается устойчивая тенденция к снижению альbedo поверхности ледников. Этот процесс тесно связан с повышением температуры воздуха, уменьшением количества осадков и увеличением количества светопоглощающих смесей на поверхности ледника. Снижение альbedo приводит к увеличению поглощения солнечной радиации, что ускоряет процесс таяния ледников. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение и могут быть использованы для оценки устойчивости водных ресурсов и планирования адаптации к изменению климата в Таджикистане.

Ключевые слова: криосфера, ледники, поверхностное альbedo, изменение климата, дистанционное зондирование, MODIS, Таджикистан

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF ALBEDO IN THE CRYOSPHERE ENVIRONMENT IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE (IN THE EXAMPLE OF TAJIKISTAN)

Nasrulloev F.Kh.^{1,*}, Gulahmadzoda A.A.¹,
Parvizi H.¹, Izatullozoda R.Kh.¹, Murodova S.A.¹

¹Institute of Water, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
*Corresponding author. E-mail: farhadnasrullo@gmail.com

Abstract. This article discusses the dynamics of changes in the albedo of glacier surfaces, which is one of the main cryospheric indicators in the conditions of climate change in Tajikistan. Albedo plays a key role in the energy balance of glaciers and directly affects the processes of their shrinkage and mass balance. MODIS satellite data (MOD10A1 and MYD10A1) for the period 2000-2025 were used to analyze spatiotemporal changes in glacier surface albedo. Calculations were carried out mainly for the ablation period (June-August) and were processed using the Google Earth Engine platform and ArcGIS 10.5 software. The results of the study show that over the past two decades, a steady downward trend in glacier surface albedo has been observed in the high-mountain regions of Tajikistan, especially in the Pamirs and the Hisor-Olay mountain range. This process is closely related to increasing air temperature, decreasing precipitation, and increasing the amount of light-absorbing mixtures on the glacier surface. The decrease in albedo leads to an increase in the absorption of solar radiation, which accelerates the process of glacier melting. The results obtained have important scientific and practical significance and can be used to assess the sustainability of water resources and plan adaptation to climate change in Tajikistan.

Keywords: cryosphere, glaciers, surface albedo, climate change, remote sensing, MODIS, Tajikistan

Маълумот дар бораи муаллифон: Насруллоев Фарход Хучаевич – PhD, дотсент, постдокторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: farhadnasrullo@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор – д.и.т., директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Парвизи Хотам – постдокторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Изатуллозода Рамазон Хайрулло – докторанти PhD Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: ramazonkh@mail.ru; Муродова Саодат Абдуллоевна – ходими илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: murodova66@inbox.ru.

Сведения об авторах: Насруллоев Фарход Худжаевич – PhD, доцент, постдокторант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана, E-mail: farhadnasrullo@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуджаббор – д.т.н., директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Парвизи Хотам – постдокторант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана. Изатуллозода Рамазон Хайрулло – докторант PhD, Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана, E-mail: ramazonkh@mail.ru; Муродова Саодат Абдуллоевна – научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана, E-mail: murodova66@inbox.ru.

Information about the authors: Nasrulloev Farhod Khujaevich – PhD, postdoc of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: farhadnasrullo@gmail.com; Gulahmadzoda Aminjon Abdujabbor – Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Parvizi Hotam – PhD, postdoc of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Izatullozoda Ramazon - student PhD, of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: ramazonkh@mail.ru; Murodova Saodat Abdulloevna – scientific researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: murodova66@inbox.ru.

УДК 551.583:614.8 (575.3)

О ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ВОЗНИКНОВЕНИЕМ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Курбон Н.Б.^{1,2*}, Сафаров М.Т.³

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

²Таджикский национальный университет,

³Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана

*Автор корреспонденции. E-mail: knotvarb.0502@gmail.com

Аннотация. В данной статье кратко рассматривается увеличение числа и частоты стихийных гидрометеорологических явлений в процессе глобального потепления климата как в глобальном, так и в республиканском масштабе, и на основе наблюдений 12 метеостанций территории Центрального Таджикистана, расположенных на высотах от 1004 до 3134 м и в различных районах – равнинах, предгорьях, горах и высокогорьях, анализируется и определяется взаимная корреляция между изменениями метеоусловий (температура воздуха, атмосферные осадки) и возникновением стихийных бедствий. В статье также показано, что орография местности оказывает тесное влияние на изменение метеоусловий. Исследование взаимной корреляции между изменением метеоусловий и возникновением стихийных бедствий в определенном районе показывает, что наблюдения метеостанции данного района не фиксируют причины и факторы возникновения там стихийных бедствий, в то время как метеостанции соседних районов фиксируют эти явления.

Ключевые слова: стихийные бедствия, гидрометеорологические явления, метеорологические условия, гидрологические процессы, горно-предгорные районы, метеостанция, корреляция, Центральный Таджикистан.

Введение

Согласно метеонаблюдениям и научным работам [1-5], повышение температуры дифференцируется количеством и распределением осадков по поверхности планеты, и в зависимости от географической местности и орографических условий, усиливаются стихийные гидрометеорологические явления (гидрологические – наводнения и паводки, сели и лавины, цунами, заторы и зажоры, низкая межень; метеорологические – сильный ветер и ураганы, смерчи и шквалы, экстремальные осадки, волны жары и холода, засуха, метели и туманы). В частности, согласно сравнительным данным экспертов [1, 6], если в 80-х годах прошлого века в глобальном масштабе в среднем ежегодно происходило 100-120 стихийных бедствий, то с 2000 года число ураганов, наводнений и других стихийных гидрометеорологических явлений увеличивается в 5 раз. Полученные результаты показывают [1], что число стихийных бедствий, связанных с погодой, климатом и водой, увеличилось в десять раз с 60-х годов XX-го столетия: с 39 в 1960 году до 396 в 2019 году. Также, данные подтверждают [1], что только в 2005 году произошло 442 крупных стихийных бедствий, в результате которых 160 млн человек нуждаются в экстренной помощи, а более 90 000 человек погибли.

Одновременно, согласно автору [7], за последние 50 лет количество природно-климатических катаклизмов на глобальном масштабе увеличилось почти в 3 раза, наиболее распространенными стихийными гидрометеорологическими явлениями являются тропические штормы и наводнения (32%), землетрясения (12%), засухи (10%) и другие (14%). По другим данным [8], среди континентов наиболее подверженными действию опасных природно-климатических процессов является

Азия (38%) и Северная и Южная Америка (26%), а также Африка (14%), Европа (14%) и Океания (8%).

Мониторинги показывают, что последствия климатических изменений часто проявляются в виде наводнений или засух, а также изменение климата выражается в большей изменчивости климата и в следующих друг за другом крупных экстремальных погодно-климатических явлений, которые резко ослабляют устойчивое развитие.

Поскольку Таджикистан считается страной, уязвимой к изменению климата, на его территории ежегодно наблюдается большое количество чрезвычайных ситуаций гидрометеорологического характера. В частности, результаты показывают [1,9-12], что в республике экономический ущерб, связанный с опасными гидрометеорологическими явлениями и стихийными гидрометеорологическими явлениями, составляет 1-1,15 ВВП, что соответствует 25-30 млн долл. США в год, и в отдельные годы, величина ущерба может достичь 5 ВВП. Согласно результатам [9], общий ущерб от чрезвычайных ситуаций гидрометеорологического характера за 2012-2016 гг. составляет более 600 млн долларов США. Также, анализ результатов показывает, что ежегодно объем экономического ущерба от климатических изменений может увеличиваться с 50,4 млн долларов за 2016-2020 гг. до 132,3 млн долларов в 2030 г. Полученные результаты показывают [1], что с 2001 по 2022 год в Таджикистане в среднем ежегодно происходило 483 климатических катаклизмов, причиняющих значительные экономические и человеческие потери. Необходимо отметить, что только за 2018-2022 гг. произошло 2118 стихийные бедствия, большинство из которых были чисто гидрометеорологическими явлениями, такими как лавины

(54,25%), оползни (15,39%), камнепады (8,50%), сильные ветры (4,58%), повышение уровня воды (3,92%), проливные дожди (2,74%) и оползни (2,27%).

По мнению авторов [9-13], одним из наиболее уязвимых районов страны является Центральный Таджикистан, поскольку из 1324 селей, произошедших в период с 1940 по 2008 год, 16,4% пришлось в Раштскую долину, 14,9% – в Гиссарскую долину и 5,7% – в Зерафшанскую долину.

Данные и методы

Поэтому именно с этой целью ниже проанализируем связь между стихийными гидрометеорологическими явлениями с изменением метеорологических условий в некоторых центральных горных и высокогорных районах Таджикистана в течение 2021 г. Поскольку Таджикистан имеет сложный горный рельеф, это оказывает сильное влияние на изменчивость метеоусловий и возникновение стихийных бедствий [14], и поэтому на метеостанциях, установленных в долинах, осадки либо не регистрируются или они незначительные, тогда как на метеостанциях, установленных в горной местности, регистрируются значительные осадки. Поэтому, хотя большинство стихийных гидрометеорологических явлений, происходящих на территории республики, тесно связаны с изменением метеоусловий, некоторые из них носят локальный характер, что в тот же момент возникают, в другом регионе или значительные изменения метеопараметров и существующих географо-орграфических условий того же события не регистрируются. Несмотря на это, Таджикистан остается одной из наиболее уязвимых стран к изменению климата, одним из которых являются такие стихийные бедствия. И естественно для их уменьше-

ния необходимо принять меры по своевременному прогнозированию погодных условий в период пика этих процессов и снижению риска возможных стихийных гидрометеорологических явлений.

Вместе с тем, следует отметить, что изменение метеоусловий, и следовательно, возникновение селей тесным образом связаны с изменением основных метеопараметров (температуры, осадков), но до настоящего времени анализ такой связи, не проводился. Нами, с целью определения научной закономерности ниже представлен анализ связи возникновения экстремальных гидрометеорологических явлений и изменения метеоусловий. Согласно данным, крупномасштабными и наиболее разрушительными были сели, происшедшие 6, 11 и 13 мая. Подобные селевые потоки наблюдались также 14, 19 и 28 июля, и 5 августа 2021 г. Как уже отметили, именно эти события и были выбраны в качестве предмета исследования данной статьи. Поскольку происшедшие в мае месяце 2021 г. селевые потоки охватили почти все регионы страны, для анализа данных по ним, использовались данные 12 метеостанций, расположенных на высотах от 1004 до 3134 м и в различных районах – равнинах, предгорьях, горах и высокогорьях Центрального Таджикистана, и как уже отмечалось, данная часть республики является наиболее подверженным селям и уязвимым регионом. Поэтому, по всем остальным событиям 5 метеостанций, близкие к зоне прохождения селей, или метеостанции, подходящие по благоприятствующим формированию селевых потоков метеоусловиям. Результаты анализа связи метеопараметров с селевыми потоками приведены в таблице 1.

Таблица 1. Связь метеопараметров и их точность на метеостанциях в предгорных и горных районах на май месяц 2021 г.

Метеостанция	Высота, м	$r(t1, t2)$	$r(t1, p1)$	$r(t1, p2)$	$r(t2, p1)$	$r(t2, p2)$	r (p1, p2)	$t1_{ср.} \pm \sigma$	$t2_{ср.} \pm \sigma$	$p1_{ср.} \pm \sigma$	$p2_{ср.} \pm \sigma$
Истаравшан	1004	0,81	-0,45	0,94	-0,53	0,97	-0,52	27,7±3,4	15,1±2,6	2,7±6,0	0,2±0,2
Пенджикент	1015	0,56	-0,64	0,50	-0,86	0,50	-0,50	28,8±4,6	15,5±2,5	3,9±6,1	0,7±1,1
Муминабад	1232	0,74	-0,69	-0,83	0,81	-0,58	0,99	25,2±4,3	12,3±2,05	7,6±10,4	11,1±17,1
Дарбанд	1258	0,59	-0,69	-0,82	0,30	-0,58	-	23,4±3,4	12,2±1,7	2,0±2,5	0,3±0,5
Дарваз	1288	0,56	0,25	0,39	0,22	-0,28	-0,27	27,2±3,0	13,3±1,5	0,5±0,8	2,5±5,1
Рашт	1316	0,33	-0,44	0,15	-	0,15	-	25,9±2,6	11,4±2,2	1,3±2,5	0,5±0,8
Хушэри	1361	0,29	-0,31	0,99	0,46	0,99	-	24,4±3,5	11,7±1,6	3,1±4,1	8,5±6,4
Ховалинг	1468	0,65	-0,51	0,29	0,34	-0,29	0,99	24,2±4,6	13,2±2,2	4,0±5,1	12,0±16,3
Сангвор	1616	0,64	0,07	0,55	0,29	-0,20	0,99	23,7±2,8	8,6±1,8	1,5±2,0	6,0±7,5
Бустонабад	1964	0,54	0,93	0,66	-0,52	-0,49	-	18,3±3,2	10,4±4,7	6,5±5,3	10,2±6,3
Санглох	2239	0,82	-0,73	0,80	-0,75	0,50	-	17,1±3,1	10,5±2,3	6,7±5,6	3,3±4,0
Шахристон	3143	0,61	-0,37	-0,19	-0,21	0,19	0,80	9,0±2,2	3,2±3,6	2,8±3,9	0,9±3,9

Примечание: r – коэффициент корреляции между метеопараметрами, $t1$ – дневная температура воздуха, °C, $t2$ – ночная температура воздуха, °C, $p1$ – дневные осадки, мм, $p2$ – ночные осадки, мм, $t1_{ср.}$ – среднемесячная дневная температура, °C, $t2_{ср.}$ – среднемесячная ночная температура, °C, $p1_{ср.}$ – среднемесячные дневные осадки, мм, $p2_{ср.}$ – среднемесячные ночные осадки, мм, ρ – разброс относительно среднего значения.

Результаты и обсуждения

В подтверждение правильности вышеприведенных слов и показателей табл. 1, на рис. 1 приведены данные анализа о дневной (t_1) и ночной (t_2) температуре воздуха (а), а также дневных (p_1) и ночных (p_2) атмосферных осадках (б) за май 2021 года по наблюдениям метеостанции Сангвор.

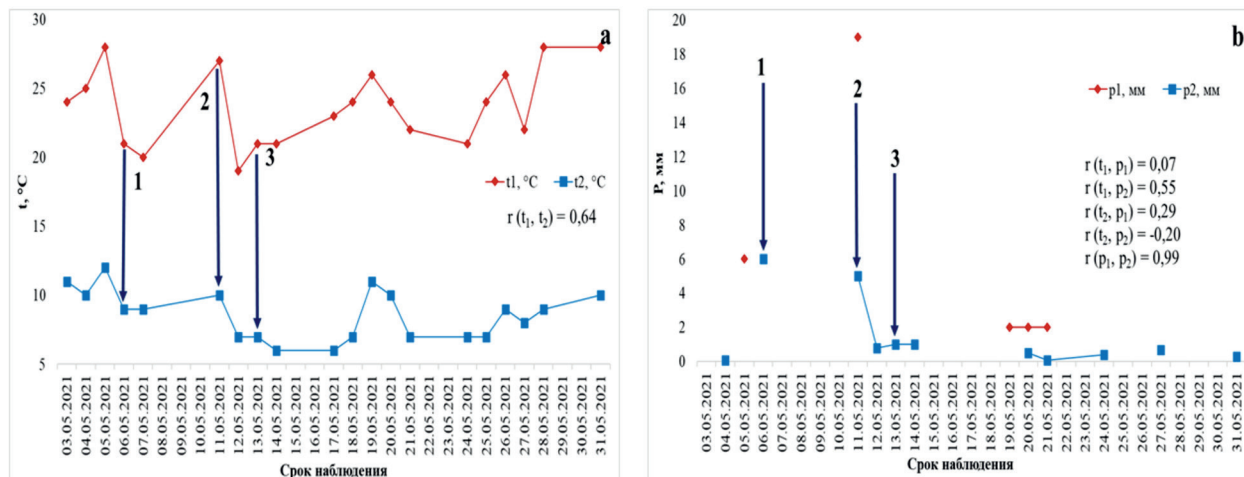


Рисунок 1. Данные о дневной (t_1) и ночной (t_2) температуре воздуха (а), а также дневных (p_1) и ночных (p_2) атмосферных осадках (б) за май 2021 года по наблюдениям метеостанции Сангвор.

Примечание: на рисунке стрелками также приведены сели, происшедшие в отдельных регионах страны: 1) 6 мая, 2) 11 мая и 3) 13 мая.

Анализ данных метеостанции Сангвор (рис. 1 и табл. 1) показывает, что связь между изменениями дневных и ночных температур, недостаточно тесна ($r(t_1, t_2) = 0,64$). Установлено (рис. 1), что в данной метеостанции связь между дневными и ночными температурами и суточными осадками очень слабая [$r(t_1, p_1) = 0,07$; $r(t_2, p_1) = 0,29$]. В то же время, хотя дневная температура имеет значительную связь с ночными осадками ($r(t_1, p_2) = 0,55$), однако ночная температура вообще не имеет никакой связи с количеством осадков ($r(t_2, p_2) = -0,20$).

Несмотря на сильные дожди, происшедшие в мае месяце 2021 г. в непосредственной близости к Кулябу и Турсунзода, а также Ашт, Айни, Рашт, Нурабад, Яван и Вахшской долине, на метеостанциях, находящихся вблизи событий, осадки не наблюдались (Муминабад, Яван, Хушёри, Ганджина, Куляб), а если и на-

ных (p_1) атмосферных осадках (б) за май 2021 года по наблюдениям метеостанции Сангвор. Данные по другим метеостанциям не приводятся поскольку они идентичны по ходу изменения метеопараметров.

блюдались, то – незначительные (метеостанции Гулшан, Мастчо, Сангистон, Гиссар, Рашт, Нуробод, Гиссар, Дангара, Фархор, Пяндж, Нижний Пяндж).

Чтобы объяснить это, следует принять во внимание, что 5-7 мая и 10-14 мая, в долинах наблюдалось небольшое количество осадков (иногда, даже не было осадков), а в горных регионах наблюдались сильные осадки, сопровождающиеся селевыми потоками. Такие же явления наблюдались и во время прохождения селевых потоков 19 июля и 5 августа 2021 г. в джамоатах Ёри и Амондара города Пенджикент. Тогда на метеостанции Пенджикент, находящейся недалеко от места селевых потоков, осадки не регистрировались, в то время как в высокогорьях наблюдались сильные осадки. Поэтому, для анализа были использованы данные трёх метеостанций БРЗ, таких как Дехавз (рис. 2), Искандеркуль (рис. 3) и Шахристан (4).

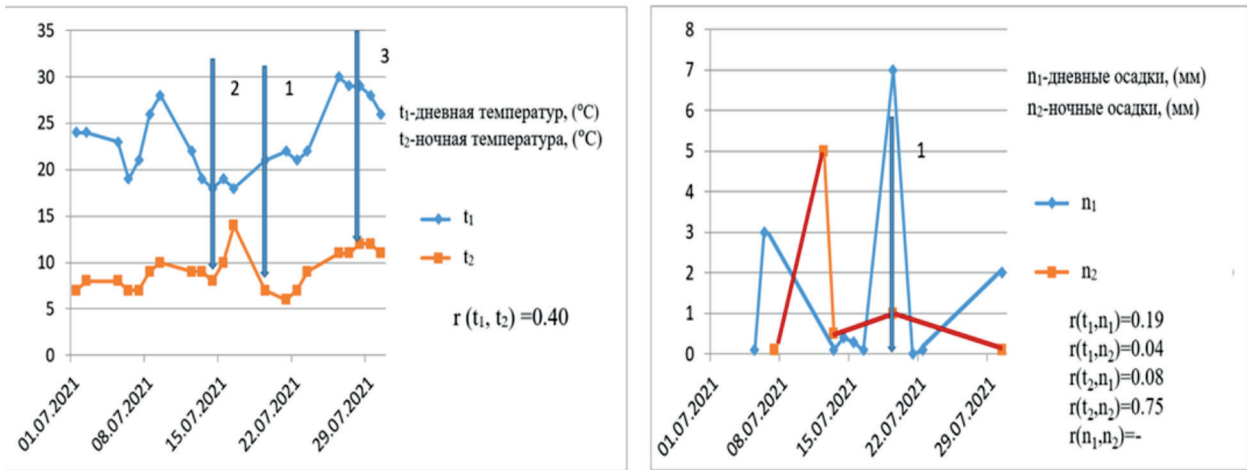


Рисунок 2. Данные о дневной (t1) и ночной (t2) температуре воздуха (а), а также дневных (p1) и ночных (p2) атмосферных осадках (б) за август 2021 года по наблюдениям метеостанции Дехавз

Примечание: на рисунке стрелками приведены другие сели, прошедшие в июле месяца: 1) 19 июля, 2) 14 июля и 3) 28 июля 2021 года.

Анализ метеонаблюдений станции Дехавз (рис. 2 (b)) показывают, что осадки составляли 7 мм. В метеостанции Искандеркуль, как и в метеостанции Дехавз, в день сели 5 августа 2021 г. зафиксировано

всего 7 мм атмосферных осадков. Важно отметить, что за весь август 2021 года на этой метеостанции зафиксировано всего 9,2 мм осадков (рис. 3, b).

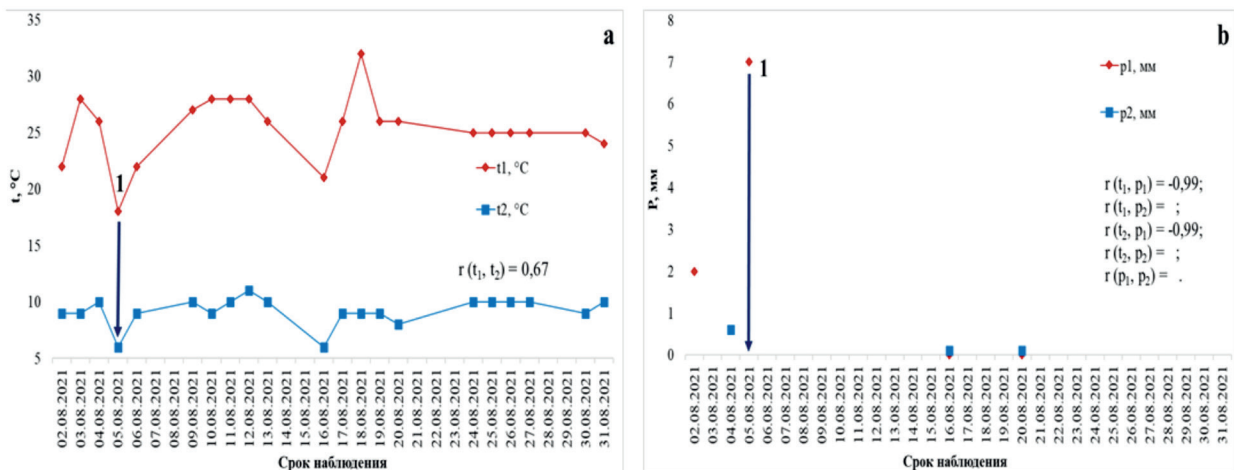


Рисунок 3. Данные о дневной (t1) и ночной (t2) температуре воздуха (а), а также дневных (p1) и ночных (p2) атмосферных осадках (б) за август 2021 года по наблюдениям метеостанции Искандеркуль.

Примечание: на рисунке стрелкой указан селевой поток 5 августа 2021 года.

Поскольку две вышеуказанные метеостанции – Дехавз (рис. 2) и Искандеркуль (рис. 3), расположены более далеко от зоны наводнения в Пенджикенте, для ана-

лиза по селевому потоку 5 августа были использованы данные на метеостанции Шахристан за август 2021 года (рис. 4).

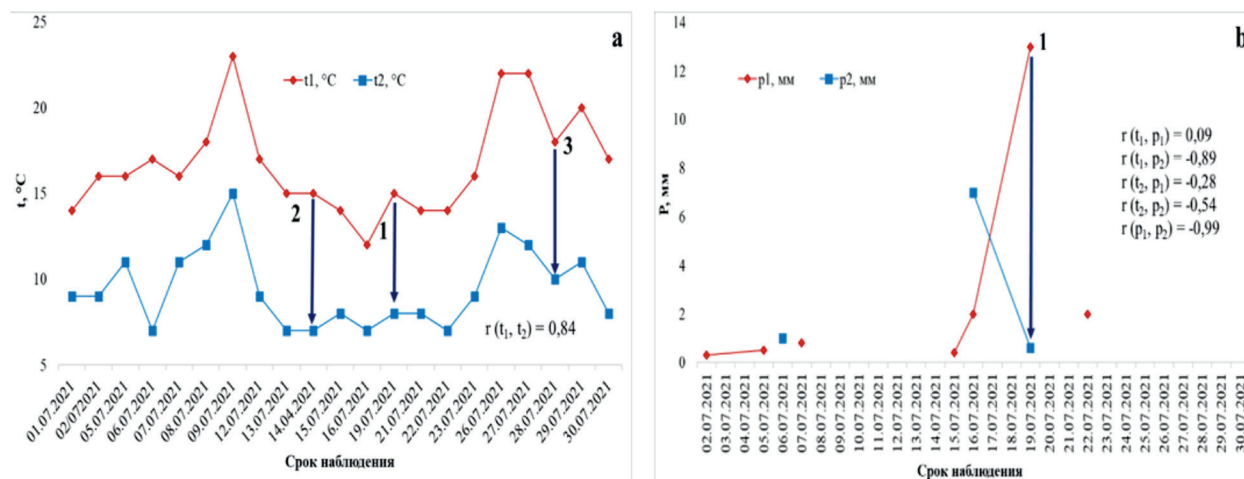


Рисунок 4. Данные о дневной (t_1) и ночной (t_2) температуре воздуха (а), а также дневных (p_1) и ночных (p_2) атмосферных осадках (б) за июль 2021 года по наблюдениям метеостанции Шахристан.

Примечание: на рисунке стрелками, кроме селя 19 июля, приведены другие сели, прошедшие также в июле месяце: 1) 19 июля, 2) 14 июля и 3) 28 июля 2021 года.

Однако, данные метеостанции Шахристан тоже показывают аналогичную картину (рис. 4, б) с данными двух других метеостанций за июль и август месяцы 2021 г. (рис. 3, б; 4, б).

Анализ результатов показывает, что хотя количество осадков на трех метеостанциях незначительно, все-таки оно подчеркивает, что на станциях, находящихся далеко от места события, но установленных в высокогорье (Дехавз, Искандеркуль, Шахристан), они все-таки наблюдаются. Поэтому с большой вероятностью можно сказать, что масса влажного воздуха проникла на территорию бассейна реки Зерафшан с запада, как и весь Таджикистан, и выпали осадки в западные части долины, а также, горы препятствовали прохождению влажных масс воздуха. Выявлено, что как обычно, в 1-9.07 и 26-28.07.2021 г. на территорию Центральной Азии и Таджикистана, со стороны Атлантического океана поступал горячий и сухой тропический воздух, и температура в стране повысилась не только в долинах, но и на высотах более 3000 м н.у.м., где дневная температура достигала 20-24°C и возникла опасность возникновения гляциальных селей.

Полученные результаты показывают, что 14 июля 2021 г. на р. Сугат из сая, берущего начало из ледника С. Нафиси сошел селевой поток, в результате которого автотрасса Вахдат – Лахш на 250-м км была засыпана камнями и гравием, на протяжении 300-500 м [15]. По данным КЧСиГО Таджикистана, такой же случай, в Ляхшском районе, с той же последовательностью, произошел 28 июля 2021 г. Если причиной селя (2 селя за 1 день) в названном районе было повышение суточной температуры 26-28 июля и быстрое таяние ледников, то причиной селя 14 июля, вероятно, было повышение температуры в течение 1-9 июля, быстрое таяние ледников и критическое наполнение ледниковых оз. на леднике С.Нафиси. Возможно, наблюдаемые 13-14 июля 2021 г. осадки, ускорили процесс схождения селя из одного (или нескольких) переполненного ледникового озера, т.е. произошло смешанное воздействие, экстремальное повышение температуры воздуха 1-9 июля и ее снижение 12-14 июля. Естественно ясно, что такая ситуация подтверждает вышеизложенные слова о влиянии климатических изменений на динамику и движение ледников, образова-

ние ледниковых озер и возможном риске их прорыва.

Необходимо отметить, что проведенное исследование в ходе этой экспедиции, организованной «Центром изучения ледников НАН Таджикистана» с 15-30 сентября 2021 г. на леднике С.Нафиси [15], показало, что 14 июля 2021 г. с ледникового холма над озером откололся большой

кусок льда, упал в полное, после прохождения дождей, водой ледниковое озеро, переполнил его, и большое количество воды, в виде селевого потока выплеснулось и стекло вниз. Поэтому, на рис. 5 приведены графики изменения температуры и количества осадков на ближайшей к событию метеостанции Ляхш.

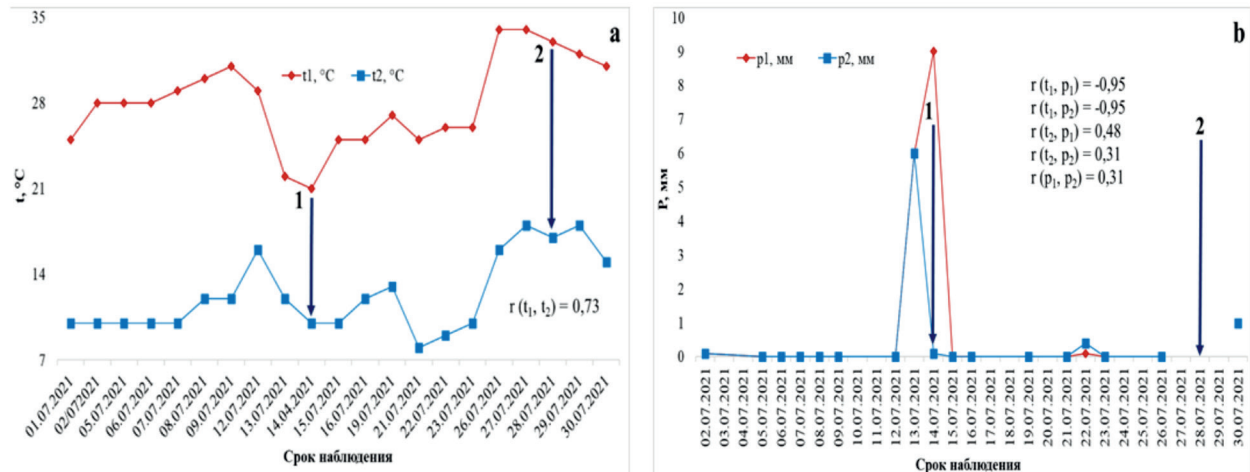


Рисунок 5. Данные о дневной (t1) и ночной (t2) температуре воздуха (а), а также дневных (p1) и ночных (p1) атмосферных осадках (b) за июль 2021 года по наблюдениям метеостанции Ляхш

Примечание: на рисунке стрелками также приведены сели, происшедшие в отдельных регионах страны: 1) 14 июля и 2) 28 июля 2021 года.

Результаты показывают, что связь температуры (дневная температура) и количества осадков достаточно тесная [$r(t_1, t_2) = 0,73$, $r(t_1, p_1) = -0,95$, $r(t_1, p_2) = -0,95$], и между ночной температурой и осадками (дневными и ночными), а также между ночными и дневными осадками существует очень слабая связь [$r(t_1, p_2) = 0,48$, $r(t_2, p_2) = 0,31$, $r(p_1, p_2) = 0,31$] (рис. 5, b).

Анализ результатов (рис. 2, а) показывает, что помимо тесной взаимосвязи между дневной и ночной температурами на метеостанции Дехавз и селевым потоком 19.07 в Пенджикенте, наблюдается также связь между изменением температуры и селевыми потоками 14 и 28.07 в Ляхше (рис. 5, а), хотя выбранная метеостанция Дехавз расположена очень далеко от места их прохождения. Отсюда

можно сделать вывод, что ход изменения температур перед прохождением селевых потоков, происходит практически одинаково по всей территории республики.

Выводы

Таким образом, на основании анализа данных по происшедшим в мае месяце селевым потокам, было выявлено, что при расчете коэффициента корреляции между температурой воздуха и осадками (таб. 1), а также между дневными и ночными осадками, во многих случаях, связь этих величин оказывается слабой (или слишком тесной). По всей вероятности, причиной является очень малый объем данных по осадкам, несовпадение дней и ночей с осадками и большой разброс их значений (σ) относительно среднего (табл. 1). Анализ результатов по изменению темпера-

туры до наступления крупномасштабных обычных и ледниковых (гляциальных) селей показывает, что практически на всех метеостанциях ход этих изменений одинаков и имеет вид, приведенный на рис. 2 (а) и 5 (а). Поэтому такой ход изменения температуры воздуха можно принять в качестве предвестника селевых потоков (обычных или гляциальных).

Иначе говоря, из-за наплыва влажного, теплого и холодного воздуха в пределах Таджикистана, в определенные дни и их смешивания устанавливается неустойчивая погода, вызывающая циклоны с теплыми и холодными фронтами и при пересечении горной местности, образуются конвективные дождевые облака. Потому что, конвективные облака очень мощные и вызывают сильные дожди в высокогорьях, сопровождающиеся крупными селями, сходящимися в долины (селей, происшедших в Пенджикенте 19 июля и 5 августа 2021 г.), хотя в долинах могут наблюдаться небольшие дожди или полное их отсутствие. В то же время, на метеостанциях, установленных в высокогорье, могут регистрироваться значительные осадки, а на станциях, находящихся в долинах - незначительные (даже могут не регистрироваться осадки).

Из-за небольшого количества данных по осадкам и их большого разброса, можно полагаться только на количество осадков (более 14 мм), наблюдаемое в день событий или накануне их возникновения, а полагаться на значения коэффициентов корреляции между температурой воздуха и осадками, а также между дневными и ночными осадками - не рекомендуется. Однако, рассчитанный коэффициент корреляции между дневными и ночными температурами можно считать надежным, будь он большим или малым.

Метеонаблюдение за ходом изменения температуры показало, что быстрое повышение температуры летом увеличивает вероятность быстрого таяния ледников и

возникновения гляциальных селей, а ее резкое падение может вызывать обычные сели. Иногда может наблюдаться смешанное воздействие, как например, при ледниковом селевом потоке 14 июля 2021 г. в Ляхше (рис. 2 (а) и 5 (а)). Поэтому, ход этого изменения одинаков практически на всех метеостанциях страны и может быть принят в качестве предвестника селевых потоков.

Литература

1. Курбон, Н. Проблемы изменения климата: взгляды на причины, последствия и подходы к адаптации / Номвар Курбон. – Душанбе: Дониш, 2025. – 260 с. (на тадж. яз.)
2. Курбонов, Н.Б. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. – 145 с.
3. Экстремальные температуры воздуха в условиях Таджикистана в теплый период года и связанные с ними опасные явления / Н.Б. Курбонов, О.Х. Амирзода, С.Ф. Абдуллаев [и др.] // Климатические риски и космическая погода: Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященных памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14–17 июня 2021 года. – С.42. – EDN EKPAPJ.
4. Экстремальные температуры воздуха в условиях юго-западной части Таджикистана в теплый период и связанные с ними опасные явления погоды / Н.Б. Курбонов, С.Ф. Абдуллаев, С.О. Мирзохонова [и др.] // Климатические риски и космическая погода: материалы Международной конференции, посвященной памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14–17 июня 2021 года. – С.130-140. – EDN OPKNXJ.
5. Изучение состояния и негативные последствия ледниковых озер в высокогорных районах Таджикистана / Н.Б. Курбонов, Б.Б. Боев, Ф.К. Восидов [и др.] // Климатические риски и космическая погода: Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященных памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14–17 июня 2021 года. – С.41. – EDN HAKHDT.
6. Institute for Economics & Peace. Ecological Threat Register 2020: Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace, Sydney, September 2020 // Available from: <http://visionofhumanity.org/reports>.

7. Фрумин, Г.Т. Техногенные системы и экологические риски / Г.Т. Фрумин. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2016. – 136 с.
8. Франсуа, М. Ключевая роль управления водными ресурсами и данных в укреплении мира / М. Франсуа, К. Наташа, П. Каролина, В. Жан // Бюллетень ВМО, 2020. – Т.69 (1). – С.8-13.
9. Курбонов, Н.Б. Анализ чрезвычайных ситуаций и их влияния на социально-экономическое положение Республики Таджикистан / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2019. – №7. – С.10-15. – EDN FNVSSSE.
10. Курбонов, Н.Б. Мониторинг чрезвычайных ситуаций и их зависимость от метеорологических условий в бассейне реки Зеравшан / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2014. – №1-1 (126). – С.273-279. – EDN VBXDUV.
11. Об актуальности экологического состояния воды реки Зеравшан и стихийных бедствий, в бассейне / И.Ш. Норматов, Н.Б. Курбон, Б.Р. Холматов, А.У. Нуров // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2025. – Т. 5, № 1. – С.116-123. – EDN QDUTXF.
12. Курбонов, Н.Б. Перспективы развития и уязвимость бассейна реки Зеравшан к чрезвычайным ситуациям, связанным с метеорологическими условиями / Н.Б. Курбонов, П.И. Норматов // Наука и новые технологии. – 2013. – №7. – С.43-46. – EDN VDRKOT.
13. Сафаров, М.С. Дистанционное зондирование и мониторинг селеопасных районов горных территорий Таджикистана / М.С. Сафаров, А.Р. Фазылов. - Душанбе: Промэкспо, 2023. - 192 с.
14. Влияние рельефа на формирование местного микроклимата (на примере южного склона Гиссарского хребта) / Н.Б. Курбон, О.Ш. Маджидов, Ф.Д. Шарифов, С.О. Мирзохоннова // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т.16. – №4(62). – С.1849-1861. – DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1849-1861. – EDN PTMYQM.
15. Каюмов, А.К. Прорыв ледниковых озёр ледника Баралмас / А.К. Каюмов // Криосфера, 2022. – №2 (6). – С.86-99 (на тадж. яз.).

ОИД БА ВОБАСТАГИИ КОРРЕЛЯТСИЯИ БАЙНИ ТАҒЙИРЁБИИ ШАРОИТҶОИ МЕТЕОРОЛОҒИ ВА ПАЙДОИШИ ОФАТҶОИ ТАБИИ

Курбон Н.Б.^{1,2,*}, Сафаров М.Т.³

¹Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

³Маркази омӯзишии тиряхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: kpotvarb.0502@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар мақолаи мазкур афзоиши миқдор ва басомади ҳодисаҳои фавқулоддаи хусусияти гидрометеорологидошта дар раванди гармишавии глобалии иқлим, дар миқёси глобалӣ ва миқёси кишвар ба таври мухасар баррасӣ гардида, дар асоси мушоҳидаи 12 пойгоҳи обуҳавосанҷии ҳудуди Тоҷикистони Марказӣ, ки дар баландиҳои аз 1004 то 3134 м ва дар минтақаҳои гуногун – ҳамворӣ, доманакӯҳ, кӯҳсор ва баландкӯҳ ҷойгир шудаанд, вобастагии коррелятсионии байни тағйирёбии шароитҳои метеорологӣ (ҳарорати ҳаво, боришоти атмосферӣ) бо пайдоиши офатҳои табиӣ таҳлил ва муайян карда шудааст. Ҳамчунин, дар мақола нишон дода шудааст, ки орография маҳал ба тағйирёбии шароитҳои метеорологӣ таъсири бевосита мерасонад: тадқиқи вобастагии коррелятсионии байни тағйирёбии шароитҳои метеорологӣ ва пайдоиши офатҳои табиӣ минтақаи муайян нишон дод, ки мушоҳидаҳои шабакаи обуҳавосанҷии ҳамон минтақа сабабу омилҳои пайдоиши офатҳои табииро дар он ҷо ба қайд нагирифтанд, вале шабакаҳои обуҳавосанҷии минтақаҳои ҳамшафат онро мушоҳида намуданд.

Калидвожаҳо: офатҳои табиӣ, ҳодисаҳои гидрометеорологӣ, шароитҳои метеорологӣ, равандҳои гидрологӣ, ноҳияҳои кӯҳию доманакӯҳӣ, шабакаҳои метеорологӣ, тағйирёбии иқлим, коррелятсия, Тоҷикистони Марказӣ.

ON THE CROSS-CORRELATION BETWEEN CHANGES IN METEOROLOGICAL CONDITIONS AND THE OCCURRENCE OF NATURAL DISASTERS

Kurbon N.B.^{1,2,*}, Safarov M.T.³

¹*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

²*National University of Tajikistan*

³*Center for the Study of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

*Corresponding author. E-mail: knomvarb.0502@gmail.com

Abstract. *This article briefly examines the increase in the number and frequency of extreme hydrometeorological events associated with global warming, both globally and nationally. Based on observations from 12 meteorological stations in Central Tajikistan, located at altitudes ranging from 1004 to 3134 meters and in various regions – plains, foothills, mountains, and highlands – the article analyzes and determines the mutual correlation between changes in meteorological conditions (air temperature, precipitation) and the occurrence of natural disasters. The article also demonstrates that local orography has a strong influence on changes in meteorological conditions: a study of the mutual correlation between changes in meteorological conditions and the occurrence of natural disasters in a specific area revealed that observations from a meteorological station in that area did not record the causes and factors of natural disasters there, while meteorological stations in neighboring areas did.*

Keywords: *natural disasters, hydrometeorological phenomena, meteorological conditions, hydrological processes, mountainous foothill areas, weather station, correlation, Central Tajikistan.*

Маълумот дар бораи муаллифон: Курбон Номвар Бойназар – номзади илмҳои техникӣ, дотсент, мудири лабораторияи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институди масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, дотсенти кафедраи метеорология ва климатологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Тел.: (+992) 93-474-88-66, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Сафаров Маҳмад Таварович – ходими калони илмии Маркази омӯзиши пирахҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: mahmadsafarov1963@gmail.com.

Сведения об авторах: Курбон Номвар Бойназар – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией моделирования водных ресурсов и климатических процессов Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, доцент кафедры метеорологии и климатологии Таджикского национального университета., Тел.: (+992) 93-474-88-66, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Сафаров Махмад Таварович – старший научный сотрудник Центра изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана, E-mail: mahmadsafarov1963@gmail.com.

Information about the authors: Kurbon Nomvar Boinazar – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Laboratory of Modeling Water Resources and Climate Processes of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Associate Professor of the Department of Meteorology and Climatology of the Tajik National University. Phone: (+992) 93-474-88-66, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com. Safarov Mahmad Tavarovich – Senior Researcher of the Glacier Study Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: mahmadsafarov1963@gmail.com.

УДК 551.524.3(575.3)

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Ходжизода С.К.^{1,*}, Шербоев М.А.¹

¹Горно-металлургический институт Таджикистана

*Автор корреспонденции. E-mail: saidmukbil@mail.ru

Аннотация. На основе данных 12 метеорологических станций Согдийской области, расположенных на высотах от 318 до 3143 м над уровнем моря, за период 2020–2025 гг. (19532 записи) исследован вертикальный градиент температуры воздуха. Установлено, что средний температурный градиент составляет $-3,89^\circ\text{C}/\text{км}$ ($R^2=0,66$; $p<0,001$), что существенно ниже стандартного адиабатического градиента ($-6,5^\circ\text{C}/\text{км}$). Выявлена значительная сезонная дифференциация: летний градиент ($-5,96^\circ\text{C}/\text{км}$) приближается к стандартным значениям, тогда как зимний ($-3,48^\circ\text{C}/\text{км}$) - вдвое ниже. Максимальный месячный градиент зафиксирован в июне ($-6,53^\circ\text{C}/\text{км}$, $R^2=0,98$), минимальный - в декабре ($-2,75^\circ\text{C}/\text{км}$). Температурные инверсии в зимний период наблюдались в 18,1% случаев. Результаты имеют практическое значение для агроклиматического зонирования и оценки климатических ресурсов горных территорий Таджикистана.

Ключевые слова: температурный градиент, высотная поясность, Согдийская область, метеорологические станции, сезонная изменчивость, температурная инверсия.

Введение

Вертикальный градиент температуры воздуха является одним из ключевых параметров, характеризующих климатическую структуру горных территорий [1-5]. В условиях глобального изменения климата изучение пространственного распределения температуры в горных регионах приобретает особую актуальность, поскольку именно горные экосистемы наиболее чувствительны к климатическим изменениям.

Согдийская область Республики Таджикистан представляет собой уникальный объект для исследования высотной термической зональности. На относительно компактной территории сосредоточены ландшафты от низинных равнин Ферганской долины (300-400 м) до высокогорных перевалов Туркестанского и Зеравшанского хребтов (свыше 3000 м), что создаёт значительный перепад высот - более 2800 м [2-4]. Данная вертикальная стратификация обуславливает формирование выраженных климатических поясов, различающихся по температурному режиму, количеству осадков и продолжительности вегетационного периода [6-7].

Стандартный адиабатический градиент температуры для тропосферы составляет около $-6,5^\circ\text{C}$ на 1 км подъёма. Однако в реальных горных условиях этот показатель существенно варьирует под влиянием орографии, циркуляционных процессов, облачности, подстилающей поверхности и сезонности. Для территории Центральной Азии этот вопрос исследован недостаточно, особенно в отношении внутригодовой динамики градиента [8-11].

Целью настоящего исследования является количественная оценка вертикального температурного градиента в Согдийской области на основе данных сети из 12 метеорологических станций за период 2020-2025 гг., а также выявление его сезонных и помесечных закономерностей.

В работе использованы данные наблюдений 12 метеорологических станций Согдийской области которые расположены на высотах от 318 до 3143 м (табл. 1), что обеспечивает представительное покрытие высотного профиля региона.

Для каждой станции фиксировались следующие параметры: дневная температура (T_{day} , $^\circ\text{C}$), ночная температура

(T_{night} , °C), среднесуточная температура ($Temp_Diff$, °C), дневные и ночные осадки (Avg_Temp , °C), суточная амплитуда (мм).

Таблица 1. Метеорологические станции Согдийской области.

№	Станция	Высота (м)	Кол-во записей	T_{day} (°C)	T_{night} (°C)	Avg_Temp (°C)
1	Бустон (Мастчоҳ)	318	1647	21,8	8,5	15,2
2	Гулистон	347	1647	19,9	10,8	15,3
3	Худжанд (Аэропорт)	410	1647	21,2	10,4	15,8
4	Гулшан (Ашт)	550	1647	22,1	10,0	16,1
5	Исфара	870	1411	20,2	9,4	14,8
6	Истаравшан	1004	1647	19,1	7,8	13,5
7	Пенджикент	1015	1647	20,8	8,4	14,6
8	Сангистон (Айни)	1502	1647	19,4	7,2	13,3
9	Искандаркул (Айни)	2204	1647	13,8	2,1	8,0
10	Мадрушкат (Кухистони Мастчоҳ)	2234	1647	15,4	2,8	9,1
11	Дехавз (Кухистони Мастчоҳ)	2561	1512	11,3	0,6	6,0
12	Шахристан	3143	1647	5,1	-1,1	2,0

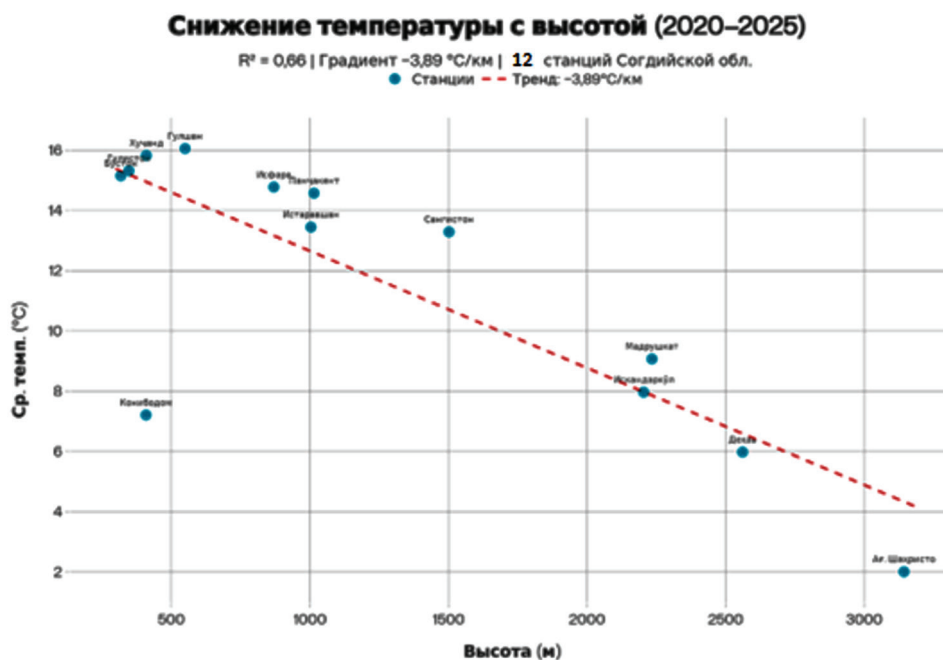


Рисунок 1. Зависимость температуры от высоты.

Методы обработки. Для расчёта вертикального градиента применялся метод линейной регрессии по модели:

$$T = a + b \cdot H$$

где T - среднесуточная температура (°C), H - высота станции (м), b - температурный градиент (°C/м), a - свободный член. Значимость регрессионной модели оценивалась по коэффициенту де-

терминации R^2 и критерию значимости (p -value). Корреляционный анализ проведён по коэффициенту Пирсона. Сезонное деление: зима (XII–II), весна (III–V), лето (VI–VIII), осень (IX–XI).

Общий температурный градиент. Линейная регрессия среднегодовых температур по высоте дала следующее уравнение:

$$T = 16,55 - 3,89 \cdot H_{км}$$

где $H_{км}$ - высота в километрах. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,66$, коэффициент корреляции $r = -0,815$ ($p < 0,001$). Таким образом, средняя температура снижается на $3,89^\circ\text{C}$ при подъёме на каждый километр, что составляет лишь $59,8\%$ от стандартного адиабатического градиента ($6,5^\circ\text{C}/\text{км}$). Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Точечная диаграмма с линией регрессии, показывающая снижение среднегодовой температуры с ростом высоты по 12 станциям Согдийской области. Градиент составляет $-3,89^\circ\text{C}/\text{км}$ при $R^2=0,66$.

Чётко видно, что станции низинной зоны (Худжанд, Гулшан - $15-16^\circ\text{C}$) разительно отличаются от высокогорных (Шахристон - $2,0^\circ\text{C}$).

Средняя температура на низинных станциях (до 600 м) составляет $+15,42^\circ\text{C}$, тогда как на высокогорных станциях (выше 2200 м) - лишь $+6,26^\circ\text{C}$, т.е. разница достигает $9,2^\circ\text{C}$ при перепаде высот около 2400 м.

Сезонная дифференциация градиента. Наиболее важным результатом является выраженная сезонная вариативность температурного градиента (табл. 2).

Таблица 2. Сезонные значения температурного градиента.

Сезон	Градиент ($^\circ\text{C}/\text{км}$)	R^2	Свободный член ($^\circ\text{C}$)
Зима	-3,48	0,87	5,88
Весна	-4,73	0,76	19,04
Лето	-5,96	0,96	30,94
Осень	-3,53	0,82	16,08

Летний градиент ($-5,96^\circ\text{C}/\text{км}$) наиболее близок к стандартному адиабатическому значению и характеризуется наи-

высшим коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,96$), что свидетельствует о высокой линейности зависимости (рис. 2).

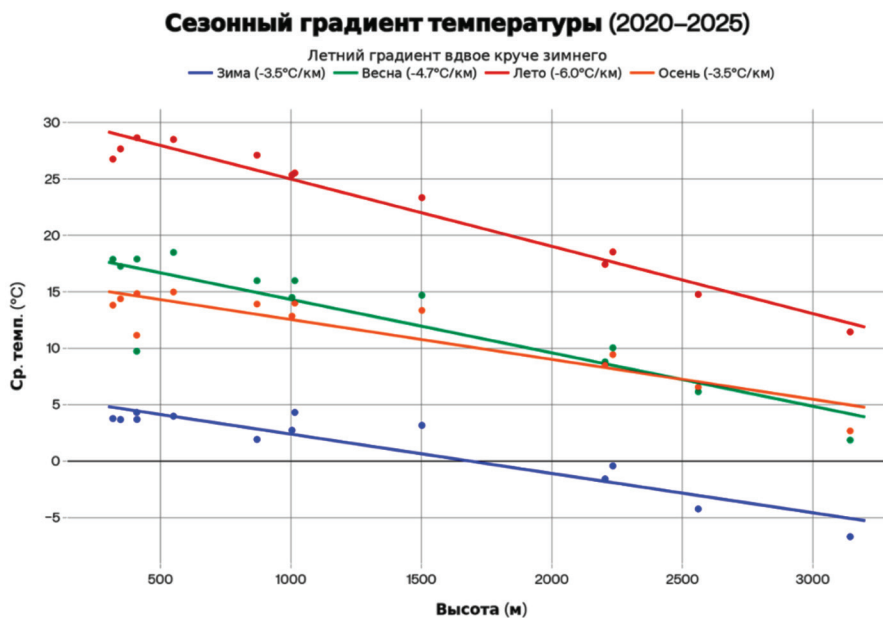


Рисунок 2. Сезонные линии регрессии.

В зимний период градиент снижается почти вдвое ($-3,48^\circ\text{C}/\text{км}$), что объясняется частыми температурными инверсиями в долинах и застоем холодного воздуха.

Четыре регрессионные прямые демонстрируют, как крутизна градиента зависит от сезона. Летняя линия ($-5,96^\circ\text{C}/\text{км}$) имеет наибольший наклон, а зимняя

($-3,48^{\circ}\text{C}/\text{км}$) - наименьший, что объясняется инверсионными процессами в холодный период.

Помесячная динамика. Анализ градиента по месяцам выявил чёткий годовой цикл (табл. 3).

Таблица 3. Помесячные значения температурного градиента.

Месяц	Градиент ($^{\circ}\text{C}/\text{км}$)	R^2
Январь	-3,37	0,86
Февраль	-4,32	0,89
Март	-4,50	0,88
Апрель	-5,39	0,95
Май	-5,98	0,97
Июнь	-6,53	0,98
Июль	-5,86	0,96
Август	-5,40	0,94
Сентябрь	-4,08	0,89
Октябрь	-4,00	0,91
Ноябрь	-3,04	0,72
Декабрь	-2,75	0,75

Максимальный градиент приходится на июнь ($-6,53^{\circ}\text{C}/\text{км}$, $R^2 = 0,98$), что даже превышает стандартное значение и отражает интенсивный конвективный прогрев на низменностях при сохранении холодного воздуха в высокогорье (рис. 3). Минимальные значения - в ноябре-декабре ($-2,75...-3,04^{\circ}\text{C}/\text{км}$), когда инверсионные процессы наиболее выражены.

Столбчатая диаграмма отражает годовой цикл градиента: от максимума в июне ($6,53^{\circ}\text{C}/\text{км}$) до минимума в декабре ($2,75^{\circ}\text{C}/\text{км}$). Красная пунктирная линия обозначает стандартный адиабатический градиент $6,5^{\circ}\text{C}/\text{км}$ — его превышает только июнь.

Месячный градиент температуры (2020–2025)

Макс. июнь $6,53^{\circ}\text{C}/\text{км}$ | Мин. декабрь $2,75^{\circ}\text{C}/\text{км}$

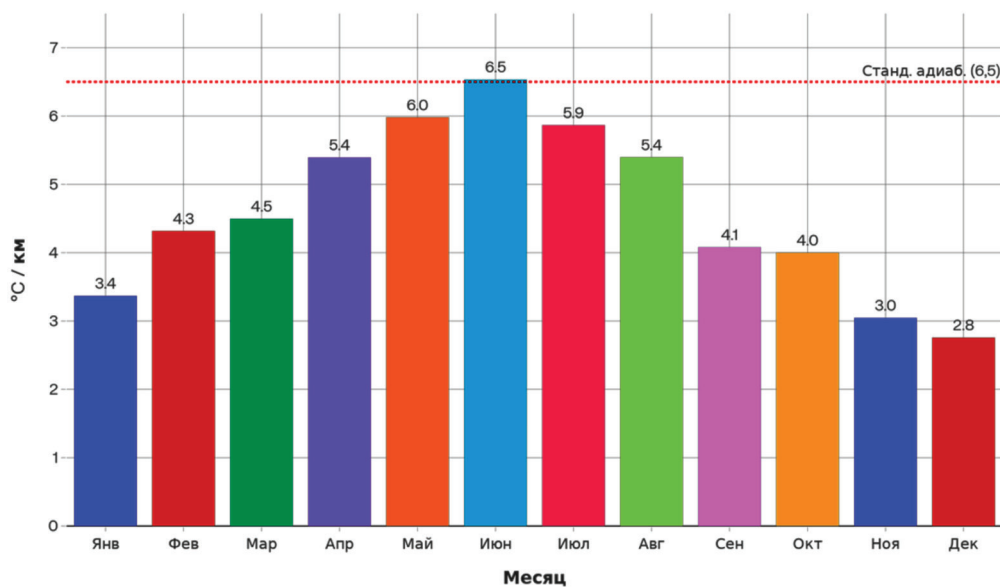


Рисунок 3. Помесячный градиент температуры.

Температурный режим по высотным поясам. Для углублённого анализа станции были объединены в четыре высотных пояса (табл. 4).

Обращает на себя внимание, что в зимний период разница между низинами

(3,8°C) и среднегорьем (3,1°C) минимальна - всего 0,7°C, тогда как летом она достигает 1,9°C. Наиболее резкий температурный скачок наблюдается при переходе от пояса гор к высокогорью (>2000 м): зимой - на 6,4°C, летом - на 7,8°C.

Таблица 4. Средняя температура (°C) по высотным поясам и сезонам.

Высотный пояс	Зима	Весна	Лето	Осень
Низины (<600 м)	3,8	17,8	27,9	14,4
Среднегорье (600-1200 м)	3,1	15,5	26,0	13,6
Горы (1200-2000 м)	3,2	14,7	23,3	13,4
Высокогорье (>2000 м)	-3,2	6,7	15,5	6,8

Температурные инверсии. В зимний период зафиксировано, что в 18,1% дней ночная температура в Худжанде (410 м) оказывалась ниже, чем в Истаравшане (1004 м). Это указывает на формирование приземных инверсий в Ферганской долине, обусловленных радиационным выхо-

лаживанием и застоём холодного воздуха в межгорных котловинах.

Межгодовая стабильность градиента. Анализ по годам показал, что после 2021 г. градиент стабилизировался в диапазоне -4,6...-4,8°C/км при $R^2 > 0,91$ (табл. 5).

Таблица 5. Межгодовая стабильность градиента.

Год	Градиент (°C/км)	R^2
2021	-3,87	0,60
2022	-4,78	0,92
2023	-4,59	0,95
2024	-4,74	0,93
2025	-4,63	0,92

Аномально низкий R^2 в 2021 г. может объясняться неполнотой данных за начальный период наблюдений.

Полученное значение среднегодового градиента (-3,89°C/км) существенно ниже стандартного адиабатического (-6,5°C/км) и значений, характерных для свободной атмосферы. Аналогичные результаты получены и для других горных регионов Центральной Азии: для Тянь-Шаня градиент оценивается в пределах -4,5...-5,5°C/км, для северных склонов Гиссарского хребта - около -5,0°C/км.

Заниженный градиент в Согдийской области объясняется несколькими факторами:

1. Котловинный эффект - станции низинной зоны (Худжанд, Гулистон, Бу-

стон) расположены в Ферганской долине, где зимой формируются устойчивые инверсии, занижающие средние температуры на низких высотах.

2. Неравномерность экспозиции - горные станции имеют различную ориентацию склонов, что влияет на инсоляцию.

3. Фёновые эффекты - при южных потоках на подветренных склонах наблюдается адиабатический нагрев, искажающий градиент.

Сезонная динамика градиента полностью согласуется с физическими закономерностями: летом интенсивная конвекция обеспечивает более эффективный перенос тепла по вертикали, приближая реальный градиент к адиабатическому (-5,96°C/км). Зимой же ослабление кон-

векции и радиационное выхолаживание долин приводят к «сжатию» температурного профиля.

Особый интерес представляет июньский максимум градиента ($-6,53^{\circ}\text{C}/\text{км}$), превышающий стандартное адиабатическое значение. Это может объясняться тем, что низинные станции в июне подвергаются экстремальному нагреву (средняя дневная температура Худжанда достигает $+40^{\circ}\text{C}$), тогда как высокогорные станции остаются относительно прохладными из-за таяния снежного покрова и повышенной альбедо.

Выводы

Полученные результаты имеют существенное значение для практики: при разработке агроклиматических моделей для Согдийской области следует использовать не стандартный градиент, а сезонно-дифференцированные значения. Это позволит точнее оценивать теплообеспеченность различных высотных поясов, определять границы культивирования сельскохозяйственных культур и прогнозировать сроки вегетационного периода.

Таким образом, средний вертикальный градиент температуры воздуха в Согдийской области составляет $-3,89^{\circ}\text{C}/\text{км}$, что примерно на 40 % ниже стандартного адиабатического значения. Выявлена чётко выраженная сезонная дифференциация показателя: от $-5,96^{\circ}\text{C}/\text{км}$ в летний период до $-3,48^{\circ}\text{C}/\text{км}$ зимой. Наибольшее месячное значение градиента наблюдается в июне ($-6,53^{\circ}\text{C}/\text{км}$), наименьшее - в декабре ($-2,75^{\circ}\text{C}/\text{км}$).

В зимний период температурные инверсии фиксируются в 18,1 % случаев (по числу дней наблюдений), что указывает на существенное влияние котловинного эффекта Ферганской долины.

Межгодовая стабильность градиента в 2022–2025 гг. (в пределах $-4,6\dots-4,8^{\circ}\text{C}/\text{км}$ при $R^2 > 0,91$) подтверждает надёжность полученных оценок.

Для целей агроклиматического зони-

рования горных территорий Согдийской области целесообразно использовать сезонно дифференцированные значения вертикального градиента температуры вместо единого среднегодового показателя.

Литература

1. Курбон, Н. Проблемы изменения климата: взгляды на причины, последствия и подходы к адаптации / Номвар Курбон. – Душанбе: Дошиш, 2025. – 260 с. (на тадж. яз.)
2. Курбонов, Н.Б. К вопросу изменения климата Таджикистана в условиях глобального потепления / Н.Б. Курбонов // Вестник Педагогического университета. Естественные науки. – 2022. – № 3(15). – С. 22-31. – EDN QQFYLB.
3. Курбонов, Н.Б. Изменение климата за период 1961-2011 гг. в Таджикистане / Н.Б. Курбонов, Ш.Б. Курбонов // Земледелец. – 2014. – №3. – С.83-85. – EDN SZGZYV.
4. Курбонов, Н. Б. Мониторинг изменения атмосферной температуры и осадков в Таджикистане за период 1961-2011 гг. / Н.Б. Курбонов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2014. – №1-3(134). – С.76-80. – EDN VVSTOV.
5. Влияние рельефа на формирование местного микроклимата (на примере южного склона Гиссарского хребта) / Н.Б. Курбон, О.Ш. Маджидов, Ф.Д. Шарифов, С.О. Мирзохоннова // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т.16. – №4(62). – С.1849-1861. – DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1849-1861. – EDN PTMYQM.
6. Давлатов, Д. С. Физико-химический состав воды шахты «Восточная» / Д.С. Давлатов, Х.Ё. Ашуров, С.К. Ходжиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2020. – № 4(52). – С. 52-56.
7. Ашуров, Х.Ё. Очистка шахтной воды от тяжелых металлов с применением сульфата железа в качестве коагулята / Х.Е. Ашуров, Д.С. Давлатов, С.К. Ходжиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2020. – № 4(52). – С. 60-64.
8. Бобушев Т.С., Шерматов Е. Температурный режим долины Зеравшана // Доклады АН РТ. – 2018. – Т. 61, № 3. – С. 215–221.
9. Li X., Wang L., Chen D. et al. Near-surface air temperature lapse rates in the mainland of China during 1962–2011 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2013. – Vol. 118. – P. 7505–7515.
10. Guo X., Wang L., Tian L. Spatio-temporal variability of vertical gradients of major

meteorological observations around the Tibetan Plateau // International Journal of Climatology. - 2016. - Vol. 36. - P. 1901–1916.

11. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. - Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2008. - 247 с.

ОИД БА ТАДЖИКИ ГРАДИЕНТИ ҲАРОРАТИ ҲАВО ДАР ВИЛОЯТИ СУҒД

Ҳочизода С.Қ.^{1*}, Шербоев М.А.¹

¹Донишкадаи кӯҳӣ ва металлургии Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: saidmukbil@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар асоси 12 пойгоҳи метеорологии вилояти Суғд, аз 318 то 3143 м аз аз сатҳи баҳр, дар давраи солҳои 2020-2025 (19 532 ба қайдгирӣ), таҳқиқи градиенти ҳарорати ҳаво иҷро гардид. Муайян карда шуд, ки градиенти ҳарорати миёна то $-3,89^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ($R^2=0,66$; $p < 0,001$)-ро ташиқ медиҳад, ки ин адад аз градиенти адиабатии стандартӣ ($-6,5^{\circ}\text{C}/\text{км}$) паст мебошад. Тафовути назарраси мавсимӣ ошкор карда шуд: градиенти ҳарорат дар тобистон ($-5,96^{\circ}\text{C}/\text{км}$) ба бузургии стандартӣ наздик мешавад, дар ҳоле ки градиенти ҳарорат дар зимистон ($-3,48^{\circ}\text{C}/\text{км}$) буда, нисфи онро ташиқ медиҳад. Градиенти максималии моҳона дар моҳи июн ($-6,53^{\circ}\text{C}/\text{км}$, $R^2=0,98$) ва минималии дар моҳи декабр ($-2,75^{\circ}\text{C}/\text{км}$) ба қайд гирифта шудааст. Тағйирёбии ҳарорат дар давраи зимистон дар 18,1% ҳолатҳо мушоҳида шудааст. Натиҷаҳо барои минтақабандии агроқлимӣ ва арзёбии захираҳои иқлимӣ дар минтақаҳои кӯҳистонии Тоҷикистон аҳамияти амалӣ доранд.

Калидвожаҳо: градиенти ҳарорат, минтақабандии баландӣ, вилояти Суғд, истгоҳҳои метеорологӣ, тағйирёбии мавсимӣ, тағйирёбии ҳарорат.

ABOUT THE RESEARCH ON THE AIR TEMPERATURE GRADIENT IN THE SUGHD REGION

Hojizoda S.Q.^{1*}, Sherboev M.A.¹

¹Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: saidmukbil@mail.ru

Abstract. Based on data from 12 meteorological stations in Sughd region, located at elevations from 318 to 3143 m above sea level during 2020–2025 (19,532 records), the vertical temperature gradient was investigated. The mean temperature lapse rate was found to be $-3.89^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ($R^2=0.66$; $p<0.001$), significantly lower than the standard adiabatic lapse rate ($-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Pronounced seasonal differentiation was revealed: the summer gradient ($-5.96^{\circ}\text{C}/\text{km}$) approaches standard values, while the winter gradient ($-3.48^{\circ}\text{C}/\text{km}$) is approximately half. The maximum monthly gradient was recorded in June ($-6.53^{\circ}\text{C}/\text{km}$, $R^2=0.98$), the minimum in December ($-2.75^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Temperature inversions were observed in 18.1% of winter days. The results have practical implications for agroclimatic zoning and assessment of climate resources in Tajikistan's mountainous regions.

Keywords: temperature lapse rate, altitudinal zonation, Sughd Province, meteorological stations, seasonal variability, temperature inversion.

Маълумот дар бораи муаллифон: Ҳочизода Саидмукбил Қосим – доктори илмҳои техникӣ, мудири кафедраи фанҳои табиӣ-илмӣи Донишкадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон, Тел.: (+992) 92-732-08-41, E-mail: saidmukbil@mail.ru; Шербоев Муродҷон Ашуралиевич – сардори маркази зехни сунъӣ ва технологияҳои иттилоотии Донишкадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон, тел.: (+992) 93-355-95-00.

Сведения об авторах: Ходжизода Саидмукбил Қосим – доктор технических наук, заведующий кафедрой естественно-научных дисциплин Горно-металлургического института Таджикистана, Тел.: (+992) 92-732-08-41, E-mail: saidmukbil@mail.ru; Шербоев Муродҷон Ашуралиевич – руководитель центра искусственного интеллекта и информационных технологий Горно-металлургического института Таджикистана, Тел.: (+992) 93-355-95-00.

Information about the authors: Hojizoda Saidmukbil Qosim – Doctor of Technical Sciences, Head of Natural sciences chair of Mining-Metallurgical Institute of Tajikistan, tel.: 92-732-08-41, E-mail: saidmukbil@mail.ru; Sherboev Murodjon Ashuralievich – Head of the Center for Artificial Intelligence and Information Technologies of the Mining-Metallurgical Institute of Tajikistan, Phone: (+992) 93-355-95-00.

МОДЕЛСОЗӢ ВА ТАҲЛИЛИ ДУРНАМОИ РУШДИ ЗАХИРАҶОИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКӢ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ ВАХШ

Раҳмонов Ш.С.¹, Гулаҳмадзода А.А.^{1,*}, Давлатшоев С.Қ.¹,
Давронов О.Б.¹, Азизов З.Б.¹

¹Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул: agulakhmadov@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар шароити афзоиши талабот ба неруи барқ ва фишорҳо ба муҳити зист, гидроэнергетика ҳамчун манбаи тоза ва барқароршавандаи энергия мавқеи муҳим пайдо намудааст. Бо вучуди ин, системаҳои гидроэнергетикӣ ба тағйирёбии иқлим хеле ҳассос буда, ин омил ба ҳаҷми истеҳсоли неру, идоракунии захираҳо ва бехатарии иншоот таъсири назаррас мерасонад. Тадқиқоти мазкур ба омӯзиши устувории захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарӢи Вахш (Ҷумҳурии Тоҷикистон) равона гардида, бо истифода аз таҳлили рақамӣ, моделсозии сарфи барфоб ва арзёбии эрозияи хок паҳншавии фазои захираҳо муайян карда шудааст. Дар асоси се сценарияи иқлимӣ (RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5) тамоюлҳои рушди иқтисодии гидроэнергетикӣ моделсозӣ гардида, сатҳи эрозияи хок ҳисоб карда шуд. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки иқтисодии солонаи гидроэнергетикӣ чунин арзёбӣ мегардад: ноҳияи Раит - 55,465 млрд кВт·соат дар як сол, Рогун - 112,737 млрд кВт·соат дар як сол, Норак - 78,853 млрд кВт·соат дар як сол.

Мувофиқи ҳамаи сценарияҳои баррасишуда, ҳаҷми сарфи об ва истеҳсоли неруи барқ тамоюли афзоиши дошта, нишондиҳандаҳо дар ҳудуди 162 то 328 108 кВт·соат дар як сол тағйир меёбанд. Суръати афзоиши мутаносибан чунин пайдарҳамӣ дорад: RCP4.5 < RCP2.6 < RCP8.5. Натиҷаҳои омӯзиши мазкур барои банақшагирии устувори рушди гидроэнергетика ва қабули қарорҳои илмӣ дар шароити тағйирёбии иқлим муфид мебошанд.

Калидвожаҳо. Захираҳои гидроэнергетикӣ, тағйирёбии иқлим, модели гидрологӣ, эрозияи хок, дарӢи Вахш.

Муқаддима

Бо афзоиши аҳоли ва рушди пайвастаи иҷтимоию иқтисодӣ, талабот ба захираҳои энергетикӣ зиёд гардида, ҳамзамон фишор ба муҳити зист шиддат мегирад [1-3]. Гидроэнергетика ҳамчун манбаи тоза ва барқароршавандаи энергия дорои хусусиятҳои чун таҷдидшавандагӣ, дастрасӣ, самаранокии баланд ва хароҷоти нисбатан паст буда, аз ин рӯ рушд ва истифодаи он дар миқёси ҷаҳонӣ эътирофи васеъ пайдо кардааст [4, 5].

Дар шароити афзоиши муттасили талабот ба неруи барқ ва тақвияти таъсири тағйирёбии глобалии иқлим [6], бисёр кишварҳо рушди гидроэнергетикаро яке аз самтҳои афзалиятноки сиёсати энергетикӣ қарор додаанд. Ин раванд ҳамчун воситаи муҳими муқовимат ба тағйирёбии иқлим ва таъмини рушди устувор арзёбӣ мегардад [7, 8]. Айни замон гидроэнергетика тақрибан 20 фоизи талаботи ҷаҳонии неруи барқро қонеъ менамояд.

Зиёда аз 55 давлат беш аз нисфи истеҳсоли неруи [9] барқи худро аз ҳисоби неругоҳҳои барқи обӣ таъмин мекунанд, аз ҷумла 24 кишваре мавҷуданд, ки дар онҳо саҳми гидроэнергетика дар сохтори тавлиди неруи барқ зиёда аз 90 фоизро ташкил медиҳад [10, 11].

Бо вучуди ин, низоми гидроэнергетикӣ ба тағйирпазирии иқлим ва тағйирёбии дарозмуддати он хеле ҳассос мебошад [10]. Ин ҳолат махсусан барои кишварҳои Осиёи Марказӣ, ки ба таъсири иқлим осебпазиранд, аҳамияти ҷиддӣ дорад [12]. Масалан, дар минтақаи Вилояти Мухтори Кӯхистони Бадахшони Ҷумҳурии Тоҷикистон коҳиши назарраси масоҳати пириҳои Федченко ба қайд гирифта шудааст [13].

Тибқи натиҷаҳои таҳқиқоти ширкати Hydro-Quebec, равандҳои марбут ба тағйирёбии иқлим - аз ҷумла барвақт об шудани барф дар фасли баҳор, коҳиши сарфи об дар тобистон ва афзоиши партофти об

дар зимистон - метавонанд ба иқтидори тавлиди неру, танзими қуллаи сарборӣ, идоракунии талабот ва амнияти сарбандҳо таъсири ҷиддӣ расонанд [14, 15].

Ҳамин тариқ, омӯзиши таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои гидроэнергетикӣ ва таҳияи чораҳои мутобиқшавӣ барои таъмини устувории системаи энергетикӣ аҳамияти стратегӣ касб менамояд.

Дар минтақаи Осиёи Марказӣ тамоюли фарқкунандаи иқлимӣ бо хусусияти «хушкшавии қисмати ғарбӣ ва намнокшавии қисмати шарқӣ» мушоҳида мегардад [16, 17]. Дар се даҳсолаи охир ҳарорати миёнаи солона дар ҳавза 1,2–1,8 °С боло рафта, ин раванд ба суръат гирифтани ақибнишинии пиряхҳо мусоидат намудааст.

Натиҷаҳои моделсозӣ нишон медиҳанд, ки дар сурати афзоиши ҳарорат то 2 °С эҳтимол дорад дар марҳилаи кӯтоҳмуддат ҳаҷми сарфи об то 16,51% зиёд гардад [18]. Тибқи маълумоти воҳиди таҳқиқоти иқлимӣ Climatic Research Unit (CRU), дар давраи солҳои 1970–2013 тағйирпазирии фазоӣ ва мавсимии боришот дар ҳавза шиддат ёфтааст. Аз ҷумла, тамоюли хушкшавии фасли тирамоҳ ба қайд гирифта шуда (коҳиши нишондиҳандаҳои минтақавии хушксолӣ то 23%), ҳамзамон дар фасли баҳор зиёдшавии намнокӣ мушоҳида мегардад.

Афзоиши ҳолатҳои боришоти шадид ба таҳшиншавии бештар дар обанборҳо оварда расонда, хушксолӣ бошад ҳавфи норасоии неруи барқро дар фасли зимистон зиёд менамояд [18, 19].

Тадқиқоти мазкур ба таҳлили миқдорӣ (квантитативӣ)-и вазъи кунунии захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш ва арзёбии тағйирёбии онҳо дар шароити сценарияҳои гуногуни иқлимӣ равона гардидааст.

Дар мақолаи пешниҳодшуда таваҷҷуҳи асосӣ ба омӯзиши динамикаи захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш равона шуда, корҳои зерин

амалӣ мегарданд:

- арзёбӣ ва баҳодихии иқтидори гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш;
- таҳлили тағйирёбии эҳтимолии захираҳои гидроэнергетикӣ дар асоси сценарияҳои мухталифи тағйирёбии иқлим.

Мақсади тадқиқот омӯзиши устуворӣ ва рушди захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш (Ҷумҳурии Тоҷикистон) дар шароити тағйирёбии иқлим мебошад, ки ба банақшагирии устувори истеҳсоли неру ва қабули қарорҳои илмӣ равона шудааст.

Вазифаҳои тадқиқот арзёбӣ ва баҳодихии иқтидори гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарё, таҳлили таъсири сценарияҳои гуногуни иқлимӣ (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) ба захираҳои гидроэнергетикӣ, моделсозии сарфи об ва истеҳсоли неруи барқ, инчунин арзёбии эрозияи хок ва паҳншавии фазоии захираҳо барои муайян кардани тамоюлҳои рушди устувори гидроэнергетика ва пешниҳоди чораҳои мутобиқшавӣ.

Мавод, усулҳо ва минтақаи таҳқиқот

Ҳамчун объекти таҳқиқот ҳавзаи дарёи Вахш дар Ҷумҳурии Тоҷикистон интихоб гардид. Ин дарё аз қаторкӯҳҳои Даумурук дар ҷануби Қирғизистон сарчашма гирифта, аз худуди Қирғизистон ва Тоҷикистон гузашта, дар ниҳоят ба Амударё ҳамроҳ мешавад.

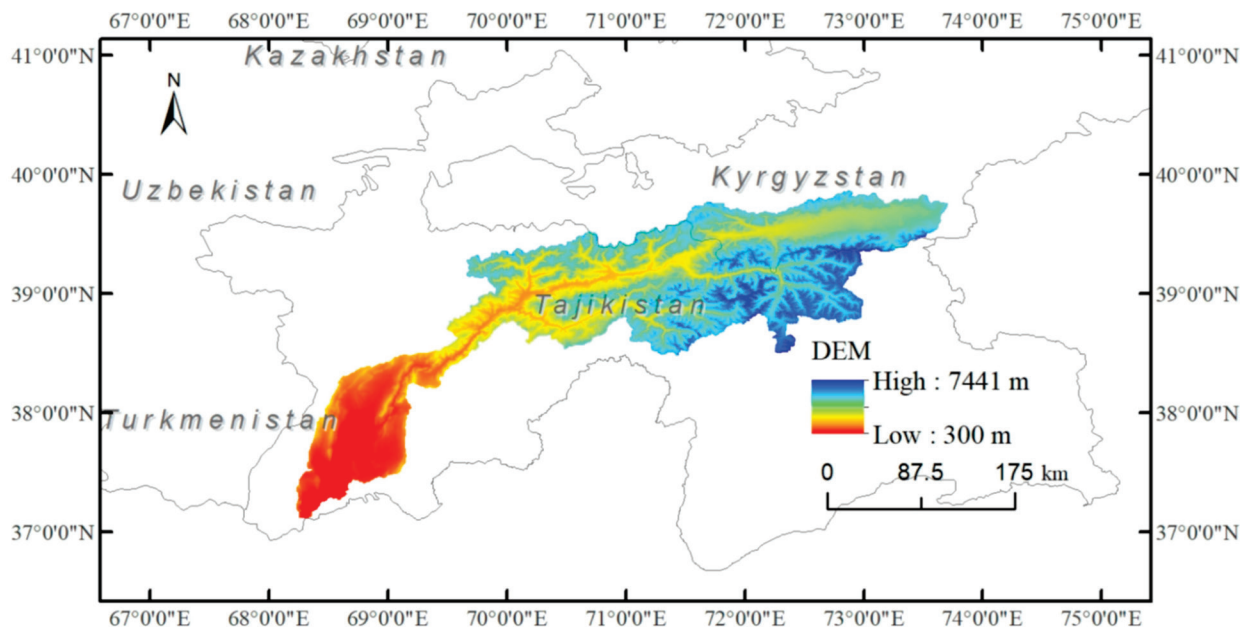
Дарозии умумии дарё 524 км-ро ташкил дода, масоҳати умумии ҳавзаи обҷамъкунӣ 39 100 км² мебошад, ки аз он тақрибан 7900 км² дар худуди Қирғизистон ҷойгир аст. Қисмати болооби дарё дар ҷанубу шарқи Қирғизистон, дар марзи Чин ва Тоҷикистон воқеъ буда, дар арзҳои 39°-40° шимолӣ ва тӯлҳои 72°-74° шарқӣ қарор дорад [20, 21].

Минтақаи сарчашма бо релефи кӯҳистонии баланд, қаторкӯҳҳои азим ва дараҳои чуқур тавсиф мешавад. Баландии миёнаи маҳал аз сатҳи баҳр зиёда аз 3000 метрро ташкил медиҳад. Иқлими минтақа

асосан континенталии муътадил буда, хусусиятҳои возеҳи иқлими баландкӯҳиро доро мебошад.

Дар қисмати болооб (аз 3000 м боло) ҳарорати миёнаи солона одатан аз 10 °С пастр аст, дар ҳоле ки дар водиҳои поёноб ин нишондиҳанда то 18 °С мерасад.

Қисмати ҷанубу шарқии ҳавза, аз ҷумла минтақаҳои наздик ба Помир, солона ба ҳисоби миёна тақрибан 511 мм боришот мегирад. Бо ҳаракат ба самти поёноб миқдори боришот ба таври назаррас коҳиш ёфта, дар баъзе ноҳияҳо ҳаҷми солонаи он аз 200 мм ҳам камтар мебошад.



Расми 1. Харитаи ҷойгиршавии минтақаи таҳқиқот.

Маълумоти истифодашуда

Маълумоти ҳарорат ва боришот барои давраи солҳои 1975–2016 аз ҷониби Агентии обуҳавошиносии назди Қумитаи ҳифзи муҳити зисти назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод гардид.

Барои давраи оянда (2020–2100) маълумоти дурнамо дар асоси моделҳои CMIP5 таҳия шуда, се сценарияи асосии консентратсияи газҳои гулхонаӣ — RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5 – истифода гардиданд. Ин сценарияҳо ба сатҳҳои маҷбуркунии радиатсионӣ мутаносибан 2,6; 4,5 ва 8,5 Вт/м² мувофиқ буда, пешбинӣ менамоянд, ки то соли 2100 консентратсияи CO₂ тақрибан ба 420, 540 ва 940 қисмҳо дар як миллион (ppm) мерасад [21].

Маълумоти вобаста ба қабати барф (1975–2016) ва инчунин маълумоти дурнамои CMIP6 (2020–2100) аз пойгоҳи додаҳои Агентии миллии ҳавонавардӣ ва

кайҳони ИМА – NASA дастрас гардид [22].

Маълумоти рақамии релеф (SRTM DEM) бо дақиқии 90 × 90 м барои минтақаи таҳқиқот аз платформаи Geospatial Cloud гирифта шуд.

Маълумоти истифодабарии замин ва нишондиҳандаҳои сарфи об барои давраи солҳои 1976–1990 аз Маркази миллии муҳити зисти Платои Тибет / «Қутби сеюм» дастрас карда шуданд.

Арзёбии захираҳои гидроэнергетикӣ

Иқтидори назариявии гидроэнергетикӣ дарё арзиши миёнаи дарозмуддати энергияи потенциалии гидравликии онро ифода менамояд, ки дар асоси ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об ва фарқияти баландии қитъаҳои алоҳида ҳисоб карда мешавад.

Дар таҳқиқоти мазкур барои ҳисоббарорӣ модели рақамии релеф (DEM) бо

тақсимои қитъаҳо ба фосилаи 20 км истифода гардид. Иқтидори назариявӣ бо дарназардошти фарқияти баландии байни буришҳои болооб ва поёноб ва инчунин ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об муайян карда шуда, аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад [23]:

$$E_{TRWater} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H \cdot t \quad 1)$$

ки дар он:

$E_{TRWater}$ – иқтидори назариявии гидроэнергетикӣ дарё (J);

ρ – зичии об (дар таҳқиқоти мазкур 1,0 кг/л қабул гардидааст);

g – тезониши ҷозоба (9,8014 м/с², мутобиқи Формулаи байналмилалӣ ҷозоба, соли 1979, барои арзи 39° ҳисоб шудааст);

Q – ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об (м³/с);

$$Q_{n+1} = [C_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{Rn} P_n] \frac{A \cdot 10,000}{86,400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad 1)$$

ки дар он:

Q – ҳаҷми миёнаи шабонарӯзии сарфи об (м³/с);

C – коэффисиенти сарф, ки талафотро ҳамчун нисбати сарф ба боришот (runoff/precipitation) ифода мекунад;

C_s – коэффисиенти сарфи барфоб;

C_r – коэффисиенти сарфи оби боронӣ;

a – омили «дараҷа-рӯз», ки умқи обшавии барфро аз ҳисоби як дараҷа-рӯз нишон медиҳад (см·°C⁻¹·рӯз⁻¹);

ΔT – ислоҳи ҳарорат (экстраполятсия) аз истгоҳи мушоҳидавӣ ба баландии миёнаи гипсометрии ҳавза ё минтақаи баландию релефӣ (°C);

S – ҳиссаи масоҳати бо барф пӯшонидашуда нисбат ба масоҳати умумӣ;

P – миқдори боришоте, ки дар ташаккули сарфи об иштирок мекунад;

A – масоҳати ҳавза ё минтақаи баландию релефӣ (км²);

k – коэффисиенти коҳиш (recession coefficient), ки пастшавии сарфи обро дар давраҳои беобшавии барф ва бе боришот тавсиф менамояд;

ΔH – фарқияти баландии байни қитъаҳои буриши болооб ва поёноб (м);

t – давомнокии вақт (8760 соат дар як сол).

Моделсозии таъсири тағйирёбии иқлим ба сарфи об

Бо дарназардошти он ки дар ҳавзаи дарёи Вахш саҳми сарфи барфоб дар ташаккули маҷрои умумии об хеле баланд мебошад, барои моделсозии равандҳои гидрологӣ дар шароити сенарияҳои гуногуни иқлимӣ модели SRM (Snowmelt Runoff Model) истифода гардид.

Модели SRM як модели концептуалии «дараҷа-рӯз» (degree-day) буда, масоҳати бо барф пӯшонидашударо ҳамчун яке аз нишондиҳандаҳои асосии воридотӣ ба инобат мегирад. Муодилаи асосии он тибқи формулаи (2) ифода мегардад [24].

n – пайдарҳамии рӯзҳо дар давраи ҳисобкунии сарф.

Ифодаи $\frac{10,000}{86,400}$ барои табдили воҳидҳо аз см/км²/рӯз ба м³/с истифода бурда мешавад.

Бо дарназардошти таъсири назаррасии тағйирёбии иқлим дар Осиёи Марказӣ, низоми моделсозии мо барои ҳар се сенарияи концентратсияи намоёндагии партовҳо - RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5 - татбиқ гардид. Барои ин дурнамои иқлимӣ маҷмӯаи моделҳои байналмилалӣ CMIP6 истифода шуд.

Аз ҷумла:

- RCP2.6 сенарияи коҳиши шадиди партовҳоро ифода намуда, расидан ба сатҳи партовҳои холиси манфиरो то соли 2100 пешбинӣ мекунад;
- RCP4.5 сиёсати мӯътадили танзими партовҳоро инъикос намуда, устуворшавии маҷбуркунии радиатсиониро дар сатҳи 4,5 Вт/м² то соли 2100 пешбинӣ менамояд;
- RCP8.5 сенарияи партовҳои баландро таҷассум намуда, дар сурати

набудани чораҳои муассири коҳиш-диҳӣ ба $8,5 \text{ Вт/м}^2$ маҷбуркунии радиатсионӣ то соли 2100 мерасонад.

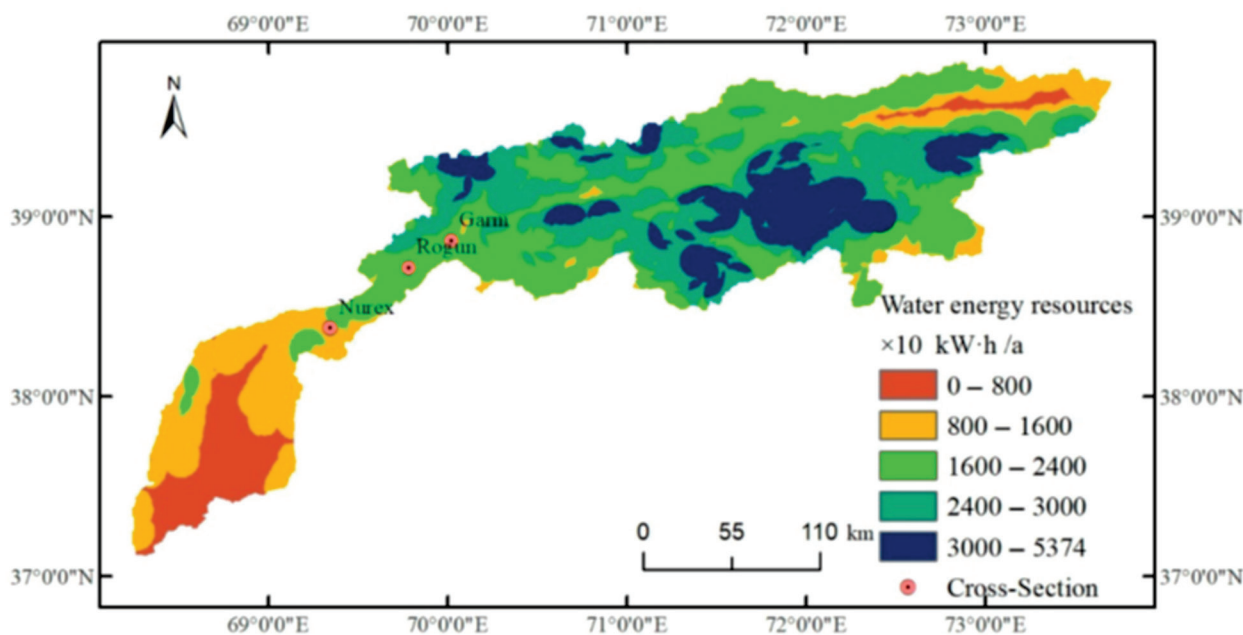
Натиҷа ва муҳокима арзёбии захираҳои энергетикӣ обӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш ва тақсимои фазоии захираҳои гидроэнергетикӣ

Мувофиқи талаботи фосилаи оптималӣ байни неругоҳҳои барқи обӣ, фарқи яти баландии қитъаҳои воҳидӣ бо қадами 20 км дар тамоми ҳудуди ҳавза ба таври нуқта ба нуқта арзёбӣ гардид. Барои ҳисоббарорӣ ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи

об дар қитъаҳои дарё бар асоси нишондиҳандаҳои бисёрсолаи солҳои 1976–1990 қабул карда шуд.

Ҳисобкунии захираҳои гидроэнергетикӣ ҳавзаи дарёи Вахш бо истифода аз формулаи (1) анҷом дода шуд. Дар ҳисобҳо зичии об (ρ) баробар ба $1,0 \text{ кг/м}^3$, тезониши ҷозиба (g) — $9,8014 \text{ м/с}^2$ ва шумораи умумии соатҳои солона (t) — 8760 соат қабул гардид.

Натиҷаҳои ҳисоббарорӣ дар расми 3 инъикос ёфтаанд.



Расми 2. Тақсимои фазоии захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш.

Тибқи натиҷаҳои таҳлил, захираҳои гидроэнергетикӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш дар доираи васеъ тағйир ёфта, аз 52 то 537,4 млрд кВт·соат дар як солро ташкил медиҳанд. Қисмати асосии иқтидори баланд дар минтақаҳои кӯхистонии болооб ҷойгир буда, дар поёноб нишондиҳандаҳо нисбатан пасттаранд. Таҳлили омӯрӣ нишон медиҳад, ки аксарияти ҳудудҳои дорои иқтидори назарраси энергетикӣ мебошанд ва беш аз 90 фоизи масоҳати

ҳавза зиёда аз 100 млрд кВт·соат дар як сол имконияти истеҳсоли неру доранд.

Бо таъя ба инфрасохтори амалкунандаи гидроэнергетикӣ, барои арзёбии муфассал се қитъаи асосии гидрологӣ - Рашт, Роғун ва Норақ - интиҳоб гардида, натиҷаҳои ҳисобҳо дар ҷадвал пешниҳод шудаанд. Ин ҳолат аз фаровонии захираҳои гидроэнергетикӣ ва аҳамияти стратегии ҳавза дар таъмини амнияти энергетикӣ кишвар шаҳодат медиҳад.

Чадвали 2. Ҳисоббарории захираҳои гидроэнергетикӣ дар қитъаҳои намунавии гидрологӣ

Ном	Фарқияти баландӣ (м) аз сатҳи баҳр	Ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об (м³/с)	Захираҳои гидроэнергетикӣ ($\times 10^8$ кВт·соат/сол)
Рашт	2007	321,92	554,65
Роғун	2036	645,00	1127,37
Норак	1413	650,05	788,53

Тибқи натиҷаҳои ҳисоббарорӣ, қитъаи Роғун дорои иқтидори баландтарини гидроэнергетикӣ буда, пас аз он Норак ва Рашт ҷойгир мешаванд. Ин нишондиҳандаҳо аҳамияти стратегии қисми миёна ва болооби ҳавзаи дарёи Вахшро барои рушди минбаъдаи гидроэнергетика тасдиқ менамоянд.

Тибқи маълумоти чадвали 2, захираҳои гидроэнергетикӣ ҳар се қитъаи таҳқиқшуда аз 50 млрд кВт·соат дар як сол бештар мебошанд. Аз рӯи ҳаҷми иқтидор тартиби онҳо чунин аст: Роғун > Норак > Рашт.

Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки тақсими захираҳои гидроэнергетикӣ дар қитъаҳои гуногун танҳо аз мавқеи болооб ё поёноб будан вобаста нест. Гарчанде дар баъзе қитъаҳои поёноб (масалан, Рашт) ҳаҷми миёнаи солонаи сарфи об баландтар бошад ҳам, фарқияти назарраси баландӣ дар қитъаҳои алоҳида метавонад таъсири ҳалкунанда дошта, ба натиҷаи умумии ҳисоббарорӣ бештар таъсир расонад.

Ин ҳолат собит менамояд, ки дар арзёбии иқтидори гидроэнергетикӣ омилҳои морфометрӣ (махсусан фарқияти баландӣ) дар баробари ҳаҷми сарфи об нақши калидӣ мебозанд.

Хусусиятҳои тақсими эҳтимолии захираҳои гидроэнергетикӣ

Бо назардошти он ки сарфи солонаи об дорои тағйирпазирӣ ва номуайянии баланд мебошад, ин омил метавонад барои рушди энергетикаи обӣ мушкилот эҷод намояд. Бо мақсади коҳиш додани хавфҳо ва асоснок намудани сармоягузориҳои иқтисодӣ, омӯзиши қонуниятҳои тақ-

сими эҳтимолии захираҳои гидроэнергетикӣ аҳамияти муҳим дорад.

Дар ин замина, барои се қитъаи намоёндагӣ - Рашт, Роғун ва Норак - таҳлили омӯрӣ бо истифода аз тақсими Пирсон навъи III (Pearson Type III) гузаронида шуд. Натиҷаҳои бадастомада дар расми 4 пешниҳод гардидаанд.

Тибқи натиҷаҳо, ҳангоми сатҳи таъмини кафолатнокӣ дар ҳудуди $75\% \leq p \leq 90\%$, диапозони тақсими захираҳои гидроэнергетикӣ чунин муайян гардид:

- барои Рашт: аз $1,64 \times 10^{10}$ то $1,81 \times 10^{10}$ кВт·соат дар як сол;
- барои Роғун: аз $3,33 \times 10^{10}$ то $3,67 \times 10^{10}$ кВт·соат дар як сол;
- барои Норак: аз $2,33 \times 10^{10}$ то $2,57 \times 10^{10}$ кВт·соат дар як сол.

Ҳангоми банақшагирии неругоҳҳои силсилавии обӣ (каскадӣ), муайян намудани иқтидори кафолатнок ҳамохангсозии фаъолияти неругоҳҳои болооб ва поёнобро талаб менамояд. Азбаски меъёри маъмулӣ барои таъмини кафолатнокӣ одатан дар ҳудуди 75-90% қарор дорад, қитъаҳои мазкур барои банақшагирии минбаъдаи истифодаи гидроэнергетикӣ дар ин доираи эҳтимолий муносиб арзёбӣ мегарданд.

Хусусиятҳои тақсими дохилисолонии захираҳои гидроэнергетикӣ

Тақсими дохилисолонии захираҳои гидроэнергетикӣ асоси муҳим барои тарҳрезии ҳаҷми обанборҳои танзимкунанда дар неругоҳҳо ба ҳисоб меравад, зеро он имкон медиҳад танзими захираҳои об дар давраҳои ғайриселобӣ таъмин карда шавад.

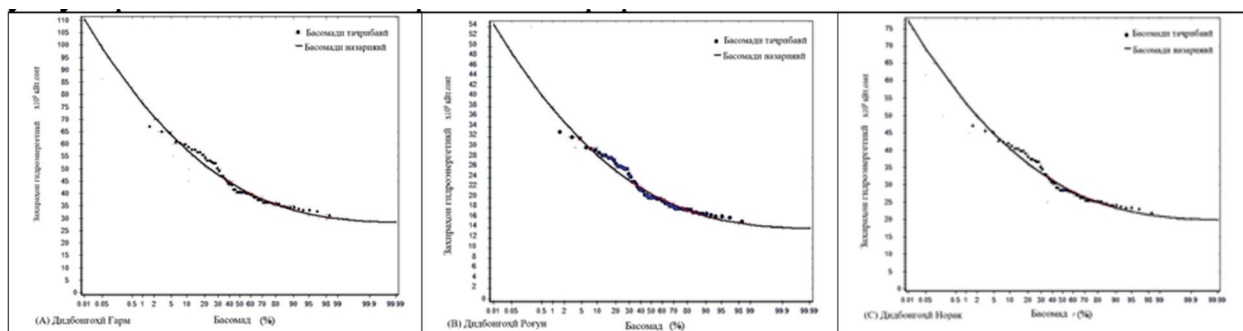
Таҳлили омории маълумоти миёнасолаи давраи солҳои 1976-1985 натиҷаҳои зеринро нишон дод (ниг. расми 3):

Тибқи маълумоти расми 3, тақсими дохилсолонаи захираҳои гидроэнергетикӣ хеле номутавозин мебошад. Қиматҳои пасттарин дар моҳҳои январ–март ба қайд гирифта шуда, мутаносибан $6,03 \times 10^8$; $12,24 \times 10^8$ ва $8,58 \times 10^8$ кВт·соатро ташкил медиҳанд, ки барои ҳар як қитъа тақрибан 2,77% ҳаҷми солоноро дар бар мегирад.

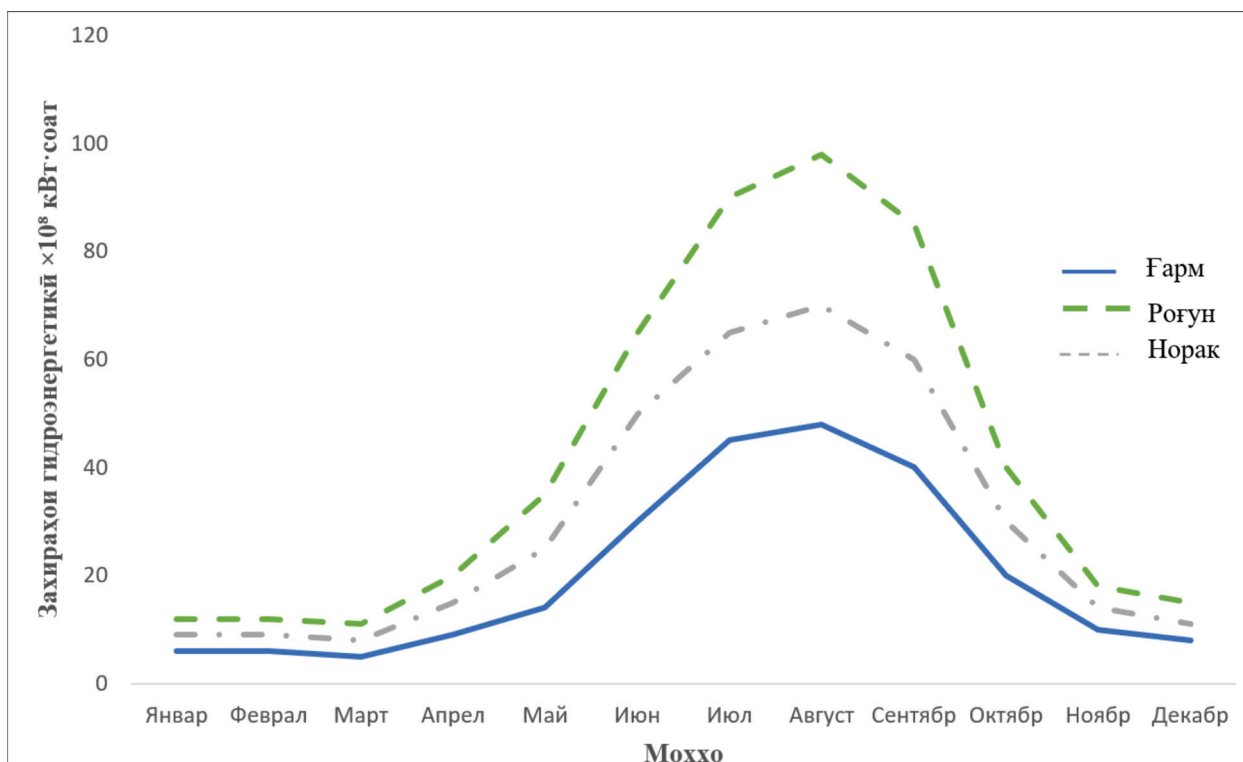
Баръакс, баландтарин нишондиҳандаҳо дар моҳи июн мушоҳида мешаванд

- $47,83 \times 10^8$; $97,04 \times 10^8$ ва $68,02 \times 10^8$ кВт·соат, ки ба ҳисоби миёна 21,96% аз ҳаҷми умумии солоноро ташкил медиҳанд.

Дар маҷмӯъ, ба давраи серобӣ (май–сентябр) 75,13% ҳаҷми умумии захираҳои гидроэнергетикӣ рост меояд, дар ҳоле ки ҳафт моҳи боқимонда танҳо 24,87%-ро дар бар мегирад. Ин ҳолат зарурати танзими мавсимии захираҳои об ва банақшагирии иқтисодии обанборҳоро барои таъмини устувории таъминоти энергетикӣ дар фасли камобӣ нишон медиҳад



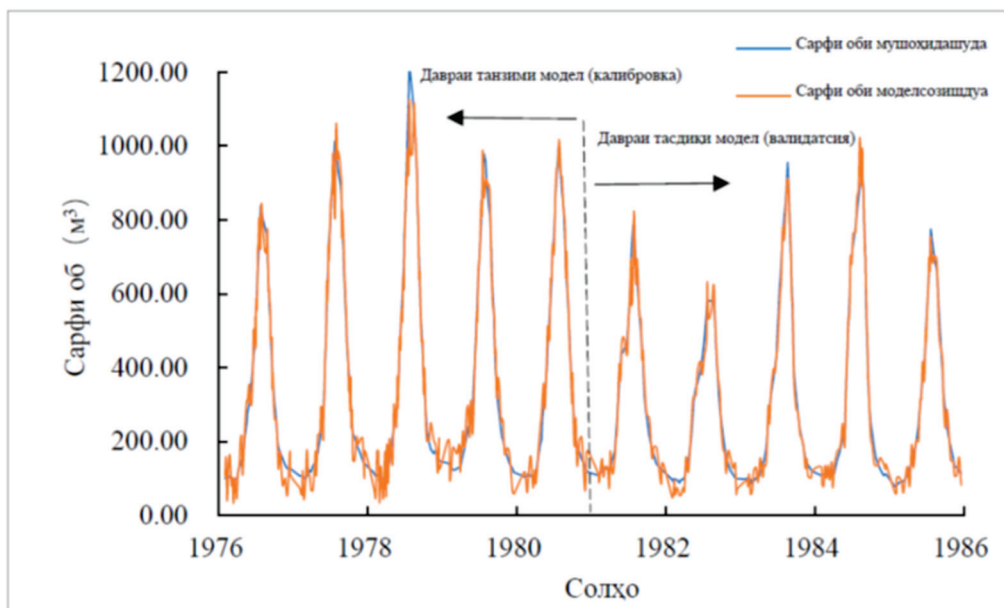
Расми 3. Тақсими эҳтимолии захираҳои гидроэнергетикӣ.



Расми 4. Хусусиятҳои тақсими захираҳои гидроэнергетикӣ дар давоми сол.

Таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои гидроэнергетикӣ ва сарфи об. Дар ҳавзаи дарёи Вахш обшавии пиряхҳо ва барф, ки зери таъсири тағйирёбии иқлим қарор доранд, ба ташаккули сарфи дарё таъсири назаррас мерасонанд. Бо ин мақсад дар таҳқиқоти мазкур барои моделсозии тағйирёбии сарфи об модели SRM (Snowmelt Runoff Model) истифода гардид.

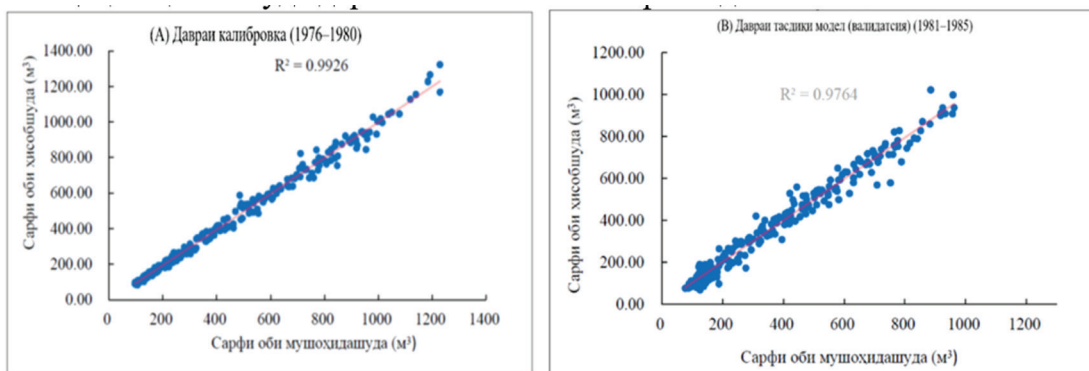
Барои танзими (калибровка) модел маълумоти солҳои 1976-1980 аз истифодаи гидрологии Рашт истифода шуда, барои санҷиши дурустии модел (валидация) маълумоти солҳои 1981-1985 ба кор бурда шуданд. Натиҷаҳои моделсозӣ дар расми 5 пешниҳод гардидаанд.



Расми 5. Моделсозии сарфи об дар қитъаи гидрологии Рашт дар асоси модели SRM.

Тавре ки аз расми 6 бармеояд, мувофиқати баланди байни маълумоти мушоҳидашуда ва натиҷаҳои моделсозӣ ҳам дар марҳилаи танзим ва ҳам дар марҳилаи санҷиш ба назар мерасад. Барои арзёбии дақиқии модел аз нишондиҳандаҳои

оморӣ — коэффисиенти детерминатсия (R^2) ва коэффисиенти самаранокии Nash–Sutcliffe (NSE) - истифода гардид. Натиҷаҳои ҳисобшуда дар Расми 6 инъикос ёфтаанд.



Расми 6. Муқоисаи сарфи воқеӣ ва моделсозӣшудаи шабонарӯзӣ бо истифода аз диаграммаҳои пароканда (scatter plot).

Қиматҳои баланди R^2 ва NSE ($>0,97$) далели мувофиқати хеле хуби модел бо маълумоти воқеӣ буда, қобилияти он барои моделсозии сарфи об дар шароити тағйирёбии иқлимро тасдиқ менамоянд.

Моделҳои SRM дар моделсозии равандроҳои гидрологӣ дар истгоҳи гидрологии Рашт дақиқии баланд нишон дода, қобилияти амалии худро барои истифода дар ҳавзаи дарёи Вахш дар таҳқиқоти дурнамоӣ тасдиқ менамояд. Ин натиҷаҳо имконият медиҳанд, ки модел барои арзёбии минбаъдаи таъсири тағйирёбии иқлим ба сарфи об ва захираҳои гидроэнергетикӣ истифода бурда шавад.

Бо вучуди ин, бояд қайд кард, ки сатҳи баланди мувофиқат метавонад қисман ба давраи нисбатан кӯтоҳи қаторҳои маълумотӣ, ки барои моделсозӣ истифода шудаанд, вобаста бошад. Маҳдудияти давомнокии силсилаи вақт метавонад ба натиҷаҳо дараҷаи муайяни номуайяни ворид намояд ва ҳангоми таҳлили дурнамоӣ дарозмуддат бояд ин омил ба инобат гирифта шавад.

Тағйирёбии нишондиҳандаҳои иқлимӣ – ҳарорати максималӣ (Тмакс), ҳарорати минималӣ (Тмин), ҳарорати миёна (Тмиёна) ва боришот (P) – барои минтақаи таҳқиқот нисбат ба давраи моделсозӣ дар ҷадвали 3 пешниҳод гардидааст.

Ҷадвали 3. Қиматҳои тағйирёбии сценарияҳои иқлимӣ дар ҳавзаи дарёи Вахш нисбат ба давраи асосӣ (1976-1986).

Нишондиҳанда	Сценария	2030	2040	2050	2060	2070	2080
Тмакс (°C)	RCP2.6	0,19	0,18	0,33	0,46	0,44	0,27
	RCP4.5	0,20	0,28	0,36	0,52	0,62	0,61
	RCP8.5	0,21	0,51	0,76	0,83	1,19	1,40
Тмин (°C)	RCP2.6	0,22	0,22	0,35	0,40	0,44	0,27
	RCP4.5	0,26	0,32	0,33	0,50	0,49	0,51
	RCP8.5	0,19	0,46	0,63	0,70	1,04	1,15
Тмиёна (°C)	RCP2.6	0,21	0,20	0,34	0,43	0,44	0,27
	RCP4.5	0,23	0,30	0,35	0,51	0,56	0,56
	RCP8.5	0,20	0,49	0,69	0,76	1,12	1,28
P (мм)	RCP2.6	6,67	5,96	6,97	9,60	6,06	11,41
	RCP4.5	6,27	3,79	8,18	9,86	8,16	8,75
	RCP8.5	8,19	8,22	10,44	8,25	6,72	6,21

Таҳлили маълумоти ҷадвали 3 нишон медиҳад, ки дар панҷоҳ соли оянда дар ҳавзаи дарёи Вахш тамоюли умумии гармшавии иқлим пешбинӣ мегардад. Афзоиши миёнасолаи ҳарорат дар доираи $0,31-0,82$ °C арзёбӣ шуда, боришот низ ба ҳисоби миёна тақрибан 8 мм зиёд мегардад.

Аз нигоҳи сценарияҳои иқлимӣ, дараҷаи афзоиши ҳарорат мутобиқи тартиби RCP2.6 < RCP4.5 < RCP8.5 тағйир меёбад. Дар сценарияи RCP2.6 болоравӣ беш аз $0,3$ °C, дар RCP4.5 беш аз $0,4$ °C ва дар RCP8.5 зиёда аз $0,7$ °C-ро ташкил ме-

диҳад. Дар мавриди боришот бошад, афзоиш дар ҳамаи сценарияҳо тақрибан дар ҳудуди 7,5-8,0 мм боқӣ мемонад.

Бо истифода аз параметрҳои калибровкашуда, модели SRM барои ҳисоб намудани қиматҳои миёнаи моҳонаи ҳарорати максималӣ (Тмакс), ҳарорати минималӣ (Тмин), ҳарорати миёна (Тмиёна) ва боришот дар шароити сценарияҳои RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5 татбиқ гардид. Натиҷаҳои моделсозӣ дар Расми 8 пешниҳод шудаанд.

Тибқи натиҷаҳои расми 7, бо зиёд шудани ҳарорат ва боришот ҳаҷми сар-

фи об низ ба дараҷаҳои гуногун афзоиш меёбад. Дар панҷоҳ соли оянда, бо сатҳи эътимоднокии 95%, ҳаҷми умумии сарфи об барои қитъаҳои Рашт, Роғун ва Норақ мутаносибан $415,64 \pm 57,77$; $832,78 \pm 114,52$ ва $839,30 \pm 168,09$ м³/соняро ташкил медиҳад.

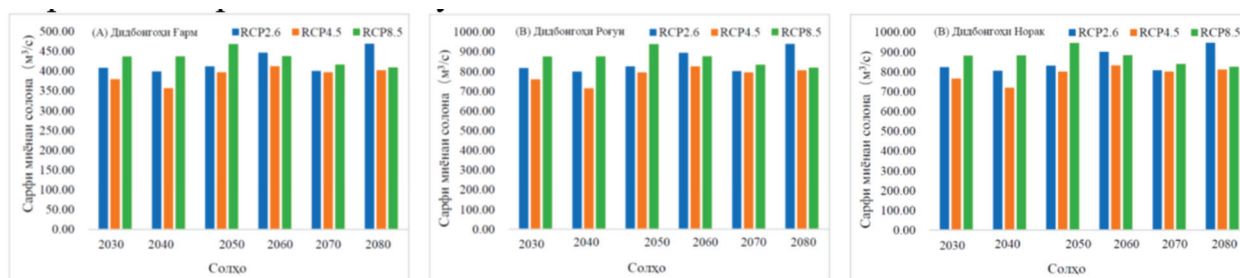
Тамоюли афзоиши сарф мутобики пайдарҳамии RCP4.5 <RCP2.6 <RCP8.5 ба қайд гирифта шудааст, ки аз тамоюли тағйирёбии боришот фарқ мекунад. Ин номувофиқатӣ бо он шарҳ дода мешавад, ки дар ҳавза саҳми асосии ташаккули сарф ба обшавии барф ва пиряхҳо вобаста буда, баландшавии ҳарорат низ нақши ҳалкунанда мебозад.

Бо сатҳи эътимоднокии 95%, афзоиши сарфи об дар қитъаҳои Рашт, Роғун ва Норақ мутаносибан $93,72 \pm 13,04$; $187,78 \pm 25,84$ ва $189,25 \pm 37,91$ м³/соняро таш-

кил дода, барои ҳар се қитъа афзоиш қариб ба 30% мерасад.

Натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур бо ҳулосаҳои пажӯҳишҳои қаблӣ ҳамоҳанг мебошанд. Тибқи арзёбиҳои илмӣ, дар Осиёи Марказӣ тамоюли гузариш ба иқлими гармтар ва нисбатан намноктар пешбинӣ мегардад. Баландшавии ҳарорат боиси афзоиши обшавии барфу пиряхҳо гардида, дар навбати худ сарфи об дар минтақаҳои наздик ба пиряхҳоро зиёд менамояд.

Ин тағйироти иқлимӣ метавонад ба афзоиши басомад ва шиддати селу обхеҷиҳо дар минтақаи Осиёи Марказӣ мусоидат намояд [25], ки зарурати тақвияти идоракунии захираҳои об ва мутобиксозии инфрасохтори гидротехниро тақозо мекунад.

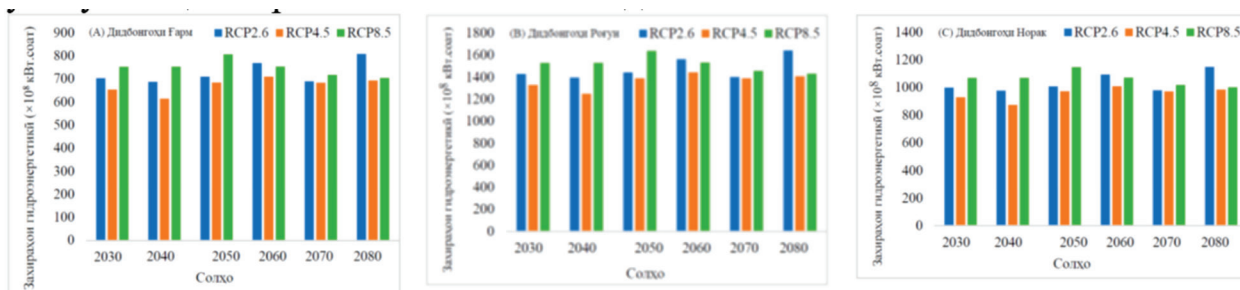


Расми 7. Тағйирёбии сарфи об дар шароити сценарияҳои гуногуни иқлимӣ.

Таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои гидроэнергетикӣ

Бо таъки ба натиҷаҳои моделсозии сарфи об дар шароити сценарияҳои гуногуни иқлимӣ, тағйирёбии захираҳои гидроэнергетикӣ бо истифода аз формулаи (1) ҳисоб карда шуд.

Натиҷаҳои ҳисоббарорӣ дар расми 8 пешниҳод гардидаанд, ки динамикаи тағйирёбии иқтидори гидроэнергетикӣ дар қитъаҳои таҳқиқшуда дар шароити гуногуни иқлимиро инъикос менамоянд.



Расми 8. Тағйирёбии захираҳои гидроэнергетикӣ дар шароити сценарияҳои гуногуни иқлимӣ.

Расми 8 нишон медиҳад, ки дар доираи се сценария (RCP2.6, RCP4.5 ва RCP8.5) афзоиши сарфи об боиси зиёд гардидани захираҳои гидроэнергетикӣ мегардад. Бо сатҳи эътимоднокии 95%, ҳаҷми афзоиш дар доираи $162 \pm 22,54$ то $328 \pm 108 \pm 45$ 652,24 кВт·соат дар як сол тағйир меёбад.

Аз рӯи дараҷаи афзоиш пайдарҳамии зерин мушоҳида мегардад:

$$RCP4.5 < RCP2.6 < RCP8.5.$$

Аз нигоҳи фазой, қитъаи Рашт камтарин афзоишро нишон медиҳад, дар ҳоле ки Норак бештарини афзоишро дорад ва пас аз он Роғун қарор мегирад. Тамоюли тағйирёбии динамикаи сарфи об мувофиқат мекунад, ки вобастагии мустақими захираҳои гидроэнергетикиро аз сарфи об тасдиқ менамояд.

Хулосаҳо

Захираҳои гидроэнергетикӣ барои рушди энергияи тоза дар Ҷумҳурии Тоҷикистон аҳамияти калидӣ доранд. Бо мақсади арзёбии таъсири эҳтимолии тағйирёбии иқлим ба устувории ин захираҳо, дар таҳқиқоти мазкур ҳавзаи дарёи Вахш ҳамчун мисоли намунавӣ интихоб гардид.

Иқтидори гидроэнергетикӣ ҳавза дар доираи 5,2 то 537,4 млрд кВт·соат дар як сол тағйир меёбад. Минтақаҳои дорои нишондиҳандаҳои баланд асосан дар минтақаҳои кӯхистонии болооби Норак мутамарказ буда, дар даштҳои поёнб нишондиҳандаҳо пасттаранд. Зиёда аз 90% масоҳати ҳавза дорои иқтидори бештар аз 100 млрд кВт·соат дар як сол мебошад. Дар сатҳи кафолатнокии $75\% \leq p \leq 90\%$ қиматҳои захираҳо дар қитъаҳои гуногун аз $1,81 \times 10^{10}$ кВт·соат дар як сол зиёд буда, имконияти банақшагирии истифодаи амалии онҳоро фароҳам меорад. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки бо афзоиши ҳарорат ва боришот сарфи об тамоюли зиёдшавӣ дорад. Дар панҷоҳ соли оянда афзоиши сарф дар доираи 68–226 м³/с пешбинӣ мегардад. Тамоюли афзоиш мутобиқи пайдарҳамии RCP4.5 < RCP2.6 < RCP8.5 сураат мегирад.

Дар ҳамаи сценарияҳо захираҳои гидроэнергетикӣ ҳамоҳанг бо сарфи об афзоиш меёбанд (162–328 108 кВт·соат дар як сол), ки аз ҷиҳати фазой ва мавсимӣ бо тағйирёбии сарф мутобиқат дорад. Дар маҷмӯъ, натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки тағйирёбии иқлим метавонад ҳамзамон имкониятҳо (афзоиши иқтидор) ва хавфҳо (афзоиши номутавозинии мавсимӣ ва хавфи обхезӣ) ба вучуд оварад, ки дар сиёсати идоракунии захираҳои об ва банақшагирии рушди гидроэнергетика бояд ба инобат гирифта шаванд.

Адабиёт

- Gilland, B., Population, economic growth, and energy demand, 1985-2020. *Population and Development Review*, 1988: p. 233-244.
- Holdren, J.P., Population and the energy problem. *Population and environment*, 1991. 12(3): p. 231-255.
- Apergis, N. and J.E. Payne, Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy economics*, 2010. 32(6): p. 1392-1397.
- Van Ruijven, B.J., E. De Cian, and I. Sue Wing, Amplification of future energy demand growth due to climate change. *Nature communications*, 2019. 10(1): p. 2762.
- Paish, O., Small hydro power: technology and current status. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2002. 6(6): p. 537-556.
- Siri, R., S.R. Mondal, and S. Das, Hydropower: A renewable energy resource for sustainability in terms of climate change and environmental protection, in *Alternative Energy Resources: The Way to a Sustainable Modern Society*. 2020, Springer. p. 93-113.
- Andronova, I.V., V.V. Kuzmin, and A.A. Tinkova, Global hydropower as the main driver of sustainable development in the context of industry 4.0, in *Industry 4.0: Fighting Climate Change in the Economy of the Future*. 2022, Springer. p. 379-393.
- Othman, M.E.F., et al., Climate challenges for sustainable hydropower development and operational resilience: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2025. 209: p. 115108.
- Viers, J.H., Hydropower relicensing and climate change 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2011. 47(4): p. 655-661.
- Falchetta, G., et al., Hydropower dependency and climate change in sub-Saharan Africa: A nexus framework and evidence-based review. *Journal of Cleaner Production*, 2019. 231: p. 1399-1417.

11. Neupane, P., et al., Climate change influence on hydropower energy output variability. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 2025. 13(3): p. 251-268.
12. Shu, J., et al. Impacts of climate change on hydropower development and sustainability: a review. in *IOP conference series: earth and environmental science*. 2018. IOP Publishing.
13. Zhang, Q., S. Kang, and F. Chen, Glacier variations in the Fedchenko Basin, Tajikistan, 1992–2006: insights from remote-sensing images. *Mountain Research and Development*, 2014. 34(1): p. 56-65.
14. Guay, C., M. Minville, and M. Braun, A global portrait of hydrological changes at the 2050 horizon for the province of Québec. *Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques*, 2015. 40(3): p. 285-302.
15. Fu, X., et al. Impact of snow weather on PV power generation and improvement of power forecasting. in *2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA)*. 2023. IEEE.
16. Chen, F., et al., Westerlies Asia and monsoonal Asia: Spatiotemporal differences in climate change and possible mechanisms on decadal to sub-orbital timescales. *Earth-science reviews*, 2019. 192: p. 337-354.
17. Dilinuer, T., et al., Regional drying and wetting trends over Central Asia based on Köppen climate classification in 1961–2015. *Advances in Climate Change Research*, 2021. 12(3): p. 363-372.
18. Woolway, R.I., et al., Global lake responses to climate change. *Nature reviews earth & environment*, 2020. 1(8): p. 388-403.
19. Аҳмадов, Ф. and Н. Шоасалов, СТРАТЕГИЯИ МИЛЛИИ РУШДИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН БАРОИ ДАВРАИ ТО СОЛИ 2030 ЗАМИНАИ БАЛАНДБАРДОРИИ САТҲИ ЗИНДАГИИ АҲОЛӢ. *Финансово-экономический вестник*, 2024(3 (42)): p. 77-83.
20. ТОҶИКИСТОН, В., КОНФЕРЕНСИЯИ БАЙНАЛМИЛАЛАЛИИ П-ЮМИ ИЛМӢ-НАЗАРИЯВӢ ТАҲТИ УНВОНИ «РУШДИ ИҚТИСОДИ, ИҚТИМОИИ ТОҶИКИСТОН: ДАСТОВАРДҶО, МУШКИЛОТ ВА ДУРНАМОИ ОН».
21. Wang, W., et al., Quantitative soil wind erosion potential mapping for Central Asia using the Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*, 2020. 12(20): p. 3430.
22. Fallah, B., et al., Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections. *International Journal of Climatology*, 2024. 44(10): p. 3191-3213.
23. Chen, M., et al., Statistical insights into the water exchange process in the Yangtze-Poyang System: The YPWES model. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2022. 40: p. 101054.
24. Bilal, H., et al., Snow runoff modelling in the upper Indus River Basin and its implication to energy water food nexus. *Ecological Modelling*, 2024. 498: p. 110871.
25. Asghari, F.B., et al., Data on assessment of groundwater quality with application of ArcGIS in Zanjan, Iran. *Data in brief*, 2018. 18: p. 375.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВАХШ

**Раҳмонов Ш.С.¹, Гулахмадзода А.А.^{1*}, Давлатшоев С.К.¹,
Давронов О.Б.¹, Азизов З.Б.¹**

¹*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана*

**Автор корреспонденции. E-mail: agulakhmadov@gmail.com*

Аннотация. В условиях растущего спроса на электроэнергию и давления окружающей среды гидроэнергетика стала важным источником чистой и возобновляемой энергии. Тем не менее, гидроэнергетические системы очень чувствительны к изменению климата, и этот фактор оказывает значительное влияние на объем производства электроэнергии, управление ресурсами и безопасность объектов. Данное исследование направлено на изучение устойчивости гидроэнергетических ресурсов в бассейне реки Вахш (Республика Таджикистан), с использованием цифрового анализа, моделирования потока снежной воды и оценки эрозии почвы определено пространственное распределение ресурсов. На основе трех климатических сценариев (RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5) были смоделированы тенденции развития гидроэнергетического потенциала и рассчитан уровень эрозии почвы. Результаты показывают, что годовой гидроэнергетический потенциал оценивается следующим образом: Гарм - район - 55,465 млрд кВт·ч в год, Рогун - 112,737 млрд кВт·ч в год, Нурек-78,853 млрд кВт·ч в год. По всем рассмотренным сценариям объем потока воды и выработки электроэнергии имеет тенденцию к увеличению, а показатели колеблются в пределах от 162 до 328 108

кВт·ч в год. Скорость роста соответственно имеет следующую последовательность: RCP4.5 <RCP2.6 <RCP8.5.

Ключевые слова: Гидроэнергетические ресурсы, изменение климата, гидрологическая модель, эрозия почвы, река Вахи.

MODELING AND ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HYDROPOWER RESOURCES IN THE VAKHSH RIVER BASIN

Rahmonov Sh.S.¹, Gulahmadzoda A.A.^{1,*}, Davlatshoev S.K.¹,
Davronov O.B.¹, Azizov Z.B.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: agulakhmadov@gmail.com

Abstract. In the face of increasing electricity demand and environmental pressures, hydropower has become an important source of clean and renewable energy. Nevertheless, hydropower systems are very sensitive to climate change, and this factor has a significant impact on electricity production, resource management, and facility safety. This study is aimed at studying the sustainability of hydropower resources in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan). Using digital analysis, modeling of snow water flow and soil erosion assessment, the spatial distribution of resources has been determined. Based on three climate scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5) trends in the development of hydropower potential were modeled and the level of soil erosion was calculated. The results show that the annual hydropower potential is estimated as follows: Garm district - 55.465 billion kWh per year, Rogun - 112.737 billion kWh per year, Nurek - 78.853 billion kWh per year. According to all the scenarios considered, the volume of water flow and electricity generation tends to increase, and the indicators range from 162 to 328 108 kWh per year. The growth rate, respectively, has the following sequence: RCP4.5 <RCP2.6 <RCP8.5.

Keywords. hydropower resources, climate change, hydrological model, soil erosion, Vakhsh River.

Маълумот дар бораи муаллифон: Раҳмонов Шарифхуҷа Сайвалиевич – ходими калони илмии Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел. (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru, Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор – доктори илмҳои техникӣ, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: agulakhmadov@gmail.com, Давлатшоев Саломат Қаношатшоевич – ходими пешбари илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел. (+992) 919604041, E-mail: salomatda@list.ru, Давронов Одинаҳмад Бегматович – ходими илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел. (+992)004408311, E-mail: odinahmad.davronov@gmail.com; Азизов Зуршо Бобохонович – унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел.: (+992) 985-81-80-80. E-mail: zursho_a@gmail.com.

Сведения об авторах: Раҳмонов Шарифхуджа Сайвалиевич – старший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Тел. (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru, Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор – доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, E-mail: agulakhmadov@gmail.com, Давлатшоев Саломат Қаношатшоевич – ведущий научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Тел. (+992) 919604041, E-mail: salomatda@list.ru, Давронов Одинаҳмад Бегматович – научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Тел. (+992) 004408311, E-mail: odinahmad.davronov@gmail.com; Азизов Зуршо Бобохонович – соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. Тел.: (+992) 985-81-80-80. E-mail: zursho_a@gmail.com.

Information about the authors: Rakhmonov Sharifkhujja Saivalievich – Senior Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Phone: (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru, Gulahmadzoda Aminjon Abdujabbor - doctor of sciences, Director of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992) 885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com, Davlatshoev Salomat Qanoatshoevich - Leading Researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Phone: (+992) 919604041, E-mail: salomatda@list.ru, Davronov Odinahmad Begmatovich – Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the

National Academy of Sciences of Tajikistan. Phone: (+992) 004408311, E-mail: odinahmad.davronov@gmail.com; Azizov Zursho Bobokhonovich – researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Tel.: (+992) 985-81-80-80. E-mail: zursho_a@gmail.com.

УДК: 662.76:620.9:631.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В РЕАЛЬНЫХ БЫТОВЫХ УСЛОВИЯХ КИШЛАКА ЧОРБОГ (ВАРЗОБСКИЙ РАЙОН, ТАДЖИКИСТАН)

Абдусамиев Ф.Т.², Бахриев С.Х.^{1,*}, Давлатшоев С.К.¹,
Рахмонов Ш.С.¹, Холназаров Н.Д.¹, Ятимов М.Т.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

²Орловский государственный университет им. Н.В. Парихина (РФ)

*Автор-корреспондент. E-mail: bahriev@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования работы биогазовой установки объёмом 3 м³ в реальных бытовых условиях сельской местности (кишлак Чорбог, Варзобского района, Республика Таджикистан). Рассмотрены технологические аспекты подготовки оборудования, загрузки сырья и выработки биогаза. Особое внимание уделено проблеме герметизации установки и влиянию данного фактора на начало газогенерации. Проведены испытания полученного газа на горение в стандартных газовых горелках, а также попытки его накопления. Описан опыт интеграции системы с солнечной панелью для энергоснабжения компрессора в условиях отсутствия централизованного электроснабжения. Полученные данные представляют практический интерес для внедрения малогабаритных биогазовых установок в хозяйствах Таджикистана.

Ключевые слова: биогаз, возобновляемые источники энергии, биогазовая установка, навоз, альтернативная энергетика, сельское хозяйство Таджикистана, солнечная энергия.

Введение

Актуальность развития альтернативной и малой энергетики в Республике Таджикистан обусловлена наличием удалённых сельских районов, не всегда имеющих стабильное централизованное энергоснабжение, а также значительным потенциалом сельскохозяйственных отходов [1-4]. Одним из перспективных направлений является производство биогаза из органических отходов животноводства, что решает одновременно проблему утилизации отходов, получения энергоносителя для бытовых нужд и удобрений для приусадебного участка [3, 5, 10].

Постановка научной проблемы. Целью настоящей работы являлась практическая оценка работоспособности, особенностей запуска и эксплуатации компактной биогазовой установки объёмом 3 м³ в реальных условиях таджикского кишлака.

Практическое значение. Исследования проводились «в поле», т.е. в условиях быта семьи, с реальным оборудованием, реальными операторами и в реальной среде [7, 11].

Сбор данных и наблюдение.

Сбор данных: Количественные показатели (объём произведённого биогаза в сутки, его метановое число, температура процесса, количество полученных удобрений).

Наблюдение: Качественные аспекты (лёгкость понимания технологии пользователями, частота и тип возникающих проблем, поведение системы при колебаниях температуры или состава сырья).

Работоспособность (техническая эффективность и надёжность). Способность установки выполнять свою основную функцию стабильно и в заявленных параметрах.

Конкретные вопросы, на которые искали ответ (гипотеза):

Способна ли установка данного типа и объёма обеспечивать стабильное производство биогаза при местном климате (жаркое лето, холодная зима)?

Достаточно ли получаемого газа для конкретных хозяйственных нужд семьи (например, на приготовление пищи 2-3 раза в день, освещение)?

Насколько эффективно происходит сбраживание местных видов сырья (не только классический коровий навоз, но и отходы от овец, коз, возможно, растительные остатки) [12]?

Особенности запуска (критическая фаза внедрения). Анализ начального, наиболее ответственного этапа, от которого зависит весь последующий процесс.

Подготовка сырья: Какая предварительная обработка требуется для местного сырья (измельчение, смешивание с водой, удаление примесей)?

Инициирование процесса (заквашивание): Сколько времени, какого «стартового» материала (например, активного ила) и каких условий (температура) потребовалось для запуска устойчивого брожения в условиях кишлака?

Запуск био-реакторной установки: с какими типичными проблемами и ошибками сталкиваются пользователи на этапе запуска (закисание, пенообразование, низкая активность) и как их решать без привлечения высококвалифицированных специалистов [5, 11]?

Особенности эксплуатации (повседневное использование и адаптация)

Изучение рутинных операций по поддержанию работы установки силами самих жителей.

Режим загрузки: Какой оптимальный график загрузки сырья и выгрузки удобренний (ежедневно, раз в два дня)? Удобен ли он для местного уклада жизни?

Требования к обслуживанию: Насколько трудоёмки ежедневные опера-

ции (перемешивание, проверка давления, очистка фильтров)? Можно ли их интегрировать в распорядок дня семьи?

Устойчивость к ошибкам оператора: Как система реагирует на пропуск загрузки, перегрузку, использование «нештатного» сырья?

Сезонность: как меняется работа установки в разные времена года и какие меры необходимы для её зимней работы (утепление, подогрев) [10]?

Компактная биогазовая установка объёмом 3 м³ (объект исследования)

Исследование сфокусировано не на промышленном, а на семейно - хозяйственном варианте [1, 2].

Значение выбора такого объёма: Он соответствует потребностям одной семьи или небольшого хозяйства (2-3 головы КРС, около 10 голов МРС и 20-30 голов кур). Это делает исследование релевантным для большинства потенциальных пользователей в кишлаке.

В реальных условиях таджикского кишлака Чорбог.

Все перечисленные выше оценки проводятся не в идеализированных условиях, а с учётом локальной специфики [8,13].

Учёт критических факторов среды:

Климат: Резко континентальный климат с высокими дневными температурами и холодными ночами, а также сезонными колебаниями [9].

Сырьевая база: Характерный для кишлака набор сельскохозяйственных животных и растительных отходов [12].

Инфраструктура: Возможное отсутствие стабильного электроснабжения, централизованного водоснабжения, ограниченный доступ к запчастям и сервису.

Социально-экономический и культурный контекст: Уровень образования и технической грамотности пользователей, традиционный уклад жизни, готовность принимать инновации, роль женщин в ведении хозяйства (часто именно они от-

вечают за приготовление пищи и отопление).

Методика проведения работ и необходимые материалы.

1. Место проведения эксперимента. Эксперимент проводился в одном из ближайших к столице районов Республики Таджикистан, в кишлаке Чорбог, в начале июня 2025 года. Климатические условия характеризуются большим количеством солнечных дней (свыше 300 в году), что было учтено при планировании энергообеспечения установки [9].

2. Оборудование. Использовалась биогазовая установка (метантенк) общим объёмом примерно 3 м³ (3000 литров), предоставленная Институтом водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджики-

стана. Установка состоит из (Рис.1): основного ферментационного резервуара; системы газопроводов; электрического компрессора; газовой горелки для тестирования (расширитель).

Подготовка сырья и загрузка. В качестве субстрата использовался навоз сельскохозяйственных животных:

1. Навоз крупного рогатого скота (КРС).

2. Навоз мелкого рогатого скота (овец).

3. Птичий (голубиный) и куриный помёт.

Субстрат подготавливался путём смешивания с водой. Стандартная рецептура: 25 кг свежего навоза КРС на 175 литров воды. Полученная суспензия загружалась в реактор [5, 10, 12].



Рисунок 1. Био-реакторная установка для производства биогаза.

Для обеспечения работы компрессора в условиях отсутствия электросети была дополнительно развернута автономная

система на основе солнечной панели, аккумулятора и преобразователя (инвертора) [7, 13].

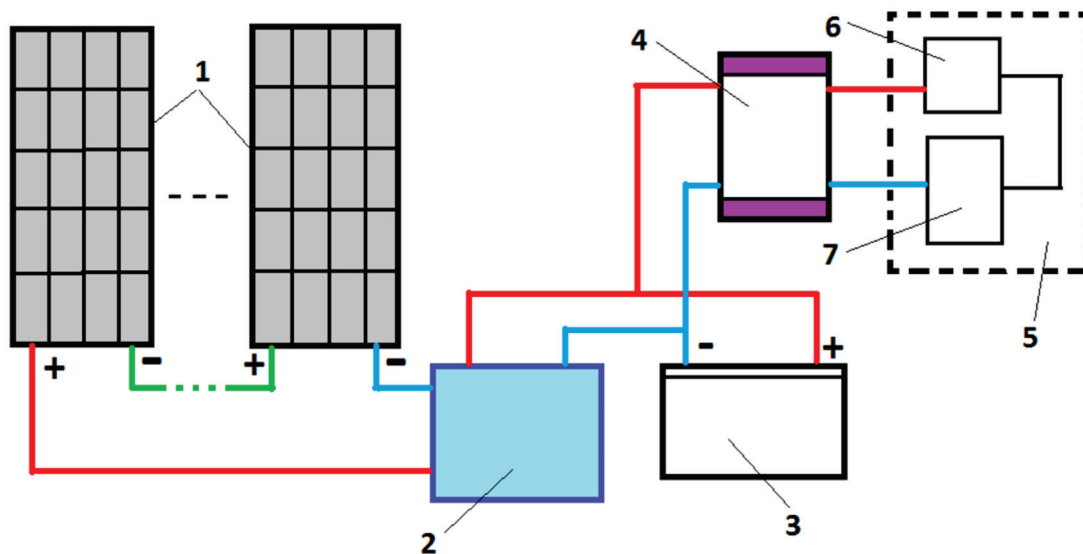


Рис.2. Схема работы биогазового реактора:
 1- солнечные панели; 2-контроллер; 3-аккумуляторы; 4-инвертор;
 5-биогазовый реактор; 6-реле температуры; 7-нагревательное устройство.

Методика проведения эксперимента

1. Монтаж и герметизация установки на выбранной площадке.

2. Первичная загрузка реактора на 2/3 его объёма (около 900 литров подготовленного субстрата).

3. Наблюдение за процессом в течение 15-20 дней.

4. При отсутствии газовыделения – проверка и усиление герметичности всех соединений и загрузка дополнительной порции субстрата (около 500 литров).

5. Регулярный контроль появления газа, его отбор и тестирование на горение.

6. Испытания газа на различных горелках и попытки накопления в баллонах.

7. Подключение и использование солнечной энергосистемы для питания компрессора [11, 13].

Экспериментальные исследования, результаты и обсуждение

1. Процесс запуска и начало газогенерирования.

После первичной загрузки (900 л) в течение 15-20 дней выделение биогаза не наблюдалось. Основной причиной была признана недостаточная герметичность установки. После устранения утечек и догрузки субстрата до рабочего уровня, на-

чалось процесс активного газовыделения, наблюдалось уже на 4-5 день.

Этот опыт подчеркивает критическую важность абсолютной герметичности биогазовой системы, особенно на этапе запуска, когда давление газа в реакторе невелико и не может преодолеть даже мелкие неплотности [5, 10, 11].

2. Качество и количество биогаза

Полученный газ успешно воспламенялся. Тестовое горение на штатной горелке установки показало, что за 10-15 минут кипятилось 2.5-3 литра воды, что свидетельствует о достаточной калорийности газа.

Были испытаны разные виды сырья:

Навоз КРС: Стабильное газовыделение.

Овечий навоз: Давал хороший результат.

Птичий помёт (голубиный): Показал отличный результат, что согласуется с известными данными о высокой метаногенной активности птичьего помета из-за большего содержания азотистых соединений [3, 6, 12, 16].

3. Практическое использование газа

Горение в специализированной горелке: Успешно.

Использование в стандартных бытовых газовых приборах (4-комфорочная плита): Не дало результата. Вероятной причиной является недостаточное давление или наличие примесей (в первую очередь, сероводорода и влаги), требующее дополнительной очистки и регулировки газового оборудования [10].

Накопление в газовые баллоны: Попытка накачать газ компрессором установки в баллоны для хранения также не увенчалась успехом. Это указывает на необходимость доработки системы отбора, очистки и компремирования газа для задач накопления.

4. Интеграция с солнечной энергетикой

Для обеспечения работы электрического компрессора установки в условиях отсутствия сети была успешно опробована гибридная система:

Солнечная панель -> Контроллер заряда -> Аккумулятор -> Преобразователь (220В) -> Компрессор.

Данное решение доказало свою эффективность и автономность, что особенно актуально для большинства сельских районов Таджикистана с высокой инсоляцией [7, 8, 9, 13].

Выводы

Проведенные эксперименты подтвердили принципиальную возможность и практическую целесообразность использования компактных биогазовых установок объемом 3 м³ в бытовых условиях Таджикистана. Установка способна перерабатывать различные виды местного органического сырья (навоз КРС, МРС, куриный и птичий помёт) с выработкой горючего газа для базовых нужд.

Ключевыми моментами являются:

1. Герметичность – основной технологический параметр, требующий самого пристального внимания при монтаже и эксплуатации.

2. Полученный газ пригоден для сжигания в специализированных горелках,

но требует дополнительной доочистки и адаптации для использования в стандартном бытовом газовом оборудовании.

3. Система нуждается в доработке узла компремирования и накопления газа для повышения удобства его использования.

4. Интеграция с солнечными батареями создаёт полностью автономный энергетический комплекс, идеально соответствующий условиям Таджикистана.

Экспериментальные работы в области биогазовых технологий в местных условиях продолжаются, что позволит оптимизировать параметры установок и разработать типовые решения для широкого внедрения в Республике Таджикистан [4,15].

Литература

1. Абдусамиев Ф.Т., Нажмуудинов Ш.З., Бурмистров А.Н. Анаэробный реактор. Малый патент №ТJ 219 от 11.07.2008г – Душанбе: НПИЦ РТ.
2. Бахриев С.Х., Абдусамиев Ф.Т. и др. Многоуровневая малогабаритная анаэробная биореакторная система. – МП на изобретение № ТJ 816, от 13.01.2016г., опубликовано в бюллетене 123, 2016.
3. Баймуканов Д.А., Исаков М.Б. Биогазовые технологии для сельских хозяйств Казахстана и Центральной Азии. – Алматы: НИИ экологии и устойчивого развития, 2018. – 89 с.
4. Государственная программа по развитию возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан на 2020-2030 годы. – Душанбе, 2020– 45 с.
5. Джоашим Н., Кроушоу С. Биогазовые реакторы: конструкции для развивающихся стран. – Прага: Практическое действие, 2015. – 112 с.
6. Ковалев А.А., Кулагин В.А. Основы биоэнергетики. – М.: Издательство МГУ, 2010. – 256 с.
7. Литвиненко В.Г., Кухаренок Г.М. Автономные энергетические системы на основе ВИЭ для удаленных районов. // Альтернативная энергетика и экология. – 2019. – № 5-7. – С. 54-67.
8. Материалы международной конференции «Возобновляемая энергетика для устойчивого развития Центральной Азии». – Ташкент: НИИ «Физика-Солнце», 2021. – 304 с.
9. Курбонов, Н.Б. Эффективное использование возобновляемых источников энергии в физико-географических условиях Таджикистана / Н.Б. Курбонов // Водные ресурсы, энергетики

- ка и экология. – 2021. – Т.1. – №2. – С.53-57. – EDN YNEDJW.
10. Поляков В.Н. Биогазовые установки для фермерских хозяйств: проектирование и эксплуатация. – СПб.: ПрофиКС, 2014. – 176 с.
 11. Практическое руководство по строительству и эксплуатации малых биогазовых установок. / Под ред. С.П. Гордеева. – М.: ВИМ, 2008. – 98 с.
 12. Рахимов Р.Р., Саидова М.М. Анализ сырьевой базы для производства биогаза в условиях сельского хозяйства Таджикистана // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2020. – № 4. – С. 189-195.
 13. Руководство по гибридным энергосистемам (солнце-биогаз) для сельской местности. – Ашхабад: Региональный экологический центр Центральной Азии (РЭЦЦА), 2017. – 64 с.
 14. Федеральный закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021).
 15. Энергетическая стратегия Республики Таджикистан до 2030 года. – Душанбе: Министерство энергетики и водных ресурсов РТ, 2016. – 120 с.
 16. Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (Eds.). Energy from Organic Materials (Biomass). – Springer, 2016. – 450 p.
 17. Renewable Energy Statistics 2022. – Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2022. – 156 p.

ОМУЗИШИ КОРИ ТАҶҶИЗОТИ БИОГАЗ ДАР ШАРОИТИ ВОҶЕИИ ЗИНДАГИИ ДЕҶАИ ЧОРБОҶ (НОҶИЯИ ВАРЗОБ, ТОҶИКИСТОН)

**Абдусамиев Ф.Т.², Баҳриев С.Х.^{1,*}, Давлатшоев С.К.¹,
Раҳмонов Ш.С.¹, Холназаров Н.Д.¹, Ятимов М.Т.¹**

¹Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Донишгоҳи давлатии Орёл ба номи Н.В. Парахин (Русия)

*Муаллифи масъул. E-mail: bahriev@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар ин мақола натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии неругоҳи биогазши 3 м³ дар шароити воқеии зиндагӣ дар як минтақаи деҳот (деҳаи Чорбоғи, ноҳияи Варзоб) пешниҳод шудаанд. Ҷанбаҳои технологӣ омодагӣ таҷҷизот, боркунии ашёи хом ва истеҳсоли биогаз баррасӣ шудаанд. Таваҷҷуҳи махсус ба масъалаи муҳр кардани агрегат ва таъсири он ба оғози газикунонӣ равона карда шудааст. Санҷишҳои сӯзиши газӣ ҳосилшуда дар сӯзонандаҳои стандартии газӣ ва инчунин кӯшишҳои ҷамъ кардани он гузаронида шуданд. Таҷрибаи ҳамгироии система бо дастгоҳҳои офтобӣ барои кор бо компрессор дар сурати набудани манбаи мутамаркази барқ тавсиф шудааст. Маълумоти бадастовардашуда барои татбиқи неругоҳҳои хурди биогазӣ дар хоҷаҳои деҳқонии Тоҷикистон аҳамияти амалӣ дорад.

Калидвожаҳо: биогаз, манбаъҳои барқароршавандаи энергия, неругоҳи биогазӣ, пору, энергетикаи альтернативӣ, кишоварзии Тоҷикистон, энергияи офтобӣ.

A STUDY OF A BIOGAS PLANT UNDER REAL-LIFE CONDITIONS IN THE VILLAGE OF CHORBOG (VARZOB DISTRICT, TAJIKISTAN)

**Abdusamiyev F.T.², Bakhriev S.Kh.^{1,*}, Davlatshoev S.K.¹,
Rakhmonov Sh.S.¹, Kholnazarov N.D.¹, Yatimov M.T.¹**

¹Institute of Water Problems, Hydropower, and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

²Oryol State University named after N.V. Parakhin (Russia)

*Corresponding author. E-mail: bahriev@mail.ru

Abstract. This article presents the results of an experimental study of a 3 m³ biogas plant under real-life conditions in a rural area (village of Chorbog, Varzob District, Republic of Tajikistan). Technological aspects of equipment preparation, raw material loading, and biogas production are discussed. Particular attention is paid to the problem of sealing the unit and its impact on the onset of gasification. Combustion tests of the resulting gas in standard gas burners were conducted, along with attempts to accumulate it. Experience integrating the system with

a solar panel to power a compressor in the absence of a centralized power supply is described. The data obtained are of practical interest for the implementation of small-scale biogas plants on farms in Tajikistan.

Keywords: *biogas, renewable energy sources, biogas plant, manure, alternative energy, agriculture in Tajikistan, solar energy.*

Маълумот дар бораи муаллифҳо: Абдусамиев Фазлидин Тоҷидинович – номзади илмҳои техникаӣ, академики АМ ҶТ, роҳбари департаменти байналмиллалии Донишгоҳи давлатии аграрии Орёл (Россия), Тел.: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru; Баҳриев Сӯҳбатҷон Ҳусейнович – д.и. (АБТ), профессор, академики АМ ҶТ, академики Академияи байналмиллалии муҳандисӣ, Ходими хизматнишондодаи илм ва техникаи АТР (ФР), ходими пешбари илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, Тел.: (+992) 555554648; E-mail: bahriev@mail.ru; Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич – н.и.т., профессор, академики АМ ҶТ, ходими пешбари илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: salomatda@list.ru; Раҳмонов Шарифхӯҷа Сайвалиевич – ходими калони илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи, Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 00 404 46 04, E-mail: rahmonov0294@mail.ru; Холназаров Нурмахмад Дӯстович – ходими калони илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи, Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 88 660 68 68; Ятимов Муродали Табарович – ходими хурди илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи, Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 93 810 60 03.

Сведения об авторах: Абдусамиев Фазлидин Таджидинович – кандидат технических наук, академик ИА РТ, руководитель международного департамента Орловского государственного аграрного университета (РФ), Тел.: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru; Баҳриев Сухбатҷон Ҳусейнович – д.н. (МАЕ), профессор, академик международной инженерной академии, академик ИА РТ, заслуженный деятель науки и техники РАЕ (РФ), ведущий научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, E-mail: bahriev@mail.ru, Тел.: (+992) 555554648; Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич – к.т.н., профессор, академик ИА РТ, ведущий научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. E-mail: salomatda@list.ru; Раҳмонов Шарифхӯҷа Сайвалиевич – старший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 00 404 46 04, E-mail: rahmonov0294@mail.ru; Холназаров Нурмахмад Дӯстович – старший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 88 660 68 68; Ятимов Муродали Табарович – младший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 93 810 60 03.

Information about the authors: Abdusamiev Fazlidin Tadjidinovich – Candidate of Technical Sciences, Academician of the Institute of Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Head of the International Department of Oryol State Agrarian University (RF), Phone: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru; Bahriev Suhbatjon Huseynovich – Doctor of Sciences (IANS), Professor, Academician of the International Engineering Academy, Academician of the Engineering Academy of the Republic of Tajikistan, Honored Figure of Scientist and Technician of the Russian Academy of Natural Sciences (RF), Leading Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: bahriev@mail.ru, Phone: (+992)555554648; Davlatshoev Salomat Kanoatshoevich – Candidate of Technical Sciences, Professor, Academician of the Engineering Academy of the Republic of Tajikistan, Leading Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: salomatda@list.ru; Rakhmonov Sharifkhuja Sayvalievich – Senior Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone.: (+992) 00 404 46 04, E-mail: rahmonov0294@mail.ru; Kholnazarov Nurmahmad Dustovich – Senior Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan, tel.: (+992) 88 660 68 68; Yatimov Murodali Tabarovich – Junior Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992) 93 810 60 03.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 КВ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Абдуллоев Х.В.^{1,*}, Раупов Н.М.¹,
Сайвалиев М.М.¹, Амирханов А.С.¹

¹Институт энергетики Таджикистана

*Автор-корреспондент. E-mail: a.kh.v.91@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается оптимизация мест размещения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ с целью минимизации технических потерь в сельских электрических сетях. Проанализированы основные причины потерь энергии, включая нагрузочные и холостые потери, а также влияние условий эксплуатации, таких как температура окружающей среды, режим нагрузки, состояние обмоток и изоляции. Проведен сравнительный анализ измеренных и расчетных данных потерь электроэнергии, выявлены ключевые факторы, увеличивающие энергопотери, и предложены рекомендации по их снижению. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности работы распределительных трансформаторов и оптимизации эксплуатационных режимов электросетей.

Ключевые слова: трансформатор 10/0,4 кВ, потери электроэнергии, эксплуатационные факторы, нагрузочные потери, холостые потери, эффективность, оптимизация работы, распределительные сети.

Введение

Однако при расчёте потерь электрической энергии в трансформаторах по действующим отраслевым методикам зачастую не учитываются ряд факторов, оказывающих комплексное воздействие на их работу. К таким факторам относятся: срок службы трансформатора, снижение эффективности работы внутренних элементов вследствие старения изоляции, искажение формы тока (несинусоидальность), а также асимметрия токов, вызванная наличием нелинейных нагрузок в современных электрических сетях. В итоге существенная часть дополнительных потерь, реально возникающих в трансформаторах, относится в балансах энергопредприятий к «коммерческим потерям».

В качестве объекта изысканий был выбран силовой трансформатор номинальной мощностью 400 кВт, задействованный в электроснабжении объектов жилищно-коммунального сектора. Экспериментальная часть работы позволила верифицировать его технические характеристики и рассчитать структуру энергетических потерь. На базе паспортных све-

дений для данной модели (схема «звезда/ звезда-ноль») были дифференцированы потери холостого хода, локализованные в магнитной системе, и нагрузочные потери в проводниковых обмотках, определенные в режиме короткого замыкания [8].

Целью исследования является оптимизация размещения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и режимов их эксплуатации для снижения технических потерь электроэнергии в сельских распределительных сетях с учётом реальных условий работы.

Задачи исследования: анализ структуры и причин потерь электроэнергии (холостых и нагрузочных), исследование влияния эксплуатационных факторов (температуры, режима нагрузки, старения изоляции, асимметрии и несинусоидальности токов), проведение экспериментальных измерений с последующим сравнением с расчётными данными, выявление дополнительных потерь, не учитываемых в действующих методиках, оценка фактического уровня потерь в условиях электрических сетей Таджикистана, разработка рекомендаций по снижению

потерь и повышению эффективности работы трансформаторов, а также обоснование необходимости совершенствования нормативных методов расчёта.

Результаты

Результаты испытаний показали, что в реальных условиях работы электрических сетей Таджикистана, где уровень несинусоидальности и асимметрии нагрузок достаточно высок, фактические потери значительно превышают номинальные значения. Это подтверждает необходимость совершенствования методов расчёта и внесения корректировок в действующие методики. Следовательно, для повышения точности учёта и эффективности управления энергетической системой важно разработать национальные нормативы, учитывающие реальные ус-

ловия эксплуатации трансформаторов.

$$\Delta P_x = 0,95 \text{ кВт}, \Delta P_k = 0,55 \text{ кВт}$$

Измерения потребления электроэнергии на стороне высокого напряжения (10 кВ) и низкого напряжения (0,4 кВ) силового трансформатора 10/0,4 кВ (см. рис. 1) проводились в течение всего года.

При проведении исследований по определению реальных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 10/0,4 кВ особое внимание уделялось правильному выбору и подключению измерительной аппаратуры. От корректности и точности работы измерительных приборов зависит не только достоверность полученных данных, но и возможность дальнейшего использования этих результатов для анализа и оптимизации работы трансформатора.

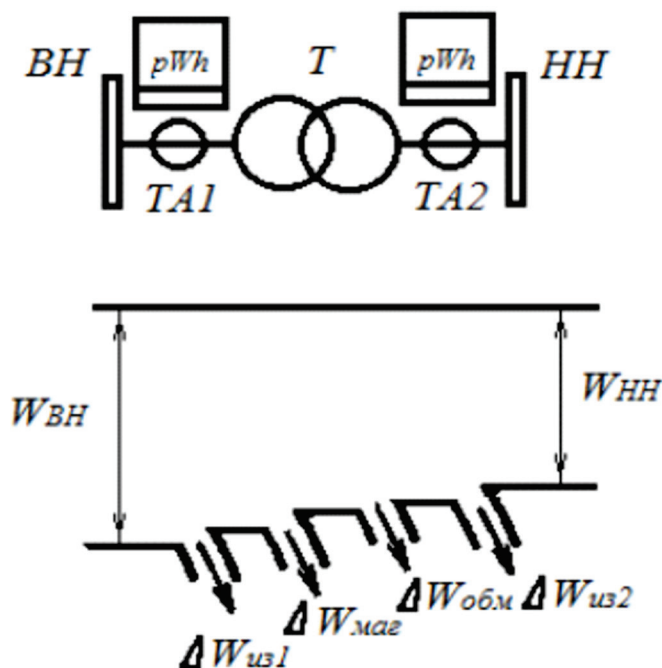


Рисунок 1. Размещение приборов измерения и диаграмма распределения потерь энергии в силовом трансформаторе по результатам эксперимента.

На стороне высокого напряжения (10 кВ) применялись измерительные трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЩ 10, имеющие коэффициент трансформации 40/5 А. Данный тип трансформаторов предназначен для точного измерения больших токов, протекающих в первичной цепи, с преобразованием их в более низкие зна-

чения, удобные для учёта и регистрации. Особенность трансформаторов ТОЛ-СЭЩ заключается в высокой надёжности, устойчивости к перегрузкам и возможности работы в условиях значительных колебаний нагрузки. Их использование обеспечивает надёжное снятие параметров даже в сложных эксплуатационных усло-

виях, что особенно актуально для реальных электрических сетей с большим количеством нелинейных потребителей [1,2,3].

Для измерения напряжения на стороне 10 кВ применялся измерительный трансформатор напряжения ЗНОЛ 10. Его назначение состоит в том, чтобы преобразовать высокое напряжение в пропорционально пониженное значение, пригодное для работы измерительных приборов и счётчиков. Использование таких трансформаторов позволяет выполнять точные измерения, сохраняя безопасность персонала и приборов. Важно отметить, что точность работы трансформаторов напряжения во многом определяет корректность учёта электроэнергии и вычисления потерь, особенно в условиях наличия гармонических искажений в сети.

В качестве основного учётного прибора на стороне высокого напряжения применялся электросчётчик ПСЧ-4 ТМ-05М.01 [4]. Этот счётчик относится к современному поколению приборов учёта, обладающих высокой точностью, возможностью фиксации профилей нагрузки и длительным сроком службы. Его применение позволило вести регистрацию потребляемой электроэнергии с высокой степенью детализации и надёжности.

Сбор данных на стороне низкого напряжения (0,4 кВ) осуществлялся посредством многофункционального счётчика ПСЧ-4ТМ-05.09. Устройство интегрировано в цепь через измерительные трансформаторы тока типа ТОП 0,66, обладающие коэффициентом трансформации $k_i = 800/5A$. Данная схема обеспечила необходимую точность фиксации параметров электропотребления в ходе эксперимента. Трансформаторы позволяют регистрировать токи значительной величины на стороне низкого напряжения и преобразовывать их к стандартным значениям для измерительных приборов. Схема подключения обеспечивала минимизацию

погрешностей и максимальную достоверность получаемых данных.

Таким образом, использование комбинации современных электросчётчиков и проверенных трансформаторов тока и напряжения позволило организовать полный и надёжный учёт электроэнергии на обеих сторонах трансформатора. Это создало основу для последующего анализа потерь и сопоставления расчётных данных с реальными значениями

Дополнительно в процессе анализа учитывались внешние условия эксплуатации силового трансформатора 10/0,4 кВ. Известно, что температурный режим работы трансформатора оказывает значительное влияние на величину активных и реактивных потерь [5,6]. При повышении температуры окружающей среды возрастает сопротивление обмоток, что приводит к увеличению $\Delta W_{обм}$. Таким образом, для корректного определения реальных потерь необходимо проводить пересчет полученных экспериментальных данных с учетом изменения температуры в течение года.

В натуральных условиях также выявлены колебания нагрузки, связанные с режимами работы потребителей на стороне 0,4 кВ. Суточные и сезонные изменения графиков нагрузки влекут за собой изменение уровня потерь, что было зафиксировано в измерительных массивах. В часы максимальных нагрузок на стороне 0,4 кВ потери в обмотках и дополнительные потери в стали увеличивались, что подтверждает важность учета коэффициента загрузки при расчетах.

Особое внимание уделялось анализу точности измерительных приборов. Использование трансформаторов тока типа ТОЛ-СЭЩ 10 и ТОП 0,66 показало, что даже небольшие отклонения коэффициента трансформации или погрешности в фазовом угле способны существенно повлиять на конечные результаты вы-

числений [5,7]. Поэтому в работе дополнительно проводилась аппроксимация характеристик приборов по методу наименьших квадратов, что позволило минимизировать влияние случайных ошибок.

Кроме того, для проверки достоверности данных были сопоставлены результаты, полученные при экспериментальном измерении, с расчетными значениями, определяемыми по методике [1]. В ряде случаев наблюдалось расхождение порядка 1–2 %, что считается допустимым в энергетических исследованиях. Однако в отдельных режимах работы трансформатора, особенно при низкой нагрузке, расхождение достигало 3–4 %, что объясняется наличием дополнительных потерь, не учтенных в расчетной методике.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что совокупные потери в силовом трансформаторе зависят не только от его конструкции и номинальных параметров, но и от реальных условий эксплуатации, включая температуру, график нагрузки, качество измерительных приборов и стабильность напряжения в сети 10 кВ. На основании полученных данных была построена энергетическая диаграмма (рис. 1), которая позволяет наглядно проследить распределение потерь по отдельным составляющим: $\Delta W_{из}$, $\Delta W_{из2}$, $\Delta W_{маг}$, $\Delta W_{обм}$.

Для практических целей результаты исследования могут быть использованы при разработке мероприятий по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях. В частности, установка современных электронных счетчиков с расширенными возможностями учета, применение трансформаторов тока нового поколения с пониженной погрешностью, а также оптимизация режимов нагрузки трансформатора позволяют снизить совокупные потери на 5–7 % по сравнению с исходными значениями.

Также необходимо отметить важность регулярного технического обслуживания

трансформаторов. Очистка и контроль состояния контактных соединений, проверка изоляции и охлаждающей системы оказывают значительное влияние на надежность работы и величину потерь. Пренебрежение этими мероприятиями ведет к увеличению дополнительных потерь и снижению ресурса оборудования [8,9,10].

В дальнейшем целесообразно расширить программу исследований за счет мониторинга потерь электроэнергии на разных типах трансформаторов (например, 6/0,4 кВ и 35/10 кВ), что позволит выявить общие закономерности и разработать универсальные рекомендации по повышению энергетической эффективности распределительных сетей. Кроме того, применение интеллектуальных систем мониторинга (Smart Grid) обеспечит непрерывный контроль состояния трансформаторов в реальном времени и позволит прогнозировать возможные перегрузки и аварийные ситуации

$$\Delta W_T = \Delta P_x \times T + K_{\phi}^2 \times \left(\frac{S_c}{S_{HT}}\right)^2 \times \Delta P_x \times \tau$$

где ΔP_x – потери активной мощности холостого хода; T – продолжительность работы трансформатора в течение суток; K_{ϕ} – коэффициент формы графика нагрузки; S_c – среднее значение полной мощности за суточный период работы трансформатора; S_{HT} – номинальная полная мощность силового трансформатора; ΔP_x – потери мощности короткого замыкания; τ – время потерь. Коэффициент формы определялся как [1,11,12]

$$K_{\phi}^2 = \frac{1+2 \times K_3}{3 \times S_3}$$

где K_3 – коэффициент заполнения суточного графика нагрузки.

$$K_3 = \frac{P_{cp}}{P_{max}}$$

где P_{cp} – среднее значение активной мощности за сутки; P_{max} – максимальная активная мощность, измеренная в течение суток. Время максимальных потерь за сутки вычислялось по выражению

$$\tau = \frac{P_{cp}^2 \times 24}{P_{max}^2}$$

Результаты месячного сопоставления фактических потерь, зафиксированных приборами учета на сторонах ВН и НН трансформатора (400 кВА), с расчетными значениями по методике Минэнерго

го Республики Таджикистан приведены на рис. 2. Данные получены для условий эксплуатации при среднем коэффициенте загрузки $b=0,7$. Выявленное расхождение между показаниями счетчиков и теоретическим расчетом наглядно демонстрирует динамику погрешности в течение года.

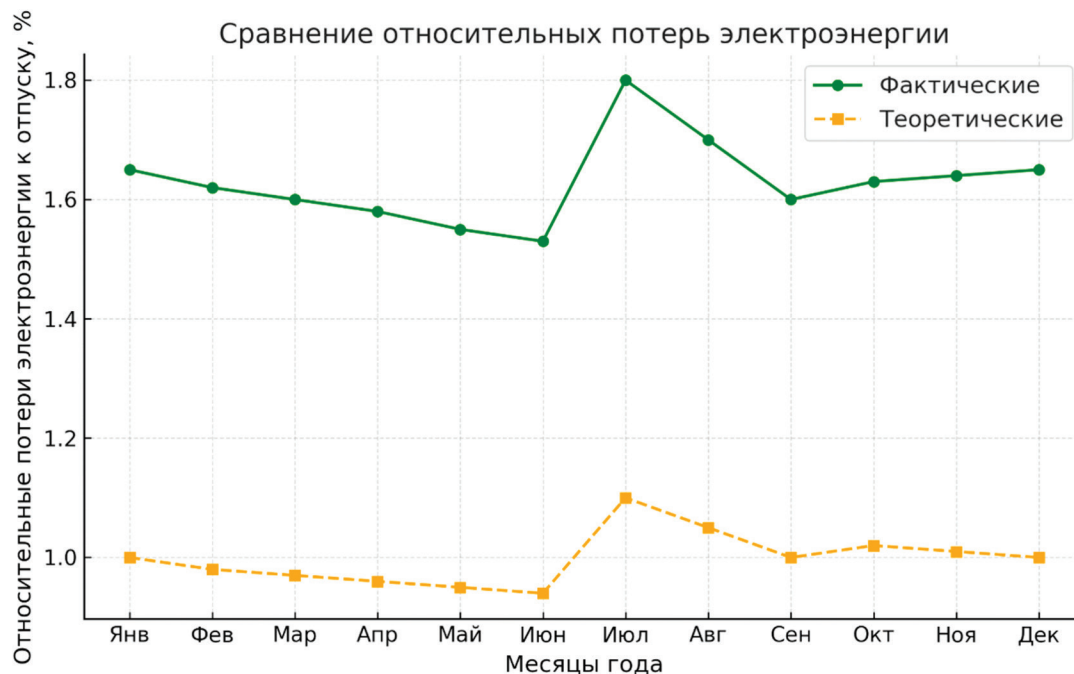


Рисунок 2. Графики изменения относительных потерь электроэнергии в силовом трансформаторе 400 кВА, полученные измерением и расчетным путем.

Проведенный сравнительный анализ выявил существенный дефицит точности при использовании стандартной методики Минэнерго РФ в сопоставлении с данными натурных измерений. В частности, для исследуемого агрегата мощностью 400 кВА среднегодовое отклонение зафиксировано на уровне 0,64 %. В годовом исчислении объем недоучета энергии на одну единицу оборудования достигает 7,68 %, что указывает на системную ошибку в текущих расчетах для трансформаторов со схемой Y/Y_n . Столь значительная погрешность диктует необходимость пересмотра подходов к нормированию технологических потерь, поскольку они напрямую детерминируют тарифную нагрузку на конечных потребителей.

Выводы

Проведенный анализ показал, что между фактическими (измеренными) и расчетными (по методике Минэнерго РФ) значениями относительных потерь электроэнергии наблюдаются существенные расхождения. Особенно ярко это проявляется на примере силового трансформатора мощностью 400 кВА, для которого среднегодовое фактическое значение потерь составило 0,64 %, тогда как расчетные данные занижают реальную величину. В результате в течение года объем недоучтенной электроэнергии достигает 7,68 % от всего количества отпущенной энергии на один трансформатор.

Подобная ситуация требует пересмотра действующей методики расчета потерь электроэнергии, особенно для

трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток «звезда/ звезда с нулем». Корректировка расчётных моделей позволит повысить точность определения потерь, что имеет большое значение при формировании нормативов технологических потерь и установлении тарифов для конечных потребителей.

Для Республики Таджикистан данный вопрос имеет особую актуальность. В условиях быстро растущего энергопотребления и модернизации электрических сетей, особенно в сельских районах, где широко применяются трансформаторы мощностью 250-400 кВА, точность учёта и расчёта потерь играет ключевую роль. Ошибки в определении потерь могут привести к необоснованному росту тарифов на электроэнергию, что оказывает прямое влияние на социально-экономическое положение населения. Кроме того, занижение или недоучёт потерь искажает реальную картину эффективности работы энергосистемы и затрудняет внедрение современных технологий энергосбережения.

Таким образом, совершенствование методов расчёта потерь электроэнергии в трансформаторах низкого напряжения не только улучшит систему планирования и управления в энергетике, но и будет способствовать более справедливому и прозрачному формированию тарифов для потребителей в Таджикистане

Литература

1. Алексеев, Б.А. Электроэнергетические системы и сети / Б.А. Алексеев. – М.: Энергия, 2015. – 472 с.
2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов / Л.А. Бессонов. – М.: Юрайт, 2016. – 639 с.
3. Виноградов, А.И., Козлов, А.В. Электроснабжение: учебник для вузов / А.И. Виноградов, А.В. Козлов. – СПб.: Питер, 2018. – 416 с.
4. Воронцов, А.Н. Потери электроэнергии в электрических сетях и методы их снижения / А.Н. Воронцов. – М.: Энергоатомиздат, 2012. – 304 с.
5. Герасимов, И.А. Силовые трансформаторы: теория, расчет и эксплуатация / И.А. Герасимов. – М.: Академия, 2014. – 412 с.
6. Дьяков, А.И. Электроэнергетика: состояние и перспективы развития / А.И. Дьяков. – М.: Машиностроение, 2017. – 298 с.
7. Жежеленко, И.В. Качество электроэнергии / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 368 с.
8. Иванов, Н.Н., Петров, С.Г. Анализ и расчет потерь электроэнергии в распределительных сетях / Н.Н. Иванов, С.Г. Петров. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 220 с.
9. Корнев, В.А. Электрические сети и системы / В.А. Корнев. – М.: Академический проект, 2011. – 350 с.
10. Мишин, Е.А. Потери электроэнергии в электрических сетях: расчет, анализ и пути снижения / Е.А. Мишин. – М.: Энергия, 2012. – 356 с.
11. Седов, А.В. Технические потери в электрических сетях и методы их нормирования / А.В. Седов. – Новосибирск: Наука, 2016. – 192 с.
12. Юндин, М.А., Королев, А.М. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства / М.А. Юндин, А.М. Королев. – СПб.: Лань, 2011. – 320 с.

ОПТИМИЗАТСИЯИ ҚОЙГИРШАВИИ ЗЕРИСТГОҶҶОИ ТРАНСФОРМАТОРИИ 10/0.4 КВ БАРОИ КАМ КАРДАНИ ТАЛАФОТИ ТЕХНИКӢ ДАР ШАБАКАҶОИ БАРҚИИ ДЕҶОТ

Абдуллоев Х.В.^{1,*}, Раупов Н.М.¹,
Сайвалиев М.М.¹, Амирхонов А.С.¹

¹Институти энергетикии Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: a.kh.v.91@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола таъсири оптимизатсияи қойгиришавии зеристгоҳҳои трансформатории 10/0.4 кВ барои кам кардани талафоти техникӣ дар шабакаҳои барқии деҳот баррасӣ мегардад. Таҳлилҳо дар бораи сабабҳои асосии талафоти энергия, аз ҷумла талафот дар ҳолати сербори ва талафот дар ҳолати беборӣ, инчунин таъсири шароити қорӣ, ба монанди ҳарорати муҳити зист, рӯзи сербори, ҳола-

ти ғалтак ва изолятсияи трансформатор таҳлил карда шуд. Таҳлили муқоисавии маълумоти талафоти энергияи ченишуда ва ҳисобишуда гузаронида шуд, ки дар он омилҳои асосии афзоиши талафоти энергия муайян карда шуданд ва тавсияҳо барои кам кардани онҳо пешниҳод карда шуданд. Натиҷаҳои бадасто-вардашударо метавон барои баланд бардоштани самаранокии трансформаторҳои тақсимоӣ ва беҳтар-созии речаҳои кори шабакаҳои барқӣ истифода бурд.

Калидвожаҳо: трансформатори 10/0.4 кВ, талафоти қувва, омилҳои амалиётӣ, талафоти сарборӣ, талафоти беборӣ, самаранокӣ, беҳсозии фаъолият, шабакаҳои тақсимоӣ.

OPTIMIZATION OF LOCATIONS OF 10/0.4 kV TRANSFORMER SUBSTATIONS TO MINIMIZING TECHNICAL LOSSES IN RURAL ELECTRIC NETWORKS

**Abdulloev Kh.V.^{1,*}, Raupov N.M.¹,
Saivaliev M.M.¹, Amirkhanov A.S.¹**

¹*Institute of Energy of Tajikistan*

^{*}*Corresponding author. E-mail: a.kh.v.91@mail.ru*

Маълумот дар бораи муаллифон: Абдуллоев Хайрулло Валиевич – номзади илмҳои техникӣ, муаллими калони кафедраи таъминоти барқ ва бехатарии барқи Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон, E-mail: a.kh.v.91@mail.ru, Тел.: (+992) 988657470; Раупов Насимҷон Маҳмадшарипович – муаллими калони кафедраи манбаҳои алтернативии энергияи Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон, E-mail: raupov.nasim@bk.ru, Тел.: (+992) 11112334; Сайвалиев Маъруфҷон Муззафарович – муаллими калони кафедраи таъминоти барқ ва бехатарии барқи Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон, E-mail: Sayvaliev1990@mail.ru; Амирхонов Алишер Сайвалиевич – муаллими калони кафедраи таъминоти барқ ва бехатарии барқи Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон.

Информация об авторах: Абдуллоев Хайрулло Валиевич – к.т.н., старший преподаватель кафедрой электроснабжения и электробезопасность Института энергетики Таджикистана, E-mail: a.kh.v.91@mail.ru, Тел.: (+992) 988657470; Раупов Насимҷон Маҳмадшарипович – старший преподаватель кафедрой электроснабжения и электробезопасность Института энергетики Таджикистана, E-mail: raupov.nasim@bk.ru, Тел.: (+992) 11112334; Сайвалиев Маъруфҷон Муззафарович – старший преподаватель кафедрой электроснабжения и электробезопасность Института энергетики Таджикистана, E-mail: Sayvaliev1990@mail.ru; Амирхонов Алишер Сайвалиевич – старший преподаватель кафедрой электроснабжения и электробезопасность Института энергетики Таджикистана.

Information about the authors: Abdulloev Khairullo Valievich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Safety of the Institute of Energy of Tajikistan, E-mail: a.kh.v.91@mail.ru, Phone: (+992) 988657470; Raupov Nasimjon Makhmadsharipovich – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Safety of the Institute of Energy of Tajikistan, E-mail: raupov.nasim@bk.ru, Phone: (+992) 11112334; Sayvaliev Marufjon Muzzafarovich – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Safety of the Institute of Energy of Tajikistan, E-mail: Sayvaliev1990@mail.ru; Amirkhonov Alisher Sayvalievich – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Safety of the Institute of Energy of Tajikistan.

ДНК-И ЭКОЛОГӢ ҲАМЧУН АСОСИ МЕТОДОЛОГӢ БАРОИ АРЗӢБИИ ҲОЛАТ ВА ДИНАМИКАИ ГУНОГУНИИ БИОЛОГӢ ВА ИДОРАКУНИИ УСТУВОРИ ЗАХИРАҲОИ ТАБИИИ ТОЧИКИСТОН

Шарипов С.А.^{1*}, Амирзода О.Х.¹

¹Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com

Шарҳи мухтасар. ДНК-и экологӣ (*eDNA*) як воситаи муосири молекулавӣ генетикӣ мебошад, ки имкон медиҳад ҳузури организмҳо аз рӯи пораҳои маводи генетикии онҳо дар муҳити зист, бе тамоси мустақим бо объектҳои таҳқиқот, муайян карда шавад. Дар мақола имкониятҳои истифодаи *eDNA* дар шароити Тоҷикистон — кишваре бо сатҳи баланди гуногунии табиӣ ва ландшафтӣ, орографияи мураккаб ва захираҳои стратегӣ обӣ — баррасӣ мегарданд. Нақши *eDNA* ҳамчун асоси методологӣ барои мониторинги комплекси гуногунии биологӣ, арзёбии динамикаи экосистемаҳо ва таъаққули равишҳои аз лиҳози илмӣ асоснокшуда барои идоракунии устувори захираҳои табиӣ асоснок карда мешавад. Нишон дода мешавад, ки қорӣ намудани ин технология ба баланд бардоштани дақиқии иттилооти экологӣ, беҳсозии қарорҳои ҳифзи табиат ва иҷрои уҳдадорӣҳои байналмилалӣ дар соҳаи ҳифзи гуногунии биологӣ мусоидат менамояд.

Калидвожаҳо: ДНК-и экологӣ, гуногунии биологӣ, мониторинг, истифодаи устувори захираҳои табиӣ, Тоҷикистон, захираҳои обӣ, экосистемаҳо.

Муқаддима

Дар шароити тағйирёбии глобалии иқлим, таназзули экосистемаҳо ва суръат гирифтани коҳиши гуногунии биологӣ зарурати қорӣ намудани усулҳои аз лиҳози илмӣ асоснок ва аз ҷиҳати технологӣ муосири мониторинги муҳити зист меафзояд. Барои кишварҳои, ки осебпазирии баланди экологӣ ва шароити мураккаби табиӣ-ҷуғрофӣ доранд ва Тоҷикистон низ ба ҳамин гурӯҳ дохил мешавад, ин вазифа аҳамияти стратегӣ касб мекунад. Идоракунии устувори захираҳои обӣ, заминӣ ва биологӣ талаб мекунад, ки маълумоти бозътимод, муқоисашаванда ва фаврӣ дар бораи ҳолат ва динамикаи экосистемаҳо дастрас бошад. Усулҳои анъанавии баҳисобгирии гуногунии биологӣ, ки бар мушоҳидаҳои визуалӣ, сайд кардани организмҳо ва муайянсозии морфологӣ асос меёбанд, як қатор маҳдудият доранд, аз ҷумла меҳнатталабӣ, вобастагии мавсимӣ, такроршавии пасти натиҷаҳо ва эҳтимоли таъсири инвазивӣ. Дар ин замина ДНК-и экологӣ (*environmental DNA*, *eDNA*) ҳамчун алтернатива ва иловаи ояндадор ба равишҳои классикӣ баро-

мад мекунад. Ин усул ба таҳлили маводи генетикӣ таъаққули муҳити зист, ки организмҳо онро ба муҳити зист ҷудо менамоянд ва имкон медиҳад намудҳои бидуни тамоси мустақим бо объектҳои таҳқиқот муайян карда шаванд [1].

Ҳадафи мақолаи мазкур асоснок намудани аҳамияти ДНК-и экологӣ ҳамчун пояи методологӣ барои арзёбии ҳолат ва динамикаи гуногунии биологӣ ва идоракунии устувори захираҳои табиӣ Тоҷикистон, инчунин муайян кардани самтҳои асосии татбиқи амалии он дар низоми миллии мониторинги экологӣ мебошад.

Назарияи асосҳо ва принсипҳои методологии ДНК-и экологӣ

ДНК-и экологӣ маҷмӯи пораҳои кислотаҳои нуклеинӣ мебошад, ки ба муҳити зист дар натиҷаи фаъолияти физиологии организмҳо — тавассути ҳуҷайраҳои пӯст, луоб, ихроҷот, гардолуд ва дигар субстратҳои биологӣ — ворид мешаванд. Гирифтани намунаҳо аз об, хок, таҳшинҳои қабри обанборҳо ё ҳаво ва сипас ҷудокунии ДНК ва амплификатсияи он имкон медиҳад, ки мансубияти таксономии организмҳо бо истифода аз маркерҳои мо-

лекулавӣ ва секвениронии баландсамаранок муайян карда шавад.

Афзалиятҳои методологии eDNA инҳоро дар бар мегиранд:

1. **Ҳассосияти баланд** — имкони ошкор намудани намудҳо ҳатто дар ҳолати шумораи ками онҳо [2];
2. **Ғайриинвазивӣ будан** — зарурати хорич кардани организмҳо аз муҳити зист вучуд надорад [2];
3. **Миқёспазири** — фарогирии минтақаҳои васеъ ва намудҳои гуногуни экосистемаҳо [3];
4. **Такроршавандагӣ ва стандартизатсияшавӣ** — таъмин намудани муқоисашавандагии маълумот дар вақт ва фазо [4].

Ин хусусиятҳо заминаҳои илмӣ ва амалиро барои истифодаи eDNA ҳамчун асоси методологии низоми муносири мониторинги экологӣ ва арзёбии гуногунии биологӣ фароҳам меоранд.

Марҳалаҳои инкишофи технологияҳои асосёфтаи ДНК-и экологӣ

Таърихи рушди истифодаи ДНК-и экологӣ (eDNA) аз охири асри XX оғоз

меёбад, вақте ки усулҳои молекулавӣ-генетикӣ бори аввал барои ошкор намудани микроорганизмҳо дар намунаҳои об ва хок бе парвариши онҳо истифода шуданд. Дар аввали солҳои 2000-ум технология бо тақмили усулҳои ПТР ва секвениронӣ рушд ёфт, ки имкон дод намудҳои алоҳидаи ҳайвонот ва растаниҳо аз рӯи осори маводи генетикии онҳо дар муҳити зист муайян карда шаванд. Аз солҳои 2010-ум, бо пайдоиши секвениронии баландмаҳсул (NGS) ва метабаркодинг, eDNA ба абзори пурқуввати мониторинги маҷмӯии гуногунии биологӣ табдил ёфт, ки метавонад дар як намуна садҳо намудро ҳамзамон муайян намояд. [5] Имрӯз ин равиш фаълоне ба низомҳои мониторинги экологӣ, банақшагирии ҳифзи табиат ва арзёбии ҳолати экосистемаҳо дар сатҳи миллӣ ва ҷаҳонӣ ҳамгиро карда мешавад. Дар расми 1 ҷамаи марҳилаҳои рушди технологияҳои eDNA нишон дода шудаанд [6].



Расми 1. Рушдҳои асосёфтаи ДНК-и экологӣ [7].

ДНК-и экологӣ дар низоми мониторинги гуногунии биологии Тоҷикистон

Тоҷикистон бо гетерогенӣ баланди ландшафтҳо ва сатҳи назарраси эндемизм тавсиф мешавад, ки ин ба релефи кӯҳӣ, камарбандии амудӣ ва гуногунии шароити иқлимӣ вобаста аст. Аҳамияти маҳ-

сусро экосистемаҳои кӯҳӣ-пиряхӣ, дарёӣ ва кӯлӣ доранд, ки устувори гидрологии минтақаи Осиёи Марказиро таъмин менамоянд.

Истифодаи eDNA имкон медиҳад фарогирии таксономӣ ва фазоии мониторинги гуногунии биологӣ ба таври

назаррас васеъ гардад, махсусан дар минтақаҳои душвордастраси Помир ва Тёншон. Ин усул имконият медиҳад таркиби ҷомаҳои организмҳо дар экосистемаҳои обӣ ва заминӣ муайян карда шавад, намудҳои нодир ва криптикӣ ошкор гарданд, инчунин тағйирот дар сохтори биоценозҳо, ки аз омилҳои иқлимӣ ва антропогенӣ вобастаанд, пайгирӣ карда шаванд.

Ҳамгирии eDNA ба барномаҳои миллии мониторинги экологӣ метавонад ба ташаккули пойгоҳи додаҳои низоманд оид ба гуногунии биологӣ мусоидат намояд, ки қабули қарорҳои идоракуниро дар соҳаи ҳифзи табиат ва истифодаи захираҳои табиӣ дар асоси далелҳои илмӣ таъмин мекунад.

Арзёбии динамикаи экосистемаҳо ва равандҳои экологӣ

Яке аз бартарҳои асосии eDNA имконияти ташаккули қаторҳои вақти маъ-

лумот мебошад, ки тағйироти таркиби намудҳо ва сохтори функционалии ҷомаҳо инъикос мекунад. Гирифтани мунтазами намунаҳо ва таҳлили молекулавӣ имкон медиҳад равандҳои таназзул ё барқароршавии экосистемаҳо ошкор карда шаванд, таъсири тағйирёбии иқлим, дигаргуниҳои гидрологӣ ва фишори антропогенӣ арзёбӣ гардад.

Дар шароити Тоҷикистон ин равиш барои мониторинги экосистемаҳои обӣ, аз ҷумла дарёҳо, обанборҳо ва ҳавзҳои обии пирияхӣ, ки ба тағйирёбии режими ҳарорат, ҷараёни гидрологӣ ва фаъолияти хочагидорӣ ҳассос мебошанд, аҳамияти махсус дорад. eDNA ба ошкор намудани нишонаҳои барвақтии вайроншавии экосистемаҳо ва ташаккули механизмҳои идоракунии мутобиқшавандаи захираҳои табиӣ мусоидат менамояд.



Расми 2. Афзоиши ҳаҷми маълумоти ДНК-и экологӣ (eDNA) ва РНК-и экологӣ (eRNA) вобаста ба муҳитҳои обӣ [7].

Дар расми 2 тамоюли афзоиши ҳаҷми маълумоти ДНК-и экологӣ (eDNA) ва РНК-и экологӣ (eRNA) вобаста ба муҳитҳои обӣ нишон дода шудааст. Мазмуни чунин расм одатан ин равандҳо инъикос мекунад: бо густариши тадқиқот дар муҳитҳои обӣ — аз чашмаҳо ва рӯдхонаҳои хурд то кӯлҳо, обанборҳо ва

минтақаҳои пирияхӣ — ҳаҷми маълумоти молекулавӣ босуръат меафзояд. Ин афзоиш ба ду омил вобаста аст: аввал, муҳити обӣ маводи генетикии организмҳо хуб нигоҳ медорад ва паҳн мекунад, ки имкон медиҳад ҳатто намудҳои камшумор ё пинҳонӣ ошкор шаванд; дуюм, пешрафти технологияҳои секвениронии баландмаҳ-

сул ва усулҳои таҳлили биоинформатикӣ иқтидори чамъоварӣ ва коркарди додаҳо ро ба таври назаррас зиёд кардааст.

Аз нигоҳи илмӣ, расми овардашуда нишон медиҳад, ки чӣ гуна бо мурури вақт ва васеъ шудани миқёси тадқиқот, миқдори додаҳои eDNA/eRNA меафзояд ва ин ба беҳтар шудани дақиқӣ, фарогирӣ ва муқоисашавандагии мониторинги гуногунии биологӣ мусоидат мекунад. Аз ҷиҳати амалӣ бошад, чунин динамика аҳамияти рушди пойгоҳҳои додаҳои миллӣ ва минтақавӣ, ҳамгирии маълумот ва стандартизатсияи усулҳои таҳлилро барои идоракунии самараноки экосистемаҳои обӣ нишон медиҳад.

ДНК-и экологӣ ҳамчун воситаи идоракунии устувори захираҳои табиӣ

Идоракунии устувори захираҳои табиӣ мувозинати байни рушди иқтисодӣ, суботи иҷтимоӣ ва ҳифзи сармои табиӣ ро дар назар дорад. Дар ин замина eDNA ҳамчун абзори илмӣ-методологӣ хизмат мекунад, ки маълумоти бозътиموдро дар бораи ҳолати экосистемаҳо ва захираҳои биологӣ таъмин менамояд.

Дар соҳаи хочагии об ва гидроэнергетика ин усул имкон медиҳад ҳолати

экологии объектҳои обӣ арзёбӣ гардад, таъсири иншооти гидротехникӣ ба биота таҳлил карда шавад ва тадбирҳо барои коҳиш додани хавфҳои экологӣ таҳия шаванд. Дар соҳаи хочагии чангал ва чарогоҳҳо eDNA ба ошкор намудани тағйирот дар гуногунии биологӣ, ки бо таназзули маконҳои зист ва тағйирёбии истифодаи замин вобастаанд, мусоидат мекунад.

Ғайр аз ин, технология дорои иқтидори баланд барои мониторинги намудҳои инвазивӣ ва таҳдидҳои биологӣ буда, ошкорсозии барвақтии организмҳои номатлуб ва таҳияи стратегияҳои пешгирикунандаи идоракуниро таъмин менамояд.

Аҳамияти ДНК-и экологӣ барои иҷрои ухдадорихи байналмилалӣ экологӣ

Тоҷикистон ҷониби Конвенсия оид ба гуногунии биологӣ ва иштирокчиҳои татбиқи Барномаи ҷаҳонӣ чорчӯбавӣ оид ба гуногунии биологӣ (Чорчӯбаи Кунмин-Монреал) мебошад. Ин созишномаҳои байналмилалӣ зарурати арзёбии мунтазами ҳолати гуногунии биологӣ, мониторинги экосистемаҳо ва пешниҳоди ҳисобот оид ба натиҷаҳои бадастомадаро пешбинӣ менамоянд. [8]

Саҳми eDNA дар ноил шудан ба ҳадафҳои стратегии GBF (2022–2030)

Ҳадаф ва вазифаҳои GBF	Нақши ДНК-и экологӣ (eDNA)	Аҳамияти амалӣ барои Тоҷикистон
Ҳадафи А. Арзёбӣ ва ҳифзи гуногунии биологӣ	Имкон медиҳад таркиби намудҳо ва сохтори ҷомеаҳо дар экосистемаҳои заминӣ ва обӣ дақиқ муайян карда шаванд	Беҳтар намудани инвентаризатсияи гуногунии биологӣ дар минтақаҳои кӯҳӣ, дарёӣ ва ҳудудҳои муҳофизатшаванда
Ҳадафи В. Истифодаи устувори гуногунии биологӣ	Мониторинги аз лиҳози илмӣ асосноки захираҳои биологиро таъмин мекунад	Дастгирии моҳипарварии устувор, идоракунии чарогоҳҳо ва хочагии чангал
Ҳадафи С. Тақсимои одилонаи манфиатҳо аз захираҳои генетикӣ	Ба ҳуҷҷатгузори гуногунии генетикӣ ва пайдоиши захираҳо мусоидат мекунад	Тақвияти назорати миллӣ бар захираҳои биологӣ ва истифодаи онҳо
Ҳадафи D. Воситаҳои татбиқ ва ҳамгирӣ	Маълумоти стандартизатсияшударо барои ҳисоботдиҳӣ ва қабули қарорҳо таъмин менамояд	Тақвияти низомҳои миллии мониторинг ва ҳисоботдиҳӣ дар доираи Конвенсия оид ба гуногунии биологӣ

Истифодаи eDNA ба ташаккули маълумоти муқоисашаванда, объективӣ ва аз лиҳози илмӣ асоснок мусоидат намуда,

сифати ҳисоботдиҳии миллӣ ва самаранокии сиёсати ҳифзи табиатро баланд мебардорад. Шомил намудани ин техноло-

гия ба стратегияҳо ва нақшаҳои миллии амал оид ба гуногунии биологӣ (NBSAPs) метавонад ҳамгироии равишҳои илмиро ба равандҳои қабули қарорҳо тақвият бахшад.[9] Convention on Biological Diversity. Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework, 2022

Ҳадафҳои стратегии Барномаи ҷаҳонии ҷаҳорҷӯбавӣ оид ба гуногунии биологӣ (GBF) роҳнамоҳои концептуалии дарозмуддат то соли 2050 мебошанд, ки самти умумии сиёсати ҷаҳониро дар соҳаи ҳифзи табиат, истифодаи устувори захираҳо, тақсими одилонаи манфи-

атҳо ва таъмини воситаҳои татбиқ муайян мекунад, дар ҳоле ки ҳадафҳои амалӣ хусусияти амалӣ дошта, вазифаҳои мушаххас ва ҷеншавандаро то соли 2030 муайян месозанд, аз ҷумла нишондиҳандаҳои микдорӣ, индикаторҳо ва механизмҳои татбиқ, ки диди стратегиро ба амалҳои воқеии давлатҳо, ташкилотҳо ва ниҳодҳои идоракунии захираҳои табиӣ табдил медиҳанд; ба ибораи дигар, ҳадафҳои стратегӣ самти ниҳии рушдро муайян мекунад, дар ҳоле ки ҳадафҳои амалӣ абзорҳо ва қадамҳои расидан ба онро муайян месозанд.

Саҳми eDNA дар ноил шудан ба ҳадафҳои амалии GBF (2022–2030)

Ҳадафи GBF	Чӣ гуна eDNA ба татбиқ мусоидат мекунад	Аҳамияти амалӣ барои Тоҷикистон
Ҳадаф 1. Банақшагирии фазой ва ҳифзи экосистемаҳо	Маълумоти дақиқ оид ба паҳншавии намудҳо ва сохтори ҷомаҳои биологиро таъмин мекунад	Беҳсозии минтақаи андии худудҳои махсус муҳофизатшаванда ва долонҳои экологӣ
Ҳадаф 2. Барқарорсозии экосистемаҳои деградатсияшуда	Имкон медиҳад тағйироти гуногунии биологӣ баъд аз ҷораҳои барқарорсозӣ ба таври микдорӣ арзёбӣ гардад	Назорати барқароршавии ҷарогоҳҳо, дарёҳо ва ҷангалҳо
Ҳадаф 3. Васеъ намудани шабакаи худудҳои муҳофизатшаванда (30×30)	Асоси илмии муайянсозии сарҳадҳо ва мониторинги худудҳои муҳофизатшавандаро фароҳам меорад	Баланд бардоштани самаранокии идоракунии худудҳои муҳофизатшаванда
Ҳадаф 4. Пешгирии нобудшавии намудҳо	Ошкорсозии барвақтии намудҳои нодир, пинҳонӣ ва таҳдидшавандаро таъмин мекунад	Мониторинги намудҳои Китоби Сурх
Ҳадаф 6. Назорати намудҳои инвазивӣ	Имкон медиҳад организмҳои инвазивӣ дар марҳилаи аввали паҳншавӣ муайян карда шаванд	Пешгирии хатари биологӣ дар экосистемаҳои обӣ
Ҳадаф 7. Коҳиши ифлосшавӣ	Ҳамчун нишондиҳандаи биологӣ барои арзёбии таъсири моддаҳои ифлоскунанда истифода мешавад	Арзёбии ҳолати экологии дарёҳо ва обанборҳо
Ҳадаф 8. Мутобикшавӣ ба тағйирёбии иқлим	Тағйироти таркиби намудҳоро, ки аз омилҳои иқлимӣ ба вучуд меоянд, сабт мекунад	Дастгирии илмии сиёсати миллии мутобикшавӣ ба иқлим
Ҳадаф 13. Дастрасӣ ба захираҳои генетикӣ ва тақсими манфиатҳо (ABS)	Манбаи пайдоиш ва гуногунии генетикиро ҳуҷжатгузорӣ мекунад	Тақвияти механизмҳои миллии назорати захираҳои генетикӣ
Ҳадаф 19. Сафарбаркунии захираҳо ва инноватсия	Арзиши мониторингро коҳиш дода, самаранокии сармоягузориҳои экологиро баланд мебардорад	Беҳсозии бучетҳои барномаҳои ҳифзи муҳити зист

Ҳадафҳои амалётии Барномаи ҷаҳонии ҷаҳорҷубавӣ оид ба гуногунии биологӣ (GBF) вазифаҳои мушаххаси амалӣ барои давра то соли 2030 мебошанд, ки муайян мекунанд кишварҳо ва ташкилотҳо барои расидан ба ҳадафҳои стратегӣ кадом амалҳоро бояд анҷом диҳанд; онҳо нишондиҳандаҳои ченшаванда ва меъёрҳои миқдориро дар бар мегиранд (масалан, тавсеаи ҳудудҳои муҳофизатшаванда, барқарорсозии экосистемаҳо, коҳиши ифлосшавӣ, назорати намудҳои инвазивӣ), инчунин механизмҳои татбиқ, мониторинг ва ҳисоботдиҳиро пешбинӣ менамоянд, яъне ҳамчун сатҳи абзориву иҷроии сиёсат хизмат карда, афзалиятҳои глобалии экологиро ба барномаҳо, лоиҳаҳо ва қарорҳои идоракунӣ дар сатҳи миллий ва минтақавӣ табдил медиҳанд.

Мушкилоти татбиқ ва дурномаи рушди eDNA дар Тоҷикистон

Сарфи назар аз иқтидори назаррас, ҷорӣ намудани васеи технологияҳои ДНК-и экологӣ (eDNA) дар Тоҷикистон бо як қатор мушкилот рӯ ба рӯ мешавад. Ба онҳо зарурати рушди инфрасохтори озмоишгоҳӣ барои таҳқиқоти молекулавӣ-генетикӣ, дастрасии маҳдуд ба таҷҳизоти муносири секвениронӣ ва реагентҳо, норасоии мутахассисони соҳибхисос дар соҳаи экологияи молекулавӣ ва биоинформатика, инчунин ниёз ба стандарткунонии усулҳои гирифт ва таҳлили намунаҳо ва таъсиси пойгоҳҳои миллии маълумоти генетикӣ дохил мешаванд. Илова бар ин, шароити мураккаби табиӣ-ҷуғрофӣ, дастнорас будани экосистемаҳои баландкӯҳ ва маҳдудияти захираҳои молиявӣ барои барномаҳои дарозмуддати мониторинг мушкилоти иловагӣ эҷод мекунанд.

Бо вучуди ин, заминаҳои мусоид барои рушд ва татбиқи ин равиш тадриҷан ташаккул меёбанд. Пешрафти босуръати технологияҳои секвениронӣ, паст шудани арзиши таҳлилҳо, афзоиши тавачҷуҳ ба мониторинги рақамии экологӣ, густари-

ши ҳамкориҳои байналмилалӣ илмӣ ва иштироқи Тоҷикистон дар ташаббусҳои ҷаҳонии ҳифзи табиат имконият фароҳам меоранд, ки eDNA ба низоми миллии мушоҳидаи муҳити зист ворид карда шавад. Ин равандҳо ба ҳамгирии усулҳои муносири илмӣ дар идоракунӣ захираҳои табиӣ мусоидат менамоянд.

Дар дурномаи дарозмуддат технологияҳои eDNA метавонанд пояи платформаи муттаҳидаи рақамии арзёбии гуногунии биологӣ ва ҳолати экосистемаҳои кишвар гарданд. Истифодаи онҳо имкон медиҳад дақиқии арзёбиҳои экологӣ баланд бардошта шавад, маълумоти илмӣ боэътимод барои қабули қарорҳои идоракунӣ таъмин гардад, самаранокии сиёсати ҳифзи табиат тақвият ёбад ва заминаи устувори илмӣ-технологӣ барои истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ ташаккул ёбад.

Хулоса

Дар маҷмӯъ, баррасии имкониятҳои истифодаи ДНК-и экологӣ (eDNA) нишон медиҳад, ки ин технология метавонад ба яке аз абзорҳои калидии илмӣ-амалӣ барои арзёбӣ, мониторинг ва идоракунӣ устувори гуногунии биологӣ ва захираҳои табиӣ Тоҷикистон табдил ёбад. Афзалиятҳои он — ҳассосияти баланд, ғайриинвазивӣ будан, имкони фарогирии фазоӣ ва муқоисашавандагии маълумот — шароити мусоид фароҳам меоранд, то мониторинги экосистемаҳо дар сатҳи миллий ба сатҳи сифатан нав бардошта шавад ва заминаи илмӣ қабули қарорҳои идоракунӣ тақвият ёбад.

Бо вучуди мавҷудияти мушкилоти техникӣ, кадрӣ ва инфрасохторӣ, равандҳои ҷаҳонии рушди технологияҳои геномикӣ, густариши ҳамкориҳои байналмилалӣ ва тавачҷуҳи афзоянда ба мониторинги рақамии экологӣ имкониятҳои воқеӣ барои ҷорӣ намудани ин усулро дар низоми миллии мушоҳида ва баҳодиҳии муҳити зист фароҳам месозанд. Дар ҷунин шароит татбиқи пайдарпайи стандартҳо, рушди иқтидори илмӣ ва таъсиси пойгоҳҳои

додаҳои миллӣ аҳамияти ҳалқунанда пайдо мекунад.

Дар дурнамои стратегӣ ҳамгирии eDNA ба барномаҳои миллӣ ва минтақавии мониторинг метавонад ба ташаккули низоми муосири идоракунии захираҳои табиӣ, иҷрои ухдадориҳои байналмилалӣ экологӣ ва таъмини рушди устувори экологию иҷтимоии кишвар мусоидат намояд.

Адабиёт

1. Шарипов С.А. Моҳият ва мафҳуми ДНК-и экологӣ дар Заминаи мониторинги экологӣ // Захираҳои обӣ, энергетика ва экология, 2025. - Ҷ.5. - №4. - С.142-149.
2. Environmental-DNA.nl. (n.d.). Бартариҳои ДНК-и экологӣ (eDNA). Гирифта шудааст [12-12-2025], аз https://www.environmental-dna.nl/en-us/Advantages?utm_source
3. Lujan, M. (2025, February 17). The potential of environmental DNA (eDNA) in aquaculture. Digital Magazine on Aquaculture. Aquahoy <https://aquahoy.com/potential-of-environmental-dna-edna-in-aquaculture>
4. CD Genomics. (n.d.). Environmental DNA (eDNA) analysis service. Retrieved [12-10-2025], from https://www.cd-genomics.com/microbioseq/environmental-dna-edna-analysis-service.html?utm_source
5. Miwa Takahashi. Aquatic environmental DNA: A review of the macro-organismal biomonitoring revolution Science of The Total Environment Volume 873, 15 May 2023, 162322
6. Национальная стратегия и план действий по сохранению биоразнообразия до 2020 г. https://www.cbd.int/doc/world/tj/tj-nbsap-v2-ru.pdf?utm_source
7. Convention on Biological Diversity. Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework, 2022.
8. Thomsen P.F., Willerslev E. Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. Biological Conservation, 2015.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДНК КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Шарипов С.А.^{1,*}, Амирзода О.Х.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана
*Автор корреспондент. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com

Аннотация. Экологическая ДНК (эДНК) — это современный молекулярно-генетический инструмент, позволяющий определять присутствие организмов в окружающей среде по фрагментам их генетического материала без прямого контакта с объектами исследования. В статье рассматриваются возможности использования эДНК в условиях Таджикистана — страны с высоким уровнем природного и ландшафтного разнообразия, сложным рельефом и стратегическими водными ресурсами. Обоснована роль эДНК как методологической основы для комплексного мониторинга биоразнообразия, оценки динамики экосистем и разработки научно обоснованных подходов к устойчивому управлению природными ресурсами. Показано, что внедрение этой технологии способствует повышению точности экологической информации, совершенствованию решений в области охраны природы и выполнению международных обязательств в сфере сохранения биоразнообразия.

Ключевые слова: экологическая ДНК, биоразнообразие, мониторинг, устойчивое использование природных ресурсов, Таджикистан, водные ресурсы, экосистемы.

ECOLOGICAL DNA AS A METHODOLOGICAL BASIS FOR ASSESSING THE STATE AND DYNAMICS OF BIODIVERSITY AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES IN TAJIKISTAN

Sharipov S.A.^{1,*}, Amirzoda O.Kh.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com

Abstract. Environmental DNA (eDNA) is a modern molecular genetic tool that allows the detection of organisms in the environment using fragments of their genetic material without direct contact with the studied objects. This article examines the potential of eDNA use in Tajikistan, a country with a high level of natural and landscape diversity, complex topography, and strategic water resources. The article substantiates the role of eDNA as a methodological basis for comprehensive biodiversity monitoring, assessing ecosystem dynamics, and developing scientifically based approaches to sustainable natural resource management. It is shown that the implementation of this technology contributes to increased accuracy of environmental information, improved environmental decision-making, and the fulfillment of international biodiversity conservation obligations.

Key words: ecological DNA, biodiversity, monitoring, sustainable use of natural resources, Tajikistan, water resources, ecosystems

Маълумот дар бораи муаллифон: Шарипов Саид Аҳмадович – ходими калони илмии шуъбаи Идоракунии захираҳои об ва обсарфакунии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, E-mail: sharipovsa1988@gmail.com. Амирзода Ориф Ҳамид – доктори илмҳои техника, дотсент, сарҳодими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, E-mail: orif2000@mail.ru

Информация об авторах: Шарипов Саид Аҳмадович – старший научный сотрудник Отдела управления водными ресурсами и водобращения Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, E-mail: sharipovsa1988@gmail.com. Амирзода Ориф Хамид – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, E-mail: orif2000@mail.ru

Information about the Authors: Sharipov Said Ahmadovich - Senior Researcher of the Department of Water Resources Management and Water of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAST, E-mail: sharipovsa1988@gmail.com. Amirzoda Orif Khamid – Doctor of Technical Sciences, Docent, Leading Researcher at the Institute of Water Resources, Hydropower and Ecology of the NAST, E-mail: orif2000@mail.ru.

УДК 551.324.2

ОПЫТ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ УГРОЗЫ И ЗАЩИТА ОТ ОПОЛЗНЕЙ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ШОХДАРА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР, ТАДЖИКИСТАН)

Шафиев Г.В.^{1,*}, Амиров У.А.¹

¹Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

*Автор-корреспондент. E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru

Аннотация. Актуальность проблем заключается в том, что по мере освоения горных районов, стихийные природные явления представляют собой опасность для человека и объектов его деятельности. Из-за географического расположения регион находится в зоне высокого риска от природно-геологических угроз такие как землетрясения, оползни, камнепады, селевые явления, снежные лавины и др. Помимо этих процессов территория подвержена воздействию негативных последствий изменения климата, которые также оказывают неблагоприятное воздействие на существующую экосистему. Ухудшение состояния окружающей среды приводит к нарушению природного баланса экосистемы с последующей деградацией существующих земель, биоресурсов, растительности и высокогорных пастбищ, что закономерно скажется на сокращении роста экономических возможностей. Для горных общин в ГБАО опасности и угрозы сти-

хийных бедствий могут быть более сложными и создают более значительные проблемы, чем в других местах. Источниками природных опасностей могут также послужить природные и антропогенные факторы

Ключевые слова: экспозиция склона; крутизна; оползневой склон; экзогенные трещины; трещина бортового отпора; морена; обвалоопасный склон; свежие трещины; конус выноса; объём оползня

Введение

Всем специалистам геологам и строителям известно, что строить на оползнях не рекомендуется, особенно если имеются признаки активного их развития. Что остаётся делать населению Памира, если в долинах и на склонах остаётся только 7% пригодных к строительству и освоению территорий в целом по Таджикистану. Приходится строить на склонах, вблизи склонов – на любой ровной поверхности. А на Памире – это террасы рек, конуса выноса, оползневые массивы и моренные поверхности. Во всех случаях имеется и

сохраняется на длительное время угроза от наводнений, селей, лавин, осыпей, камнепадов и оползней. Надо подчеркнуть, что при всём многообразии и активности проявления современных геологических процессов на Памире, оползни являются, пожалуй, самым редким процессом. Достаточно отметить, что из 50000 оползней Таджикистана, на Памире зафиксировано всего около 1000, хотя территория ГБАО составляет 44% Таджикистана. Но по масштабам, проявления и характеру угрозы они могут считаться самыми опасными и непредсказуемыми процессами.

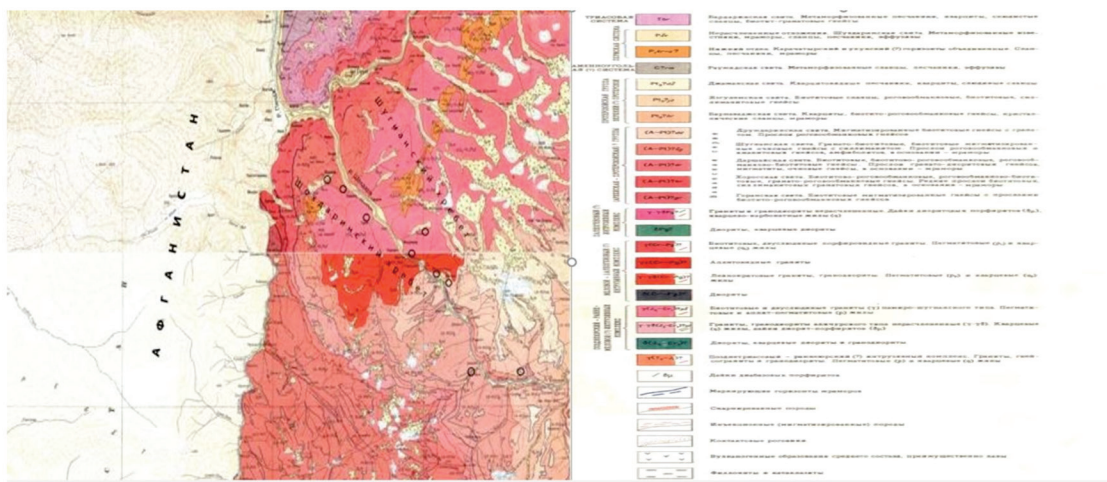


Рисунок 1. Фрагмент геологической карты масштаба 1:200000. Чёрными кружочками обозначены места проявления оползневых явлений [1].

Особенности оползней на Памире на примере долины реки Шохдара. Одна из сложностей, с которыми пришлось столкнуться при оценке оползнеопасных склонов долины р. Шохдара, обусловлена тем, что территория бассейна р. Шохдара находится в сейсмоопасной зоне и подвергается воздействиям как сравнительно редких сильных коровых землетрясений, так и намного более частых глубокофокусных землетрясений с очагами в пределах Памиро-Гиндукушской сейсмофокальной зоны [7]. Бассейн р. Шохдара и

прилегающие к нему территории располагаются в мезо-кайно-зойском складчатом поясе Южного Памира. Территория сложена разнообразными гнейсами архейского, протеро-зойского и триасового возрастов [3]. В соответствии с этим, практически все зафиксированные оползни на территории Памира относятся к сложным образованиям и приурочены к зонам тектонических разломов. Их характеризуют огромные размеры и объём, глубокий захват склонов, сложное блоковое строение массивов, сложно-переходные типы

смещения, чёткая приуроченность ко всем сейсмически активным разломам и их пересечениям. Основная часть оползней Памира – это древние стабилизовавшиеся или частично стабилизовавшиеся массивы.

Проблемы строительства и освоения на оползневых склонах. Поверхности древних оползневых склонов и массивов в связи с особенностями своего строения и облика, на территории Памира всегда привлекали внимание людей, как наиболее благоприятные объекты для хозяйственного освоения.

При строительстве и освоении территорий с оползневыми склонами существуют проблемы, связанные с наличием природных угроз и возникновением опасных техногенных явлений. В связи с отмеченными проблемами оползни Памира должны рассматриваться в двух группах:

Оползни сложно-переходного типа с захватом коренных пород. Факторами формирования таких оползней являются поражённость склонов процессами фи-

зического выветривания, сейсмичность и антропогенный фактор, которые в условиях узких долин Памира чаще всего образуют различного типа перекрытия, с последующим образованием и прорывом завальных озёр [9]. Такие оползни в свою очередь становятся причиной возникновения катастрофического явления – прорывного селя, который может затопить, разрушить населённые пункты и все объекты в долинной части. Зоны поражения от прорывов иногда протягиваются на сотни километров. В зоне поражения могут оказаться сотни человеческих жизней, которые ничем не восполняются.

При натурных наблюдениях и при дешифрировании спутниковых снимков по долине р. Шохдара установлено более 5 оползнеопасных склонов. Неустойчивое состояние некоторых древних оползней позволяет предположить, что на территории долины р Шохдара существуют угрозы образования новых перекрытий долин в районе кишлаков Риджист, Барджингал, Занинц, Занудж. (Рис.2)

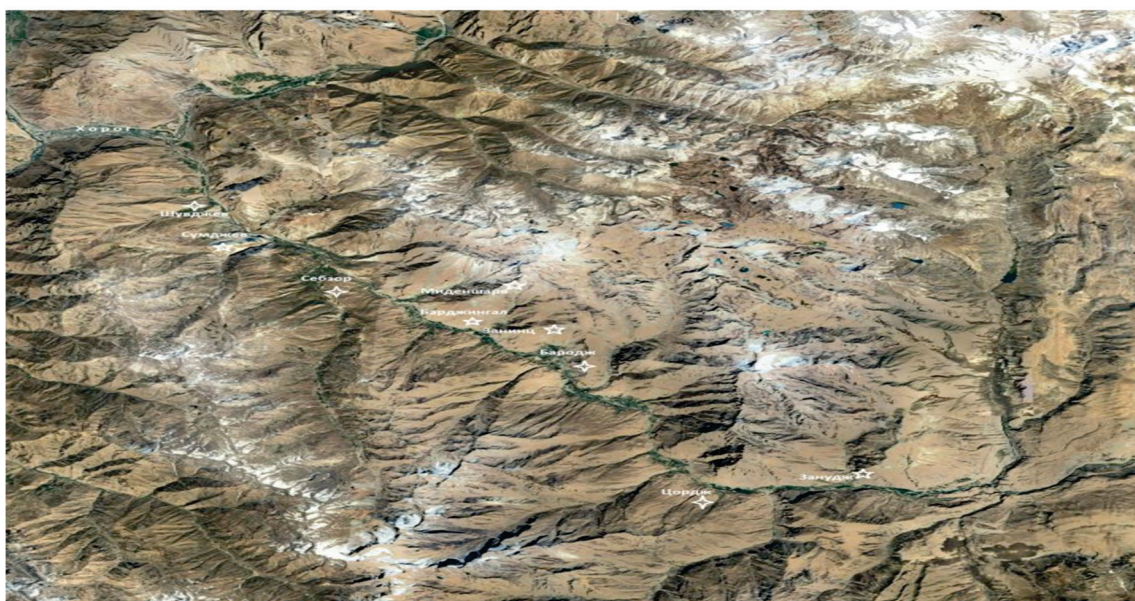


Рисунок 2. Обзор мест проявления оползней в долине р. Шохдара. Примечание: Пятиугольные звёздочки обозначают проявления оползней с захватом коренных пород. Четырёхугольные звёздочки указывают на оползни техногенного характера. (снимок с сайта GoogleEarth).

Вторичные оползни техногенного характера. Любая хозяйственная деятельность на древних оползневых склонах и

массивах рано или поздно вызовет активизацию отдельных его частей. Особенно опасны для оползневых массивов любые

подрезки склонов – при строительстве дорог, каналов, домов, проведении взрывных работ, неконтролируемый полив или орошение крупных массивов, утечка из водоподающих сетей, сброс бытовых вод. Неконтролируемое увеличение техногенной нагрузки приводят к активизации оползней с угрозой населённым пунктам, отдельным хозяйствам, землям и другим объектам [6].

Установлено, что за последние 30 лет в результате воздействия человека на окружающую среду на территории ГБАО, произошли более 100 случаев проявления геологических процессов, в том числе опасная активизация оползней в кишлаках Тусиён, Занудж, Бародж, Сумджев, Бодом. Чадуд, Дуршер, Хек, Зев, Умарак.

Представленные выше проблемы ГБАО, связанные с использованием оползнеопасных территорий, позволяют говорить о том, что более целесообразно рассматривать эти проблемы не в поиске методов безопасного строительства на оползнях, а в определении стратегии и выбора мероприятий по обеспечению условий безопасного проживания на уже освоенных оползнях и оползневых склонах. Одним из первых и обязательных таких мероприятий является оценка оползневой угрозы на различных территориях и определение (выделение) участков, где строительство запрещается или не рекомендуется. При необходимости строительство на оползнеопасных территориях обязательно применение комплекса защитных сооружений и предупреждающих мероприятий, соблюдение «охраняемых зон».

Роль оценки в выборе эффективной защиты от оползней. Эффективная защита от оползней в условиях горного Памира возможна только на основе знания закономерностей развития оползневых процессов, и современного их состояния. Этому требованию соответствует проведение детальной инженерно-геологической оценки на всех оползневых массивах,

оползнях и оползнеопасных территориях. Оценка предусматривает:

- Изучение условий и факторов образования оползней.
- Определение типов и механизмов смещения.
- Выделение ведущих факторов и критериев оползнепроявления, их связь и зависимость с другими геологическими процессами.
- Характеристика современного состояния и устойчивости склонов и массивов.
- Определение факторов и причин существующей и возможной активизации оползней.
- Выделение и характеристики зон поражения оползнями.
- Рекомендации по снижению оползневой угрозы.

Конечным результатом оценки оползней и оползнеопасных территорий является соблюдение схемы:

Оценка угроз → Оценка уязвимости → Оценка риска. Созданные на основании оценки Модели Риска служат обоснованием для определения и выбора мероприятий защиты и предупреждения оползней.

Митигация – мероприятия по защите и предупреждению. Главными мероприятиями по стабилизации оползневых склонов являются:

- гидроизоляция водоподающих систем;
- точечные дренажи;
- отвод вод с оползневого тела;
- залесение оползневого склона;
- нормированный и разумный полив при орошении земель;
- террасирование и планировка склонов;
- частичная разгрузка оползней;
- организация систем наблюдений за оползневыми процессами.

Опыт работ на оползневых территориях Памира показывает, что на первое место по значимости для активизации

оползневого процесса выходит наличие и состояние водоподающих и оросительных сетей.

Начальная активизация древних оползневых склонов, как правило, происходит через 5-10 лет после сдачи сооружения в эксплуатацию. За этот период износ сооружения в условиях высокогорья Памира составляет 15-20%. Кроме этого, многие водоподающие системы изначально сооружаются без гидроизоляции.

В результате фильтрации и утечки вод из каналов и сетей начинается обводнение оползневого склона, существенно изменяются физико-механические свойства грунтов, происходит изменение и перераспределение напряжений в оползневом массиве, образование оползневых трещин, нарушение единой структуры массива, отчленение и смещение грунтовых масс по склону [2].

Согласно инженерно геологической оценки на территории Памира в 1997-2022 годах было изучено более 400 населённых пунктов с различными категориями опасностей от природных угроз. Из них порядка 20 населённых пунктов расположены на поверхности активно развивающихся древних оползневых участков, связанных с техногенными воздействиями – фильтрация воды из оросителей, несоблюдение норм полива, подрезка склона, вырубка растительности на склонах и безконтрольный выпас мелкорогатого скота на склонах и т.д.

В пределах восьми из них выполнены в разные годы мероприятия по стабилизации оползневых склонов. В настоящей работе мы хотим познакомить вас с опытом стабилизации на примере трёх таких участков:

Кишлак Цордж расположен по левому борту долины реки Шохдара в 51 км от города Хорога и в 6 километрах от райцентра Рошткала

Главными орографическими элементами местности являются река Шохдара и отроги хребтов Шугнан и Вахан [4]

Долина в районе обследования имеет асимметричное строение с фрагментами сохранившихся аккумулятивных террас аллювиального и флювиогляциального происхождения.

Активизация оползня произошла на участке Анджин. Главным фактором оползнеобразования является фильтрация воды из водоподающего канала Вездара-Миденвед. (Рис.3). Канал построен кустарным способом и не гидроизолирован.

В результате несоблюдения норм полива и бесхозной утечки воды из канала вниз по склону активизировался техногенный оползень. [6].

Активизация оползня произошла на верхнечетвертичных моренных отложениях. Оползень по механизму образования относится к оползням сложно-переходного типа, так как нижняя и средняя части оползневого склона обводнены (переход от блочного скольжения к оползню-потоку). В настоящее время свойства глинистых отложений на нижней и средней частях склона нарушены. Грунты находятся в влажной состоянии.[2].

В настоящее время верхняя часть оползневого склона полностью поражена и разорвана многочисленными разно ориентированными оползневыми трещинами. Трещины в плане имеют извилистую форму, открытые, местами заполнены обломочным материалом. Глубина захвата трещин разная и колеблется от 0.2 м до 1 м при длине от 3 до 25 м и шириной до 0.5 м. (Рис. 5). Стенка срыва оползневого тела находится на высоте от 1.5 до 2.5 м над головой оползневого тела и сложена рыхлообломочными суглинисто-супесчаными отложениями с включением отдельных скальных обломков.[9; 10.] (Рис 4)



Рисунок 3. Проложенный без гидроизоляции земляной канал Вездара-Минденвед, который является главным фактором образования техногенного оползня.
Автор фотографии Шафиев Г.В.



а

в

Рис. 4. (а; в) Оползневые трещины гравитационного характера и стенка срыва оползневого склона. Автор фотографии Шафиев Г. В.



Рисунок 5. (а; в) Оползневой склон с гравитационными трещинами.
Автор фотографии Пирмамадов У. Р.

Проблема заключается в том, что при реализации оползневых масс вероятность поражения 2 жилых хозяйств очень высока.

Так же в зону потенциальной опасности от оползня попадают 2 хозяйства.

Вероятность активизации техногенного оползня высокая, о чём свидетельствует обводненность нижней и средней частей оползневого склона. Объём возможного оползневого смещения составляет 10000 куб м (при ширине фронта 70м, длине 40 м и глубине захвата от 3 до 4 м). Согласно строению склона и местности дальность поражения оползневыми массами ориентировочно может составить 300-400 м.

Кишлак Шувджев расположен в среднем течении боковой субдолины ручья Курцак (Шарвидодж), левого притока р. Шохдара в 25 км от райцентра Рошткала и в 18 км к юго-востоку от областного центра г. Хорога.

Жилые строения размещены на поверхности древнего конуса выноса ручья Шарвидодж.

Абсолютные высотные отметки местоположения кишлака варьируют от 2470 до 2660 м, относительное превышение места размещения домостроев кишлака над урезом ручья Шарвидодж 2-3м.

Оползневые процессы развиты на правом боту долины р. Шарвидодж, на высоте 100-300 м относительно поверхности конуса выноса. Оползаниями затронуты моренные отложения, сложенные скальными обломками с включением щебня и супеси.

В ходе ранее инженерно-геологических визуальных обследований была выявлена ниша отрыва двух старых (позднеголоценовых) оползней сложного типа. Параллельно бровке стенки срыва этих оползневых тел отмечены открытые трещины, свидетельствующие об оползневых подвижках на склоне.



а



в

Рисунок 6. (а; в) Трещины отрыва на оползневом теле.

Автор фотографии Пирмамадов У. Р.

С 9-го по 11-е июля 2016 года произошла активизация древнего оползневого склона, расположенного по правому борту ручья Шарвидодж у кишлака Шувджев. В результате активизации оползневых процессов образовались свежие дугообразные оползневые трещины и трещины закола разного направления. Высота ниши отрыв оползневого тела составляет 1-2 метра. (рис. 7). Ширина раскрытия

трещин составляет от 10 до 30 см, видимая глубина поражения склона трещинами от 3-х до 5-и метров. Длина трещины отрыва на оползневом теле составляют от 20 до 100-150 метров и имеет дугообразную форму. Отмечается увлечение дебита выклинивающихся родников на оползневом склоне, особенно в языковой части. Произошло искривление древесных растений на оползневом теле и разрушение

на некоторых отрезках 2-х основных оросительных систем, проложенных через

оползневое тело. (Рис.8).

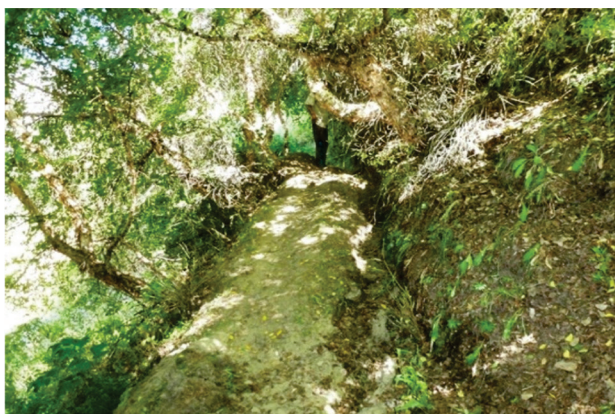


а



в

Рисунок 7. (а; в) Стенка срыва оползня. Автор фотографии Пирмамадов У.



а



в

Рисунок 8. (а; в) Искривлённые деревья в результате активизации оползня. Автор фотографии Пирмамадов У.

Главными факторами активизации оползня являются

- Освоение и полив со стороны местных жителей древнего оползневого склона.
- Увеличение дебита выклинивающихся родников на оползневом теле.
- Крутизна склона.

Для стабилизации оползневого склона со стороны организации АКАН реализован проект по гидроизоляции канала над оползневом телом.

Оползень Занудж. Древний сейсмогенный оползень скольжения сложно-переходного типа расположен по правому борту реки Зануджара. Над оползневом

склоном расположены орошаемые земли кишлака. Нижняя часть склона подрезана водоподающим арыком. Оползень начал активизироваться в нижней части склона на высоте порядка 150 м относительно современного русла р. Зануджара в сильно трещиноватых породах. Боковые границы оползня хорошо оформлены, с юга просматривается зона скольжения. (рис. 9; 10.). Причинами оползневой активизации следует считать перенасыщение водой верхней части оползневого тела склона из-за ненормированного полива и подрезку арыком его нижней части.

В настоящее время оползень активно движется; фронтальной частью он пере-

крыл трассу водоподающего арыка. Объём оползневой массы небольшой, 50-70 тыс. м³, однако при одновременном перемещении эта масса способна перекрыть долину ручья Занудждара (ширина русла реки 50-60м) с образованием и последую-

щим прорывом запрудного озера. Возникает угроза образования грязекаменного селевого потока с разрушительными последствиями для нижерасположенных хозяйств.



а



б

Рисунок 9. (а; б) Оползнеопасный склон Занудж. Разрушенная часть канала в результате активизации оползня. Автор фотографии Гоибназаров А.



а



б

Рисунок 10. (а; б) Разрушенная часть канала по саю Оджатга в результате оползневых явлений. Автор фотографии Гоибназаров А.

Для стабилизации оползневого тела в 2003 и 2014 годы реализованы проекты, которые включали разгрузку неустойчивых блоков во фронтальной части и гидроизоляция канала

На всех остальных оползневых участках со стороны организации АКАН проведены такие же мероприятия по стабилизации и гидроизоляции водоподающих и оросительных систем, частичная планировка склонов (террасирование) и обра-

зовательные семинары для населения.

Следует подчеркнуть, что выполненные мероприятия, как правило, являются временно стабилизирующими, потому что сложное строение оползней и разнообразные причины их активизации требуют более широкого спектра и различных комплексов защитных и профилактических мероприятий, как это выполнено, например, в кишлаках Шувджев, Занудж и Цордж.

Выводы

В заключение необходимо отметить, что наличие двух очень различных групп оползней на территории Памира, как это указано выше, определяет для нас необходимость применения следующих видов деятельности по защите населенных пунктов от оползней, по снижению риска от влияния активизации оползневых процессов до минимума, по обеспечению безопасного строительства и проживания на оползнеопасных территориях Памира:

1. Детальное изучение всех перекрытий речных долин.

2. Построение моделей риска для всех территорий с дальней и региональной угрозой от прорывных селей.

3. Определение и оценка всех неустойчивых и активных оползневых массивов с угрозой для кишлаков и перекрытия речных долин.

4. Выделение участков с запрещением любого вида строительства.

5. Разработка мероприятий и комплексов защиты для всех освоенных и перспективных к освоению территорий с развитием оползней.

Наиболее эффективным для закрепления оползневых склонов и предупреждения активизации оползней, на наш взгляд, является комплекс профилактических и защитных мероприятий, включающий:

- закрепление грунтов на переувлажненных участках оползневого склона методом лесонасаждения;
- разгрузка и террасирование оползневых склонов;
- гидроизоляция каналов, регулирование сброса поливных вод из арычной сети;
- строгое нормирование поливов на всех орошаемых площадях;

- планирование и регулирование застроек в жилых зонах;

- проведение семинаров и занятий для населения.

Литература

1. Алесин Г.И., Габо А.В., 1967. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Памирская. J-42-XXIV,
2. Воронкевич С.Д., Золотарев Г.С., Кривошеева, Сергеева Е.М., Трофимов В.Т. (ред.), 1982. Сб. статей, подготовленных к 45-летию кафедры грунтоведения и инженерной геологии МГУ, Вопросы инженерной геологии и грунтоведения, Вып. 5. Стр. 178. Изд-во МГУ, Москва.
3. Гусев И.А., Бархатов Б.П., 1970. Объяснительная записка к геологической карте СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Памирская. J-42-XXIV. Москва.
4. Золотарев Г.С., Григорян С.С., Мягков С.М. (ред.), 1987. Формирование оползней, селей и лавин. Инженерная защита территорий. Изд-во МГУ, Москва.
5. Ниязов Р.А., Минченко В.Д., Ташматов Х.М., 1991. Мониторинг экзогенных геологических процессов. Фан, Ташкент.
6. Сквалецкий Е.Н. (ред.), 1983. Методика инженерных изысканий для мелиоративного строительства в аридной зоне. Тезисы докладов всесоюзного совещания. Стр. 60. Душанбе 1983
7. Трифонов В.Г., Иванова Т.П., Бачманов Д.М., 2012. Эволюция центральной части Альпийско-Гималайского пояса в позднем кайнозое. Геология и геофизика, Том 53, № 3, с. 289-304.
8. Труды республиканского семинара «Опыт изучения оползней и обвалов на территории Таджикистана и методы инженерной защиты», 2002. Эчод, Душанбе.
9. Федоренко В.С., 1988. Горные оползни и обвалы, их прогноз. Изд-во МГУ, Москва.
10. Шафиев Г.В., 2021. Обзор и краткая характеристика обвально-оползневых явлений на территории г. Хорога (Юго-Западный Памир, Таджикистан). ГеоРиск, Том XV, № 2, с. 70-81, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2021-15-2-70-81>.

ТАҶРИБАИ ПЕШГИРИИ ТАҲДИД ВА ҲИМОЯ АЗ ЯРЧ ДАР МИСОЛИ ҲАВЗАИ ДАРЁИ ШОҲДАРА (ПОМИРИ ҶАНУБУ ҒАРБӢ, ТОҶИКИСТОН)

Шафиев Г.В.^{1,*}, Амиров У.А.¹

¹Муассисаи илми давлатии «Маркази омӯзиши пирахҳо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Аҳамияти мушкилот дар он аст, ки баробари азхудкунии минтақаҳои кӯҳӣ офатҳои табиӣ барои одамон ва объектҳои фаолияти онҳо хатар эҷод мекунанд. Вобаста ба мавқеи географӣ, минтақа дар минтақаи хатарноки таҳдидҳои табиӣ геологӣ, аз қабилӣ заминларза, ярч, сангрезӣ, сел, тарма ва ғайра мавҷуд аст. Илова бар ин, равандҳо, минтақа ба тасири манфии тағйирёбии иқлим дучор меояд, ки ба экосистемаи мавҷуда низ тасири манфӣ мерасонад. Бад шудани муҳити зист боиси вайрон шудани мувозинати табиӣ экосистема бо таназзули минбадаи заминҳои мавҷуда, биоресурсҳо, наботот ва чарогоҳҳои баландкӯҳ мегардад, ки табиатан ба коҳиши афзоиши имкониятҳои иқтисодӣ тасир мерасонад. Барои ҷамоатҳои кӯҳистонии ВМКБ хатарҳо ва таҳдидҳои офатҳои табиӣ нисбат ба дигар ҷойҳо мураккабтар буда, мушкилоти бештаре ба бор меоранд. Омилҳои табиӣ ва антропогенӣ низ метавонанд ҳамчун манбаи хатарҳои табиӣ хизмат кунанд.

Калидвожаҳо: нишебӣ, нишебии ярч, тарқишҳои экзогенӣ, кафиши паҳлӯ, морена, нишебии ба лағжиши замин тобовар, тарқишҳои тару тоза, конуси хориҷ қардан, ҳаҷми ярч.

EXPERIENCE OF PREVENTING THE THREAT AND PROTECTION FROM LANDSLIDES USING THE EXAMPLE OF THE SHOHDARA RIVER BASIN (SOUTHWESTERN PAMIR, TAJIKISTAN)

Shafiev G.V.^{1,*}, Amirov U.A.¹

¹State Scientific Institution "Center for the Study of Glaciers" of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru

Abstract. The significance of the problems lies mostly on the exploration of the mountainous areas, natural disasters phenomenon which pose a serious threat to humans and the facilities of their activities. Due to the geographical location the region is located within the zone of high risk from the natural-geological hazards such as earthquakes, landslides, rockfalls, mudflows, avalanches etc. In addition to these processes, the territory of the area is worsened due to the negative impact of climate change which also has an adverse impact on the existing ecosystem. Deterioration of the environmental condition leads to the disturbance of the natural balance of the ecosystem with subsequent degradation of the existing lands, bio-resources, vegetation, and highland pastures, which will regularly affect the growth reduction of economic opportunities. In general, the area within the region is mountainous and has limited land resources that are useful for agriculture and development of agrarian industry. For mountainous communities, such as GBAO, natural disaster hazards and threats can be more sophisticated and create more serious problems than in other areas. Sources of natural hazards can be natural and anthropogenic.

Keywords: slope exposure; steepness; landslide slope; exogenous cracks; side slope fracture; moraine; rockfall-prone slope; rejuvenated cracks; removal cone; thickness; landslide volume.

Маълумот дар бораи муаллифон: Шафиев Ганҷалӣ Валиевич – ходими илми Муассисаи давлатии илми «Маркази омӯзиши пирахҳои АМИТ», E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru; Амиров Умедҷон Авалимирович – ходими илми Муассисаи давлатии илми «Маркази омӯзиши пирахҳои АМИТ», E-mail: umed1211.cryos@gmail.com

Сведения об авторах: Шафиев Ганджали Валиевич – научный сотрудник Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников НАНТ», E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru; Амиров Умеджон Авалимирович – научный сотрудник Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников НАНТ», E-mail: umed1211.cryos@gmail.com.

Information about the authors: Shafiev Ganjali Valievich – Researcher of the State Scientific Institution "Center for the Study of Glaciers National Academy of Sciences of Tajikistan", E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru; Amirov Umedjon Avalmirovich – Researcher of the State Scientific Institution "Center for the Study of Glaciers of the National Institute of Astronomy and Astrophysics", E-mail: umed1211.cryos@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ПЫЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ В ДУШАНБЕ (СЕНТЯБРЬ 2022 Г.)

Абдуллозода С.Ф.^{1*}, Абдуджамилзода М.А.², Маслов В.А.¹

¹Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана

²Политехнический Институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в городе Худжанд

*Автор корреспондент. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com

Аннотация. В работе выполнен детальный анализ влияния пылевой бури (ПБ, 12.09.2022) и пыльной мглы (ПМ, 16.09.2022) на температурные условия верхней тропосферы (10.942 км) и нижней стратосферы (16.762 км) над Душанбе. Используются ежедневные данные GDAS-1 и измерения аэрозольной оптической толщины (АОТ) за те же сутки. Результаты показали двунаправленные аномалии: охлаждение на уровне 10.9 км до -8 °С ниже нормы и потепление на уровне 16.7 км до $+4$ °С. Вертикальный градиент температуры и статическая устойчивость атмосферы существенно изменяются. Установлено, что ПБ и ПМ обладают различными механизмами воздействия: ПБ вызывает динамическое охлаждение через подъем тропосферных масс, тогда как ПМ усиливает радиационное поглощение мелкодисперсным аэрозодем, вызывая потепление в стратосфере.

Ключевые слова: пылевые явления, вертикальный температурный профиль, тропосфера, стратосфера, аномалии температуры.

Введение

Пылевые явления являются характерной особенностью климатической системы Центральной Азии и оказывают существенное влияние на радиационный баланс и вертикальную стратификацию атмосферы [1–5]. В условиях Центральной Азии глобальные и региональные потоки аэрозоля периодически приводят к пылевым бурям и длительным периодам пыльной мглы, что вызывает заметные кратковременные аномалии термодинамики атмосферы [2,5].

Вертикальные профили метеорологических параметров атмосферы получены из результатов спутникового зондирования атмосферы модели GDAS-1 (Global Data Assimilation System), предоставляемой NASA/NOAA. Данные GDAS-1 доступны на сайте: <https://www.ready.noaa.gov/gdas.php>. Наблюдения представлены с шагом 3 часа, однако, согласно принятой методике, выбраны профили, соответствующие 09:00 UTS (14:00 по местному времени) — периоду максимальной солнечной радиации. Это важно, поскольку процессы нагрева, турбулентного пере-

мешивания, испарения и конденсации в дневные часы наиболее интенсивны.

Как отмечается в мировой литературе [6,7], усреднение данных по нескольким временам суток искажает реальную динамику атмосферы, поскольку атмосферные процессы изменяются очень быстро. Поэтому в исследовании используются фактические профили без временного осреднения.

В сентябре 2022г. в г. Душанбе наблюдалась пылевая буря (12.09.2022) с сильными порывами ветра и резким снижением дальности видимости, а затем и пылевая мгла (15-18 сентября 2022) с более мелкими частицами аэрозоля и более прозрачной атмосферой. Часто ПБ, длящиеся обычно менее суток, плавно перетекают в ПМ, но в данном случае эти пылевые эпизоды (ПЭ) представляются разделенными. Это оказалось удачной возможностью изучить изменение высотных профилей при различной запыленности воздуха. Для анализа выбраны: день с сильной запыленностью воздуха при ПБ (12.9.2022, $\max(\text{АОТ})=1.547$), день со средней запыленностью при ПМ (16.9.2022,

max(AOT)=0.575), а также дни с наиболее высокой прозрачностью воздуха в сентябре (01.09.2022, AOT=0,203) и (22.09.2022, AOT=0,224), при пылевой дымке, практически не исчезающей в летне-осенний период.

Отмеченные эпизоды существенно различались по физическому механизму: если ПБ формировалась вследствие сильного ветрового подъема песчано-пылевых частиц, то ПМ характеризовалась

длительной взвешенностью мелкодисперсного аэрозоля при слабых ветровых скоростях и устойчивой стратификации.

Цель исследования – количественно оценить влияние пылевых эпизодов сентября 2022 г. на профили температур на высотах ≈ 10.9 км и ≈ 16.7 км и объяснить наблюдаемые аномалии с опорой на физические механизмы радиационно-динамического взаимодействия аэрозолей с атмосферой.

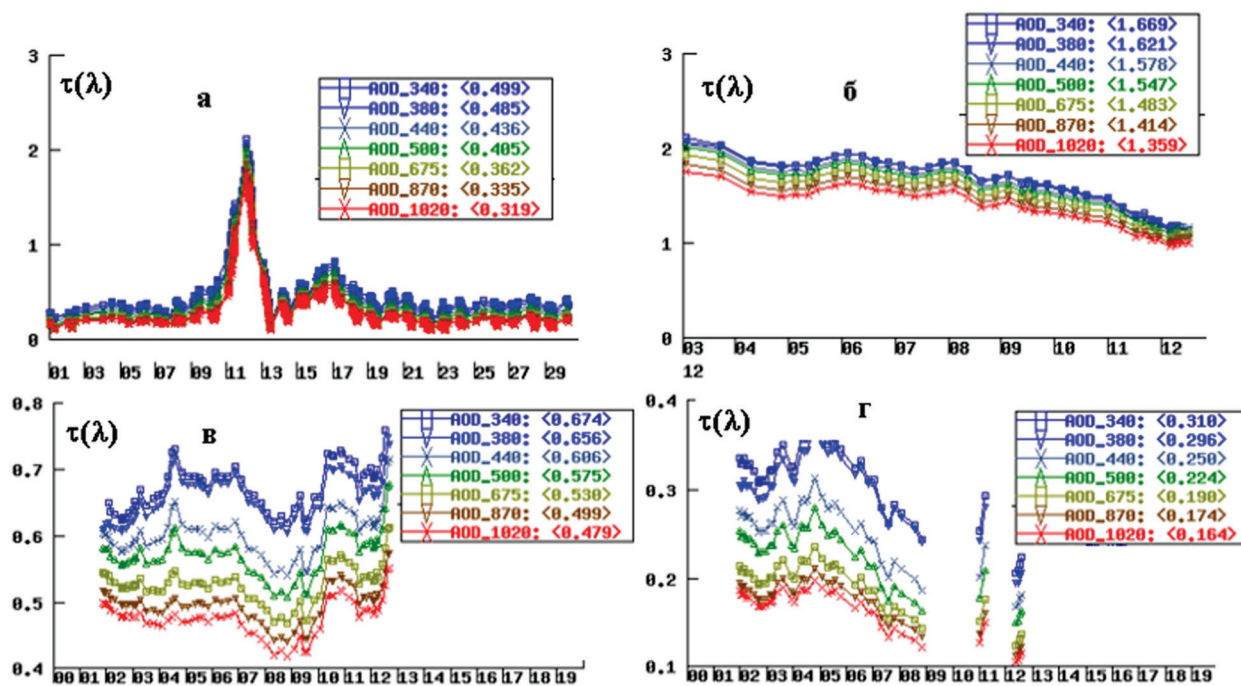


Рисунок 1. AOT в г. Душанбе в сентябре 2022г. (а), при ПБ 12.9.2022(б), при ПМ 16.9.2022 (в), при прозрачной атмосфере 22.9.2022 (г). Время UTS (местное+5ч).

Экстремальные точки разностных кривых (рис.4б) характеризуют, как оказалось, слоистую структуру атмосферы. Определенные по модели Nysplit обратные траектории воздушных масс (рис.2), пришедших на высотах, где резко изменяется разница температуры воздуха между днями с запыленной атмосферой и ясными днями (5 км, 10.7 км и 16.5 км), совершенно отличаются от траекторий, построенных для высот с наибольшими концентрациями пыли. Все обратные траектории на последнем этапе проходят над пустынными районами Центральной Азии, входя на территорию Таджикистана с запада. При

всем различии этих траекторий общей их особенностью является почти неизменная высота. Отсутствие перемешивания слоев воздуха и довольно высокая скорость течения позволяют отнести эти потоки к струйным течениям, характерным для верхнего слоя тропосферы и нижней стратосферы. Самая нижняя траектория в основном лежит севернее других, средняя – южнее.

Самые длинные траектории самая высокая скорость – на высоте 10.7 км. Общая особенность обратных траекторий – более высокая скорость воздушных потоков (кроме самого верхнего) при ПБ и

соответственно, больший путь, пройденный за 6 суток. Самая низкая скорость воздушного потока – при пылевой мгле, т.е. почти неподвижный воздух при ПМ характерен не только в точке наблюдения, но и, по крайней мере, на 6 суток от нее.

Во второй день с высокой прозрачности атмосферы (22.09.2022) (рис.5г) обратные траектории воздушного потока заметно изменяют форму, но все так же направлены с запада на восток.

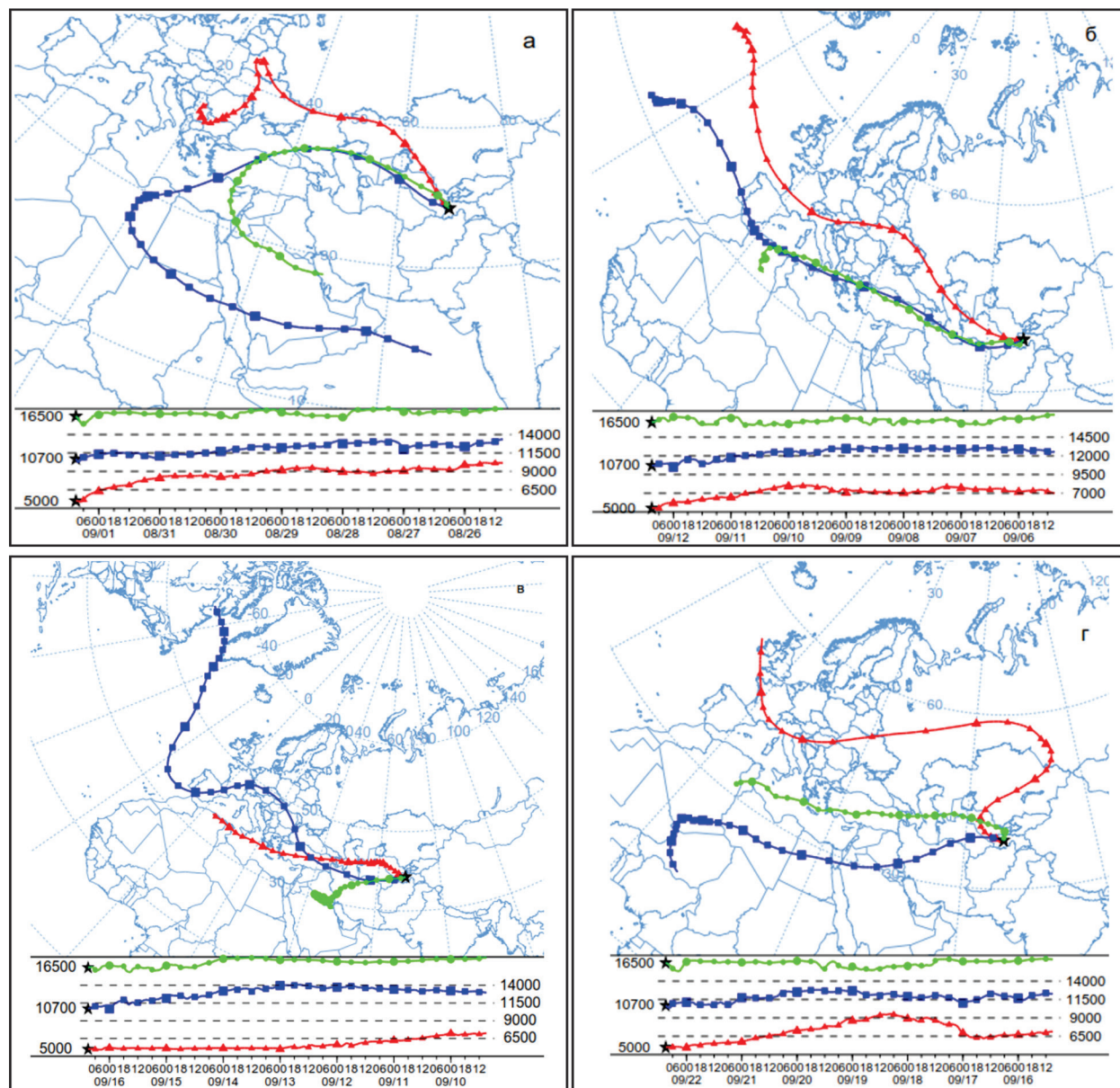


Рисунок 2. Обратные траектории воздушных масс за шесть суток, достигшие г. Душанбе в сентябре 2022г.: при прозрачной атмосфере 01.09.2022г(а) и 22.9.2022 (г). при ПБ 12.9.2022(б), при ПМ 16.9.2022 (в).

Профиль температуры воздуха по высоте

Температурная структура тропосферы является одним из ключевых показателей состояния атмосферы, определяющим ди-

намические, радиационные и аэрозольные процессы. В условиях высокогорного региона, каким является Душанбе, вертикальное распределение температуры может значительно изменяться в зависи-

мости от синоптических условий, интенсивности солнечной радиации и содержания аэрозолей.

Особый научный интерес представляют уровни 10 496 м и 16 760 м, которые соответствуют:

- верхней тропосфере, где формируются струйные течения и наблюдаются резкие градиенты температуры;

- нижней стратосфере, где характерны процессы формирования температурных инверсий и изменение аэродинамических характеристик воздушного потока.

Данные уровни являются ключевыми для анализа вертикальной устойчивости и выявления аномальных процессов.

В рисунке 2 представлены данные характеризуют суточную изменчивость температуры на уровне $t(t)$ (тропосферный) и $t(S)$ (стратосферный уровень) в течение месяца. Вертикальное распределение температуры на высотах ≈ 10 – 11 км и ≈ 16 – 17 км в течение анализируемого месяца характеризуется выраженной суточной изменчивостью, на которую существенное влияние оказали эпизоды пыльной бури и последующей пыльной мглы.

В период пыльной мглы, которая наступила после основной ПБ, температурные колебания стали менее выраженными, что объясняется стабилизацией атмосферы и уменьшением вертикальных перемещений. На графиках это отражается выравниванием температурной кривой и снижением амплитуды суточных отклонений как на 10 км, так и в стратосферном слое.

В качестве аппроксимационных моделей использованы полиномиальные зависимости второго порядка, выведенные из графика (рис.2).

Для нижнего уровня:

$$T_{\{t\}} = 0,0204x^2 - 0,8525x - 35,525$$

$$R^2 = 0,2344$$

где x — порядковый номер дня месяца. Коэффициент показывает наличие нелинейного изменения температуры, типич-

ного для верхней тропосферы в периоды сильной запылённости атмосферы. Пылевые частицы изменяют радиационный баланс, что ведёт к «выпуклой» форме температурной кривой. Отрицательный коэффициент первого порядка (-0.8525) означает общую тенденцию к снижению температуры в начале месяца и её частичному восстановлению к концу периода. Низкое значение говорит о том, что температура на 10.9 км сильно вариабельна, что обычно наблюдается именно при присутствии мощного аэрозольного слоя (ПБ и ПМ). Такие перепады характерны для радиационного охлаждения нижней тропосферы из-за пылевого экрана, который снижает поступление солнечной радиации к нижним уровням атмосферы.

Для верхнего уровня:

$$T_{\{s\}} = -0,0216x^2 + 0,7959x - 72,288$$

$$R^2 = 0,33$$

Квадратичный характер кривых отражает неоднородный вертикальный тепловой режим, обусловленный влиянием аэрозоля. Более высокий коэффициент детерминации (0.33) говорит о большой устойчивости температурного поля в средней тропосфере. Положительный линейный коэффициент ($+0.7959$) показывает, что на высоте тренд роста выражен сильнее, чем у поверхности.

Полиномы второго порядка отражают нелинейный характер температурной реакции в условиях пылевых и пост пылевых процессов.

Анализ тренда свидетельствует, что на высоте 10–11 км наблюдалось постепенное понижение температуры по мере развития пыльной бури. Это проявляется в частых провалах температуры до -50 ... -48 °С на 18–22 сутки месяца. После ослабления бури температура постепенно возвращалась к фоновым значениям (-38 ... -41 °С). Таким образом, пылевая буря привела к усилению вертикальной конвекции и охлаждению в верхней части тропосферы, что согласуется с известным

эффектом динамического поднятия воздушных масс при выносе крупных аэрозольных фракций.

Дополнительно отметим, что в дни с наиболее интенсивными пылевыми явлениями значения температуры на высоте

16–17 км опускались до $-71,3...-71,5$ °С, что указывает на усиление стратосферного охлаждения вследствие увеличения концентрации аэрозоля, способного изменять радиационный баланс и усиливать локальное выхолаживание слоя.

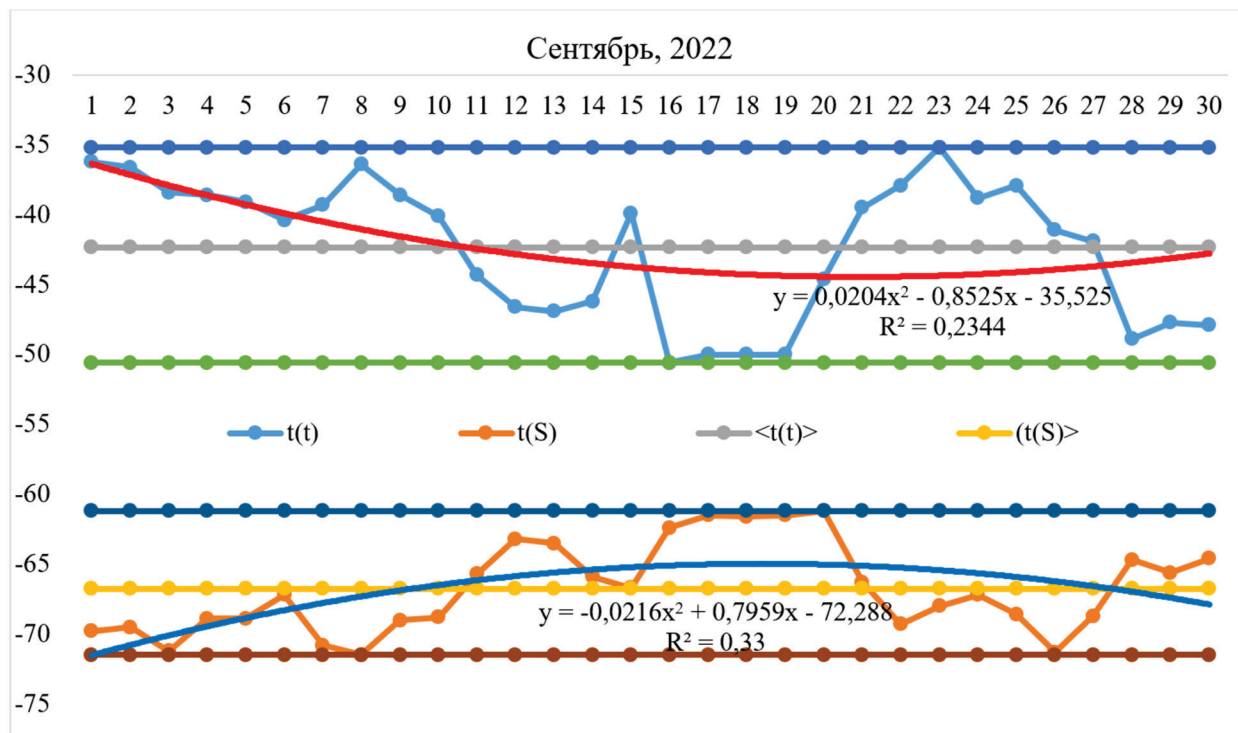


Рисунок 3. Вертикальный профиль температуры в атмосфере г. Душанбе в сентябре 2022г.

Пылевой слой действует как радиационный нагреватель, поглощая солнечное излучение и переизлучая тепло вверх. ПБ и ПМ приводят к разнонаправленным аномалиям, что является характерным проявлением аэрозольного влияния на разные по физике слои атмосферы. ПМ оказывает в 2 раза более сильное влияние на температурную структуру атмосферы, чем ПБ (таб.1).

Пылевой аэрозоль увеличивает оптическую толщину, что по закону Бугера–Ламберта уменьшает поток прямой солнечной радиации к нижним слоям. Снижение у поверхности ведёт к уменьшению чистого радиационного потока, что, при прочих равных, снижает сенсорный поток и вызывает охлаждение нижних слоёв тропосферы. Это прямо отражено в

отрицательных аномалиях ΔT_t на 12.09 и особенно на 16.09 (до $-8,28$ °С).

Часть поглощённой аэрозолем энергии преобразуется в тепло внутри аэрозольного слоя; затем это тепло может распространяться вверх излучением и конвективной/радиационной перераспределённостью, что приводит к локальному повышению температуры на уровнях ~ 16 км. Наблюдаемые положительные аномалии ΔT_s ($+3,6...+4,4$ °С) соответствуют этому механизму.

Пыльная буря (12.09) характеризуется интенсивной подачей крупной и мелкой фракции при усиленном ветровом поле; пыльная мгла (16.09) — доминированием мелкой фракции и длительным удержанием в приземном слое при слабых ветрах. Мелкие частицы более эффективно

поглощают и рассеивают излучение, что объясняет более сильную аномалию ΔT_t и более выраженное потепление ΔT_s в случае ПМ.

Вычисленные градиенты между уровнями 10.942 и 16.762 км представлено в

Таблица 1. Температуры в ключевые даты.

Дата	AOD	t(t), 10.942 км	Аномалия $\Delta T(t)$	t(s), 16.762 км	Аномалия $\Delta T(s)$	Г , °С/ км
01.09	0.203	-36.2 °С	+6.12 °С	-69.8 °С	-3.03 °С	-5.56
12.09 (ПБ)	1.547	-46.6 °С	-4.28 °С	-63.2 °С	+3.57 °С	-2.77
16.09 (ПМ)	0.575	-50.6 °С	-8.28 °С	-62.4 °С	+4.37 °С	-1.98
22.09	0.224	-37.9 °С	+4.42 °С	-69.3 °С	-2.53 °С	-5.44

Уменьшение вертикального градиента (вычисленные градиенты между уровнями 10.942 и 16.762 км) |Г| и рост N^2 (при соответствующих знаках dT/dz) способствуют образованию инверсии (или уменьшению вертикальной перемешиваемости). Это позволяет частицам оставаться в приземных и средне-тропосферных слоях дольше, усиливая радиационно-термический эффект и создавая обратную связь: аэрозоль → снижение перемешивания → дальнейшее накопление аэрозоля.

Таким образом, представленные ряды данных демонстрируют, что пылевая буря и пыльная мгла выступили ключевыми факторами внутримесячной изменчивости температуры, проявив себя через:

- усиление вертикального градиента температуры;
- снижение приземных и тропосферных температур на 3–6 °С по сравнению с фоновым состоянием;
- кратковременные периоды резкого охлаждения на высотах 10–11 км;
- повышение стабильности температур в фазе пыльной мглы.

В результате анализа суточных температурных изменений на уровнях t(t) и t(S) установлено, что температурный режим в исследуемый период характеризуется ярко выраженной отрицательной температурой и значительной вертикаль-

таблице 1. Видно, что в дни ПБ и ПМ вертикальный градиент снижается в 2–3 раза по сравнению с чистыми днями – знак значимого нарушения стратификации.

ной дифференциацией. Средняя разница между уровнями составляет 24.45 °С, что подтверждает устойчивую зимнюю стратификацию.

Ключевые аномалии совпадают по времени с эпизодами пыльной бури и пыльной мглы, которые привели к дополнительному охлаждению приземного слоя вследствие уменьшения солнечной радиации и усиления инверсии. Пиковое похолодание ($t(t) = -50.6$ °С) объясняется сочетанием аэрозольного экранирования, ночного радиационного охлаждения и антициклонального подавления вертикальных движений.

Пыльный аэрозоль, поглощая солнечную радиацию, перераспределяет энергию в тропосферу что приводит к потеплению воздуха выше пылевого слоя и охлаждению под ним - явление, отмеченное в ряде работ по прямому радиационному эффекту аэрозоля [8,9,10].

Выводы

1. Пылевые эпизоды сентября 2022 г. над Душанбе вызвали двойной ответ: резкое охлаждение верхней тропосферы (уровень ≈ 10.9 км) и одновременное потепление на нижней стратосфере (уровне ≈ 16.7 км).

2. Максимальная отрицательная аномалия ΔT_t наблюдалась 16.09 (-8.28 °С),

максимальная положительная ΔT_s — также около 16.09 (+4.37 °C).

3. Снижение вертикального градиента в дни пыли указывает на образование инверсионных/изотермичных слоёв, что способствует удержанию аэрозоля и продлению эффекта.

Полученные результаты подтверждают, что аэрозольные процессы, связанные с пыльными явлениями, оказывают существенное динамическое и радиационное воздействие на структуру атмосферы и вертикальное распределение температуры.

Литература

1. Indoitu, R. Dust storms in Central Asia: climatic aspects / R. Indoitu, L. Orlovsky, N. Orlovsky // Atmospheric Research. – 2012.
2. Экстремальные температуры воздуха в условиях юго-западной части Таджикистана в теплый период и связанные с ними опасные явления погоды / Н.Б. Курбонов, С.Ф. Абдуллаев, С.О. Мирзохонова [и др.] // Климатические риски и космическая погода: материалы Международной конференции, посвященной памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14-17 июня 2021 года. – С. 130-140. – EDN ОРКНХJ.
3. Экстремальные температуры воздуха в условиях Таджикистана в теплый период года и связанные с ними опасные явления / Н.Б. Курбонов, О.Х. Амирзода, С.Ф. Абдуллаев [и др.] // Климатические риски и космическая погода: Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященных памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14-17 июня 2021 года. – С. 42. – EDN ЕКРАJ.
4. Ginoux, P. Global-scale impact of dust aerosols on climate / P. Ginoux, J. Prospero // Journal of Geophysical Research. – 2003.
5. Zhang, X. Dust radiative effect characteristics during a typical dust storm with persistent floating dust: the Tarim Basin case / X. Zhang, et al. // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, No. 5. – 1167.
6. Holton, J. An introduction to dynamic meteorology / J. Holton // Elsevier. – 2004.
7. Курбон, Н. Проблемы изменения климата: взгляды на причины, последствия и подходы к адаптации / Номвар Курбон. - Душанбе: Дониш, 2025. - 260 с. (на тадж. яз.).
8. Tegen, I. The global dust cycle / I. Tegen, K. Schepanski // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2009.
9. NASA GISS. Desert dust, dust storms and climate // Science Brief. – 1997.
10. Huang, Y. Aerosol direct radiative forcing during dust storms over Taklamakan Desert: impacts on atmospheric dynamics / Y. Huang, et al. // Frontiers in Environmental Science. – 2023.
11. Kok, J.F. Physical mechanisms of dust-radiation interaction / J.F. Kok, N.M. Mahowald // Reviews of Geophysics. – 2016.
12. Shao, Y. Physics and modeling of dust aerosol / Y. Shao // Springer. – 2008.

ТАЪСИРИ ТУФОНИ ЧАНГУ ҒУБОР БА ПРОФИЛИ ҲАРОРАТИ АМОСФЕРА ДАР ДУШАНБЕ (сентябри 2022)

Абдуллозода С.Ф.^{1,*}, Абдучамилзода М.А.², Маслов В.А.¹

¹Институту физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик

М.С. Осимӣ дар шаҳри Хучанд

*Муаллифи масъул: E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар тадқиқот таъсири тӯфони чангу ғубор (ТЧ, 12.09.2022) ва ғубори чангу ғубор (ҒЧ, 16.09.2022) ба ҳарорати атмосфераи болои тропосфера (10.942 км) ва поёни стратосфера (16.762 км) дар Душанбе таҳлил шудааст. Дастрасӣ ба маълумоти ҳаррӯзаи GDAS-1 ва ғафсӣ оптикии аэрозол (АОТ) истифода шудааст. Натиҷаҳо нишон доданд, ки аномалияҳои дуҷониба вучуд доранд: сардиавӣ дар 10.9 км то -8 °C ва гармиавӣ дар 16.7 км то $+4$ °C. Градиенти вертикалии ҳарорат ва устувории статикӣ ба таври назаррас тағйир ёфтааст. Механизмҳои таъсир фарқ мекунад: ТЧ бо баландшавии массаҳои тропосфера сардиавии динамикӣ эҷод мекунад, дар ҳоле ки ҒЧ бо ҷабби радиатсионӣ аз аэрозолҳои хубқисм гармиавии стратосфераро ба вучуд меорад.

Калидвожаҳо: тӯфони чангу ғубор, профили ҳарорати амосфера, тропосфера, стратосфера, аномалияҳои ҳарорат.

IMPACT OF DUST EVENTS ON THE VERTICAL TEMPERATURE PROFILE OF THE ATMOSPHERE in DUSHANBE (SEPTEMBER 2022)

Abdullozoda S.F.^{1,*}, Abdujamilzoda M.A.², Maslov V.A.¹

¹*Institute of Physics and Technology Ban Nomi S.U. Umarov Academy Milli Ilmhoi Tojikiston*

²*Donishkadai Polytechnics Donishgoi Techniques Tojikiston ba nomi Academician*

M.S. Osimi dar shakhri Khujand

**Corresponding author. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com*

Abstract. *The study presents a detailed analysis of the impact of a dust storm (DS, 12.09.2022) and dust haze (DH, 16.09.2022) on the temperature conditions of the upper troposphere (10.942 km) and lower stratosphere (16.762 km) over Dushanbe. Daily temperature data from GDAS-1 and aerosol optical thickness (AOT) measurements were used. Results revealed bidirectional anomalies: cooling at 10.9 km by up to -8 °C below normal and warming at 16.7 km by up to $+4$ °C. Significant changes in vertical temperature gradient and atmospheric static stability were observed. The mechanisms differ: DS induces dynamic cooling via tropospheric uplift, whereas DH enhances radiative absorption by fine aerosols, causing stratospheric warming.*

Keywords: *Dust events, vertical temperature profile, troposphere, stratosphere, temperature anomalies.*

Маълумот дар бораи муаллифгон: Абдуллозода Сабур Фузайл – доктори илмҳои физика-математика, профессор, мудири озмоишгоҳи физикаи атмосфераи Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com; Абдудҷамилзода Мафтӯна Абдудҷамил – ассистенти кафедраи математикаи олӣ ва физикаи Донишқадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар шаҳри Хучанд, E-mail: maftuna_02.96@mail.ru; Маслов Владимир Анатольевич – номзади илмҳои физика-математика, ходими пешбари илми озмоишгоҳи физикаи атмосфераи Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, E-mail: vamaslov@inbox.ru.

Сведения об авторах: Абдуллозода Сабур Фузайл - доктор физико-математических наук, профессор, заведующей лабораторией физики атмосферы Физико-технического института им. С. У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com. Абдудҷамилзода Мафтӯна Абдудҷамил – ассистент кафедры высшей математики и физики, Политехнический Институт Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими в городе Худжанд, E-mail: maftuna_02.96@mail.ru Маслов Владимир Анатольевич - к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории физики атмосферы Физико-технического института имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан. Тел.: (+992) 917 251 032. E-mail: vamaslov@inbox.ru.

Information about the authors: Abdullozoda Sabur Fuzail - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Atmospheric Physics of the Physicl-Technical Institute named after. S. U. Umarov National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com Abdujamilzoda Maftuna Abdujamil – Assistant, Department of Higher Mathematics and Physics, Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi in Khujand, E-mail: maftuna_02.96@mail.ru . Maslov Vladimir Anatolyevich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, leading researcher at the Laboratory of Atmospheric Physics of the Physico-Technical Institute named after. S. U. Umarova National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: vamaslov@inbox.ru.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗВИТИИ СФЕРЫ ТУРИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ: МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ПРАКТИКИ

Рахматов Дж.Ш.^{1*}, Азизов Р.О.¹, Расулов С.¹

¹Центр инновационного развития науки и цифровых технологий Национальной академии наук Таджикистана

*Автор корреспонденции. E-mail: jamesd007@rambler.ru

Аннотация. В статье исследуется роль Искусственного интеллекта (ИИ) и Нечеткой логики в преобразовании туризма, с акцентом на принятие решений в условиях неопределенности. Исследование оценивает экономическую эффективность интеграции ИИ в процессы бронирования, ценообразования и управления репутацией, выходя за рамки чисто технологических возможностей. Полученные данные демонстрируют существенную финансовую выгоду: системы ИИ могут увеличить доход на номер (RevPAR) до 17%, повысить лояльность клиентов на 20% и поднять коэффициенты конверсии маркетинговых кампаний на 30%. В работе делается вывод, что ИИ-решения имеют решающее значение для достижения высокорентабельной и персонализированной парадигмы «умного туризма».

Ключевые слова: искусственный интеллект в туризме, нечеткий анализ, персонализация услуг, цифровизация, прогнозирование спроса.

Введение

В начале третьего десятилетия XXI века индустрия туризма сталкивается с беспрецедентным уровнем неопределенности, конкуренции и стремительным изменением ожиданий путешественников. Ключевыми драйверами этих изменений стали цифровизация и интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в бизнес-процессы всех участников туристического рынка. ИИ перестал быть периферийной технологией — сегодня он определяет успех компаний, обуславливает эффективность оперативных решений, служит фундаментом для повышения качества сервиса, персонализации предложений и управления репутацией на сложном рынке тревел-услуг [1]. В фокусе данной работы — комплексный анализ роли ИИ в развитии туристических услуг. В работе рассматриваются не только конкретные технические решения в областях автоматизации бронирования, предиктивной аналитики и динамического ценообразования, но и проводится оценка их экономической эффективности. Особое внимание уделяется моделям, использующим нечеткий анализ (Fuzzy Logic) для учета

субъективных факторов и неопределенности. На примере кейсов российских и зарубежных платформ доклад демонстрирует, как данные технологии конвертируются в реальные финансовые показатели — от снижения операционных затрат до значимого роста выручки и лояльности клиентов.

1. Автоматизация бронирования и поддержки клиентов

1.1 Эволюция автоматизации: от скриптов до ИИ. Автоматизация бронирования — один из первых рубежей внедрения ИИ в туризме. Классические CRM-системы уступают место многоуровневым платформам с машинным обучением и нейросетевыми движками. Современные туристические агентства и отели интегрируют чат-боты и цифровых ассистентов, которые обеспечивают обработку запросов, подбор туров, автоматический апдейт статусов, сервис уведомлений и поддержку на нескольких языках 24/7 [2-5].

1.2 Лучшие практики и примеры. Примером комплексной реализации может служить Skyscanner, где чат-бот рекомендует оптимальные авиарейсы, исходя из

персональных критериев пользователя, истории бронирований и рыночной динамики. Отели Hilton и Henna используют роботов-консьержей, сокращая нагрузку на ресепшн в часы пик и обеспечивая мгновенное реагирование на повторяющиеся запросы гостей [6].

2. Персонализация туристических предложений

2.1 Технологии и механизмы персонализации. Современные ИИ-инструменты персонализации анализируют сотни параметров: демографию, транзакционную историю, запросы пользователя, геолокацию, предпочтения, взаимодействие с цифровым контентом (социальные сети, отзывы, поисковые запросы) и даже стиль путешествий (индивидуальный туризм, bleisure, семейные поездки и т. п.) [1,7,8]. Рекомендательные системы строятся на комбинации методов коллаборативной и контентной фильтрации, используют глубокое машинное обучение, адаптивные нейросети и гибридные модели [9,10].

2.2 Примеры и кейсы применения. Крупные международные сети Marriott, Accor, Hilton запускают смарт-номера с IoT, анализируя сценарии использования, температуру, освещение на основе предпочтений гостя, и предсказывают услуги, которые могут быть востребованы на основе предыдущих визитов [3,4,11].

3. Анализ отзывов, управление репутацией и голос клиента

3.1 Зачем и как анализировать отзывы с помощью ИИ. Отзывы туристов — важнейший нематериальный актив гостиничного и туристического бизнеса. Их количество за последние годы выросло в разы, и для стратегического принятия решений обработка вручную становится невозможной и неэффективной [12,13,14].

ИИ-системы осуществляют: сентимент-анализ (определение полярности мнений: позитив/негатив/нейтраль); тематическую кластеризацию (выявление «болевых» точек и сильных сторон); аспект-

ный анализ (детализация по отдельным атрибутам услуги: чистота, комфорт, сервис, стоимость, Wi-Fi, завтрак и т. д.); обнаружение трендов и аномалий (например, всплеск недовольства в связи с обновлениями). Эта аналитика интегрируется в CRM и автоматически инициализирует действия: создание тикетов, уведомление соответствующих отделов, обновление клиентских профилей.

3.2 Кейсы и инструменты. Крупные платформы мировой тревел-индустрии внедряют сервисы PaxPulse от Mindtree и аналоги, позволяющие моментально выявлять и купировать инциденты, образовывать рекомендации для корректировки маркетинговых и операционных стратегий и тем самым снижать отток клиентов.

3.3 Эффект внедрения. Изучение отзывов через ИИ — одна из наиболее быстрокупаемых инвестиций отрасли наряду с автоматизацией бронирования. Как показывают опросы и кейсы внедрений, автоматизация анализа отзывов может увеличить лояльность гостей до 20%, а быстрое устранение выявленных проблем — повысить выручку до 10% за счет повторных пребывания и рекомендаций [1,12].

4. Прогнозирование спроса, динамическое ценообразование и revenue management

4.1 Динамическое ценообразование. Динамическое ценообразование на основе ИИ существенно превосходит традиционные — цены меняются автоматически в зависимости от спроса, конкурентного фона, загрузки, погодных и сезонных колебаний, активности конкурентов и потребительского поведения. Marriott International после внедрения ИИ повысила доход на номер (RevPAR) на 17% в пиковые периоды, Uber и Delta используют аналогичные подходы для моментального изменения тарифов в зависимости от текущей ситуации, что увеличивает равномерность загрузки и максимизирует доход.

Примеры моделей динамического ценообразования: оптимизация по эластичности спроса; P^* , Q^* моделирование под нечеткими сценариями; игровые модели для анализа поведения конкурентов; имитационное моделирование различных сценариев поведения рынка.

4.2 Эффективность и риски. ИИ повышает рентабельность, улучшает точность планирования, сокращает операционные издержки, снижает количество ручной работы по управлению прайс-листами, однако требует внимательного соблюдения этических норм и прозрачности алгоритмов (риски дискриминации, нарушения приватности, оценки манипулятивности ценообразования).

5. Применение больших данных и аналитики

5.1 Big Data как база для ИИ в туризме. Индустрия туризма примыкает к числу наиболее "цифровых" отраслей, где применяется Big Data-аналитика. Огромные массивы информации — клики, заказы, покупки, данные GPS, упоминания в социальных сетях, результат конкурирующих предложений — становятся источником для построения индивидуальных профилей клиентов, выявления трендов, оптимизации продуктов и стратегического управления операциями [7].

5.2 Вызовы и ограничения. Вызовы — нехватка квалифицированных специалистов, сложность интеграции разнородных данных, высокий порог инвестиций, риски утечек данных и киберугроз, отсутствие единого стандарта и регулирующих рамок, что особенно заметно в российском туризме.

6. Модели и примеры учета неопределенности: нечеткая логика в туристическом ИИ

6.1 Теоретические основы. Нечеткая логика (fuzzy logic, FL) и нечеткие системы позволяют формализовать и учитывать человеческие факторы, субъективные предпочтения, неполные и неструктуриро-

ванные данные. Она применяется там, где классическая булева логика не справляется с "серой зоной" — неопределёнными, размытыми оценками, индивидуальными вкусами, эмоциями, неявными требованиями гостя [10]. Лингвистическая переменная: «бюджет», «комфорт», «дальность», значения — "низкий", "средний", "высокий". Функции принадлежности: позволяют количественно выразить степень соответствия объекта/услуги нечеткому критерию. Правила типа «ЕСЛИ... ТО...»: например, "ЕСЛИ отзыв гостя — 'скорее доволен', ТО поставить 0.7 к рейтингу".

Использование нечеткой логики обеспечивает гибкое принятие решений, позволяет рекомендательным системам, анализу спроса, ценообразованию, планированию учитывать не только объективные, но и субъективные критерии — климатические предпочтения, эмоциональный настрой, индивидуальную готовность потратить деньги, допустить компромисс по комфорту.

6.2 Практические модели. Байесовская логико-вероятностная модель: интерпретирует нечеткие высказывания как априорные вероятности и корректирует их на основании новых данных (отзывы, клиенты, сезонность) [11]. Модели нечеткой многоцелевой оптимизации: интеграция онтологических иерархий и нечетких шкал (например, для построения индивидуального маршрута с учётом сочетания "экскурсионно/шопинг/активный отдых" и компромиссных критериев по бюджету, расстоянию, длительности). Нечеткие правила для анализа отзывов: ключевые лингвистические шаблоны ("немного неудобно", "в целом понравилось", "скорее выберу снова") обрабатываются через функции принадлежности и дают универсальную шкалу для систематизации эмоционально окрашенных отзывов.

6.3 Сравнительный анализ: преимущества и ограничения нечеткого подхода

Преимущества: Учет межличностных различий, культурных кодов; Эффективность в условиях нехватки или размытости данных; Применимость для объяснимого ИИ, прозрачности рекомендаций; Возможность интеграции с нейросетями (нейро-нечеткие системы) (табл. 1).

Ограничения: сложность настройки функций принадлежности без экспертной проработки; риск расплывчатости выводов при некорректном построении базы

правил; необходимость богатого обучающего массива с примерами для устойчивой работы в новых сценариях.

Моделирование на основе нечеткой логики, нечётких множеств, стохастических данных и шумов, в том числе «белого шума» были рассмотрены в работах [15-18], также необходимо подчеркнуть, что проблемы защиты экологии и сокращения парниковых газов были рассмотрены в работах [19-21].

Таблица 1. Применение нечеткого анализа в различных аспектах туристических услуг.

Аспект	Нечеткий метод	Пример применения	Преимущества	Примерная экономическая эффективность
Персонализированные рекомендации	Fuzzy Rule-Based Systems	Рекомендации маршрутов и отелей с учётом нечётких предпочтений	Учитывает расплывчатые предпочтения; прозрачные правила	Увеличение конверсии в бронирование на 20–30% за счет точного попадания в интент [7].
Ранжирование направлений	Fuzzy TOPSIS; Fuzzy ANP	Оценка и ранжирование туристических направлений	Комбинация критериев с неопределённостью; устойчивость к неточным данным	Оптимизация маркетингового бюджета (ROI) за счет фокусировки на направлениях с реальным спросом [8].
Динамическое ценообразование	Fuzzy inference + ML	Интеграция нечеткой оценки спроса с ML-моделями	Сглаживание резких переключений; улучшение восприятия цены	Максимизация дохода (RevPAR +17%) и выравнивание загрузки в низкий сезон [9].
Управление потоками туристов	Fuzzy clustering; Fuzzy regression	Прогнозирование пиковых нагрузок в музеях и парках	Работа с шумными данными; адаптивность моделей	Снижение операционных издержек и очередей; улучшение пропускной способности объекта [10].
Оценка удовлетворённости	Fuzzy sentiment analysis	Преобразование отзывов в нечёткие оценки лояльности	Более точная интерпретация полутоновых отзывов	Удержание клиентов: +20% к лояльности гостей [11].

Аспект	Нечеткий метод	Пример применения	Преимущества	Примерная экономическая эффективность
Дизайн инфраструктуры	Fuzzy multi-criteria decision making	Проектирование зон обслуживания по критериям комфорта	Интеграция экспертных оценок; учёт неопределённости	Снижение затрат на переделку инфраструктуры и повышение рейтинга комфорта (прямое влияние на ADR) [12].
Персонализация в реальном времени	Fuzzy adaptive systems	Адаптация предложений в мобильных приложениях	Низкая латентность решений; гибкость к неполным данным	Рост среднего чека (upsell) за счет продажи доп. услуг на месте [13].
Оценка конкурентоспособности	Fuzzy-PLS-SEM + ANN	Прогнозирование конкурентоспособности	Сочетание объяснимости и предиктивности	Стратегическое преимущество и удержание доли рынка в условиях высокой конкуренции [14].
Проекты устойчивого туризма	Fuzzy AHP; Fuzzy TOPSIS	Выбор проектов по критериям устойчивости и эффективности	Управление конфликтующими критериями	Привлечение инвестиций и рост интереса к бренду на 20–25% (ESG-фактор) [15].
Интерактивные гиды и VR	Fuzzy knowledge representation	Адаптация детализации в VR-гидах под пользователя	Более естественный диалог; улучшение вовлечённости	Увеличение конверсии из просмотра в покупку тура до 30% [16].

7. Виртуальные и дополненные реальности, биометрия и интеграция IoT: новые горизонты туристической индустрии

7.1 VR/AR и искусственный интеллект. Виртуальные и дополненные реальности дают новую глубину для персонализации и экспириенса: виртуальные туры перед бронированием, AR-гиды на месте, иммерсивные обучающие программы для гидов и персонала. Компании Marriott, The North Face, Google Earth VR, Discovery VR, Lonely Planet, National Geographic реализуют собственные кейсы по интеграции VR/AR для расширения клиентского опыта и продвижения продуктов. Согласно IDC и Deloitte, VR и ИИ-решения сокращают расходы маркетинга, повышают конверсию до 30% и увеличивают интерес к бренду на 20–25%.

7.2 Биометрия и безопасность. Мировой гостиничный сектор внедряет биометрические системы: ускоренное самостоятельное заселение, идентификация гостя по лицу или отпечатку пальца, возможность оплаты и прохода через Face Pay, интеграция случаев многоканального доступа (банкинг, вход в транспорт, билеты на мероприятия). Это уменьшает очереди и снижает издержки персонала, однако требует инвестиции и тщательной юридической проработки (конфиденциальность, защита данных, согласие на обработку персональных биометрических данных).

7.3 IoT в гостиницах, примеры: Системы «умного дома» с интеграцией IoT и ИИ позволяют: управлять климатом, освещением, энергопотреблением; мгновенно

венно реагировать на аварийные ситуации (протечка, несанкционированный доступ); автоматизировать доставку питания, уборку, сервис через голосовых ассистентов и чат-ботов; анализировать предпочтения гостей и автоматически подстраивать номера под вкусы клиента (температура, запахи, расписание уборки, заказ еды) [3,4,6]. Это не только сокращает издержки, но и существенно улучшает опыт проживания, создавая «цифрового двойника» клиента со всеми его данными, привычками и предпочтениями, что становится основой для бесшовного customer journey.

8. Ключевые игроки и стартапы: мировой опыт

ZYTLYN Technologies — платформа ИИ Travel AI для прогнозирования спроса в авиации и туроператорах, ориентированная на интеграцию глобальных источников данных (макроэкономика, события, COVID-показатели, поведение туристов), повышает точность до 95%, обеспечивает рост по RevPAR и снижает риски поведения рынка. TrustLink — система пассивной биоидентификации, минимизирующая мошенничество и упрощающая регистрацию, внедряется в гостиницах, на вокзалах, пограничных пунктах. LynKey — блокчейн-платформа для токенизации услуг, внедрена на высококлассных курортах (NFT, smart wallet). Marriott International, Hilton, Accor — внедрение Connected Room, мобильных ключей, ИИ-динамики ценообразования.

9. Этические и правовые аспекты интеграции ИИ в туризме

9.1 Проблемы конфиденциальности и использования данных. Широкая автоматизация и сбор данных требуют обязательного соблюдения принципов privacy by design, получения явного информированного согласия клиента на обработку данных, создания прозрачных политик хранения, анализа и обезличивания информации. Это особенно актуально для

биометрических технологий, чувствительных социально-демографических характеристик и случаев использования ИИ для индивидуального ценообразования. В рамках европейского и российского регулирования (GDPR, закон РФ о персональных данных) внедрение требует предварительной правовой экспертизы.

9.2 Автоматизация и сокращение рабочих мест

Внедрение ИИ часто воспринимается с опаской как угроза для персонала. На практике наблюдается не столько сокращение рабочих мест, сколько перераспределение функций — сотрудников освобождают от рутинных задач, давая им возможность концентрироваться на нестандартных ситуациях и качестве обслуживания. Необходима грамотная корпоративная коммуникация, обучение и переквалификация сотрудников для работы с новыми ИИ-инструментами [6].

10. Текущие тренды ИИ в туризме (2025): ориентиры развития

Гиперперсонализация через объяснимый ИИ и нечеткую логику в рекомендательных системах. Преобразование клиентского опыта: виртуальные туры, AR/VR и персонализированные экскурсии на основе данных wearables, соцсетей и бронирований. Рост bleisure и workation с комбинированием индивидуальных и групповых сервисов и поддержкой удалённой работы для цифровых кочевников. Сдвиг от классического поиска к визуальному, голосовому и социально-ориентированному поиску. Включение ESG и устойчивых практик: автоматизация «чистых» отелей с ИИ и IoT. Автоматизация управления репутацией и переход к проактивным системам реагирования на отзывы. Массовая роботизация и мультиканальное обслуживание: гибридные модели ИИ, людей и роботов для «цифрового человеческого сервиса».

Выводы

Искусственный интеллект сегодня не просто трансформирует туризм — он меняет экономическую модель отрасли. Проведенный анализ показывает, что переход к ИИ-платформам, использующим нечеткую логику и машинное обучение, позволяет не только улучшить клиентский опыт, но и достичь измеримых финансовых результатов.

Результаты исследования подтверждают высокую экономическую отдачу от внедрения интеллектуальных систем:

1. Динамическое ценообразование и предиктивная аналитика способны повысить доходность номерного фонда (RevPAR) на 17% в пиковые периоды.

2. Автоматизация работы с отзывами и управление репутацией напрямую коррелируют с ростом лояльности гостей до 20% и увеличением выручки за счет повторных визитов.

2. Интеграция VR и иммерсивных технологий повышает конверсию и интерес к бренду на 25–30%, открывая новые каналы продаж.

Модели нечеткого анализа позволяют оцифровать «эмоции» и субъективные предпочтения туриста, превращая их в точные алгоритмы для бизнеса.

Литература

- Buhalis, D., Amaranggana, A. Smart tourism destinations enhancing tourism experience through personalisation of services. In: Tussyadiah, I., Inversini, A. (eds) *Information and Communication Technologies in Tourism 2015*. Springer, Cham, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-14343-9_3.
- Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., Koo, C. Smart tourism: foundations and developments. *Electronic Markets*, 25(3):179–188, 2015. DOI: 10.1007/s12525-015-0196-8.
- Li, J., Xu, L., Tang, L., Wang, S., Li, L. Big data in tourism research: a literature review. *Tourism Management*, 68:301–323, 2018. DOI: 10.1016/j.tourman.2018.03.009.
- Ivanov, S., Webster, C. Adoption of robots and service automation by tourism and hospitality companies. *Revista Turismo & Desenvolvimento*, 27/28:1501–1517, 2017.
- Xiang, Z., Du, Q., Ma, Y., Fan, W. A comparative analysis of major online review platforms: implications for social media analytics in hospitality and tourism. *Tourism Management*, 58:51–65, 2017. DOI: 10.1016/j.tourman.2016.10.019.
- Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3):199–249, 1975. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90036-5.
- Ghosh, S., Ghosh, S.K. Fuzzy logic-based recommendation system for personalized tourism. *Soft Computing*, 24:17671–17683, 2020. DOI: 10.1007/s00500-020-05038-0.
- Tussyadiah, I.P., Park, S. Consumer evaluation of hotel service robots. In: Pesonen, J., Neidhardt, J. (eds) *Information and Communication Technologies in Tourism 2018*. Springer, Cham, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-72923-7_16
- Mariani, M., Borghi, M. Effects of online customer reviews on tourist decision making: a meta-analysis. *Tourism Management Perspectives*, 37:100766, 2021. DOI: 10.1016/j.tmp.2020.100766.
- Sigala, M. Social media and customer engagement in tourism: a review of research directions. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 8(4):401–416, 2017. DOI: 10.1108/JHTT-07-2017-0067.
- Li, X., Wang, Y., Li, X.R. Forecasting tourist flows with machine learning: review and case studies. *Annals of Tourism Research*, 85:103059, 2020. DOI: 10.1016/j.annals.2020.103059.
- Buhalis, D., Sinarta, Y. Real-time co-creation and nowness service: lessons from tourism and hospitality. *Journal of Travel Research*, 58(4):582–597, 2019. DOI: 10.1177/0047287518776754.
- Chen, C.-F., Tsai, D. How destination image and evaluative factors affect behavioral intentions. *Tourism Management*, 21(3):293–305, 2000. DOI: 10.1016/S0261-5177(99)00095-3.
- Hornig, J.-S., Hsu, C.-H.C., Tsai, C.-Y. Do smart tourism technologies improve tourist satisfaction? *International Journal of Hospitality Management*, 92:102110, 2021. DOI: 10.1016/j.ijhm.2020.102110.
- Iolov, M., Kuchakshoev, K.S., Rahmatov, J.S. Fractional stochastic evolution equations: Whitenoise model – *Communications on Stochastic Analysis*, 2020, 14(3-4), pp. 55-69.
- М.Илолов, С.Расули (ИРА), Дж.Ш.Рахматов. Эволюционные уравнения дробного порядка с запаздыванием в банаховом пространстве. *Известия АН РТ*, 2020, №3(180), с. 7-21.
- Iolov M., Kuchakshoev K., Rahmatov J.S.H. Lyapunov function and stability of solutions of

- stochastic differential equations with fractional-like derivatives // Global and Stochastic Analysis Vol. 8 No. 2 (July-December, 2021), pp. 87-99.
18. Polov M., Lashkarbekov R., Rahmatov J.S. Fractional stochastic heat conduction equation of hyperbolic type. Global and Stochastic Analysis Vol. 11 No. 4 (September, 2024). pp. 1-15.
19. Юмаев Н.Р., Кодиров А.С., Рахматов Дж.Ш. Плавающие солнечные электростанции // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2022. - Т.2. - №1. - С.75-80.
20. Рахматов Дж.Ш., Кайсова Д.Ф., Саид Мохаммадзаде Бина, Каримов Б.Х. Применение геотермальных тепловых насосов в условиях Таджикистана. Вводная часть // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2025. - Т.5. - №3. - С.83-91.
21. Расулов С., Рахматов Дж.Ш., Особенности конструирования платформ и систем крепления для плавающих фотовольтаических систем (ПФС) в искусственных водохранилищах Таджикистана // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2025. - Т.5. - №3. - С.91-99.

ИСТИФОДА АЗ ЗЕҲНИ СУНӢ ДАР РУШДИ ХИЗМАТРАСОНИИ ТУРИЗМ: МОДЕЛИ ТАҲЛИЛИ ҒАЙРИСАҲЕҲ ВА ТАҶРИБАҶОИ МУОСИР

Рахматов Ҷ.Ш.^{1,*}, Азизов Р.О.¹, Расулов С.¹

¹Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
*Муаллифи масъул. E-mail: jamesd007@rambler.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола нақши зеҳни сунӣ (ЗС) ва мантиқи ғайр саҳеҳро дар тағйирёбии соҳаи сайёҳӣ таҳқиқ намуда, ба қабули қарорҳо дар шароити номуайяни тавачҷуҳ мекунад. Дар таҳқиқот самаранокии иқтисодии татбиқи ЗС дар идоракунии фармоиши, нархгузорӣ ва таъсири он ба обрӯи муассиса арзёбӣ шудааст, ки аз қобилиятҳои танҳо технологияи он фаротар меравад. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки фоидаи назарраси молиявӣ ба даст оварда мешавад: системаҳои ЗС метавонанд «Даромади як ҳуҷраи дастрас»-ро (RevPAR) то 17% баланд бардоранд, садоқати муштарӣро 20% афзоиши дода нишондиҳандаҳои табдили маркетингро 30% зиёд кунанд. Хулосаи кор чунин аст, ки ҳалли масъалаҳо бо ёрии ЗС ва ҳамзамон барои ноил шудан ба парадигмаи «сайёҳии ҳушиманд», ки хеле сердаромад ва фардикунонидашуда аст, муҳим мебошанд.

Калидвожаҳо: зеҳни сунӣ дар туризм, таҳлили ғайрисаҳеҳ, фардикунонии хидмат, рақамисозӣ, пешгӯии талабот.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DEVELOPMENT OF TOURISM SERVICES: FUZZY ANALYSIS MODELS AND CURRENT PRACTICES

Rakhmatov J.Sh.^{1,*}, Azizov R.O.¹, Rasulov S.¹

¹Center for Innovative Development of Science and Digital Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan
*Corresponding author. E-mail: jamesd007@rambler.ru

Abstract. This work investigates the role of Artificial Intelligence (AI) and Fuzzy Logic in transforming tourism, focusing on decision-making under uncertainty. The study evaluates the economic efficiency of AI integration across booking, pricing, and reputation management, moving beyond technological capabilities. Findings demonstrate substantial financial gains: AI systems can boost RevPAR up to 17%, increase customer loyalty by 20%, and raise marketing conversion rates by 30%. The work concludes that AI-driven solutions are crucial for achieving a highly profitable and personalized "smart tourism" paradigm.

Keywords: artificial intelligence in tourism, fuzzy analysis, personalization of services, digitalization, demand forecasting.

Маълумот дар бораи муаллифони: Раҳматов Ҷамшед Шавкатович – Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, муовини директор оид ба илм, номзади илмҳои физикаю математика, E-mail: jamesd007@ Rambler.ru; Азизов Рустам Очилдиевич – мудири шӯба, доктори илмҳои техника, Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: rustam.azizov57@gmail.com; Расулов Сабур – ходими пешбари илмӣ, номзади илмҳои иқтисод, Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: sabur.rasulov@mail.ru.

Сведения об авторах: Раҳматов Ҷамшед Шавкатович – Центр инновационного развития науки и цифровых технологий Национальной Академии наук Таджикистана, заместитель директора по науке, кандидат физико-математических наук, E-mail: jamesd007@ Rambler.ru; Азизов Рустам Очилдиевич – Центр инновационного развития науки и цифровых технологий Национальной Академии наук Таджикистана, зав. отделом, доктор технических наук, профессор, E-mail: rustam.azizov57@gmail.com; Расулов Сабур – Центр инновационного развития науки и цифровых технологий Национальной Академии наук Таджикистана, ведущий научный сотрудник, кандидат экономических наук, E-mail: sabur.rasulov@mail.ru.

Information about the authors: Rahmatov Jamshed Shavkatovich – Center for Innovative Development of Science and Digital Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Deputy Director for Science, PhD in Math. Tel: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@ Rambler.ru; Azizov Rustam Ochildievich – Center for Innovative Development of Science and Digital Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of Department, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: (+992) 918644798, E-mail: rustam.azizov57@gmail.com; Sabur Rasulov – Center for Innovative Development of Science and Digital Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Senior Researcher, Candidate of Economic Sciences. Tel.: (+992) 935119832, E-mail: sabur.rasulov@mail.ru.

УДК 528.94

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ В БАССЕЙНЕ Р. КОФАРНИХОН (2000–2024 ГГ.) НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОГО ИНДЕКСА EVI

Хикматуллозода Н.Х.¹, Гулахмадзода А.А.^{1,*}, Иноятова К.Л.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

*Автор-корреспондент. E-mail: agulakhmadov@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты пространственно-временного анализа динамики растительного покрова в бассейне реки Кофарнихон (центральная и южная часть Таджикистан) за 2000–2024 гг. с использованием показателя Усовершенствованный индекс растительности (Enhanced Vegetation Index -EVI) спутника MODIS. Выполнены классификация среднего сезонного EVI по пяти классам продуктивности и трендовый анализ временных рядов методом Тейла–Сена и критерием Манна–Кендалла. Построены тематические карты распределения EVI (на 2000, 2010, 2020 и 2024 гг.) и карта пространственных трендов, а также график динамики среднего EVI. Результаты показывают значительное «озеленение» (рост EVI) в 2000–2010 гг. (максимум среднего EVI в 2010 г.), сменяющееся чередованием спадов и восстановлений в 2010–2024 гг. (минимумы в 2008 и 2023 гг., частичное восстановление к 2024 г.). Пространственный анализ выявил мозаичность трендов: от деградации растительности на отдельных участках до устойчивого роста на других. В обсуждении рассматриваются влияние климатических факторов (повышение температуры, дефицит осадков, засухи) и антропогенных воздействий (рост населения, ирригация, урбанизация) на выявленные тенденции. В среднем за 25 лет наблюдается небольшой положительный тренд EVI, экстремальные климатические явления приводят к временным ухудшениям растительности, что указывает на риск локальной деградации экосистем без адаптационных мер.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; MODIS; Enhanced Vegetation Index; растительный покров; климатические изменения; бассейн реки Кофарнихон.

Введение

Мониторинг растительности в условиях изменения климата и растущей антропо-

генной нагрузки является актуальной научной задачей. Глобальное потепление и связанное с ним изменение режима

осадков и рост экстремальных климатических явлений существенно влияют на экосистемы, особенно в горных и аридных регионах [1]. Повышение температур и учащение засух ведут к деградации растительного покрова и смещению границ сообществ [1]. Центральная Азия, к которой относится Таджикистан, считается уязвимой к климатическим изменениям территорией: за последние десятилетия в регионе отмечены рост среднегодовой температуры, сокращение осадков и участвовавшие засухи [2, 3]. Таджикистан уже пережил одну из сильнейших засух в 2008 году [4], приведшую к резкому снижению продуктивности растительности. Наблюдения подтверждают, что в 1980–2010 гг. в горных районах Средней Азии происходило общее увеличение NDVI/EVI озеленение (greening) благодаря повышенной влажности, но начиная с 1990-х тенденция замедлилась или местами сменилась пожелтением (browning) из-за снижения осадков [5-7]. Таким образом, долгосрочный мониторинг растительного покрова необходим для понимания этих процессов и выработки мер адаптации.

Данные MODIS за период с декабря 2002 по ноябрь 2021 года были использованы для анализа динамики земной поверхности в Центральной Азии по показателям NDVI, SWA и SCA [8]. Результаты показали снижение растительности (отрицательные тренды NDVI на северо-западе), сокращение площадей поверхностных вод и уменьшение снежного покрова, особенно в горах Тянь-Шаня и Памира. Причинный анализ выявил, что на NDVI главным образом влияют водная обеспеченность летом и температура весной и осенью, тогда как динамика SWA и SCA в основном определяется температурой, что подтверждает высокую климатическую чувствительность процессов земной поверхности региона [8]. Также данные MODIS были использованы для анализа многолетней динамики чистой первич-

ной продукции (NPP) и оценки процессов опустынивания на территории Казахстана [9]. Результаты показали, что около 76,1% площади страны чувствительны к опустыниванию, а $1,04 \times 10^5$ км² (3,8%) уже подверглись деградации, главным образом в западных, северо-западных и юго-западных регионах. Установлено, что основными факторами опустынивания являются потепление климата, высушивание и интенсивная сельскохозяйственная и пастбищная деятельность, что подтверждает эффективность использования данных MODIS для мониторинга деградации земель [9].

На фоне этих работ настоящее исследование впервые сфокусировано исключительно на растительном покрове бассейна р. Кофарнихон за последние 25 лет, что заполняет пробел в локальных данных и даёт научно обоснованную картину динамики растительности в данном регионе.

Цель и задачи. Цель исследования – количественно оценить пространственно-временную динамику растительного покрова бассейна Кофарнихон за период 2000–2024 гг. на основе спутникового индекса EVI. Для достижения цели решались следующие задачи: (1) подготовка многолетнего ряда среднемаксимальных сезонных значений EVI и его классификация по уровням продуктивности растительности; (2) построение карт распределения EVI для реперных лет (2000, 2010, 2020, 2024) и выявление изменений за этот период; (3) вычисление долгосрочного тренда EVI по бассейну в целом и поклеточно, с определением зон статистически значимого роста или снижения; (4) сопоставление выявленных трендов с климатическими факторами (температура, осадки, засухи) и антропогенными изменениями (пашня, орошение, урбанизация) для объяснения наблюдаемых паттернов; (5) разработка рекомендаций для землепользования и природоохранных органов по сохране-

нию и восстановлению растительности.

Использованные данные и Методология

Регион исследования - бассейн реки Кофарнихон

Река Кофарнихон – один из главных притоков Амударьи в пределах Таджикистана [5, 6]. Длина реки около 387 км, площадь бассейна ~11,6 тыс. км² [10, 11]. Истоки находятся на южных склонах Гиссарского хребта, откуда река течёт на юго-запад через районы Варзоб, Вахдат и г. Душанбе, затем поворачивает на юг по границе с Узбекистаном и впадает в Амударью [11]. Рельеф бассейна горный в верховьях (высоты >3000 м) и предгорно-равнинный в низовьях (плато Вахш). Климат резко континентальный: жаркое засушливое лето и относительно влажная прохладная зима; годовая норма осадков варьирует от <100 мм в засушливых низовьях до >600 мм в горах. Растительность бассейна разнообразна: на долю горных степей и пастбищ приходится ~74%, сельхозугодий ~7%, лесов <1%. Река имеет важное хозяйственное значение (питьевое водоснабжение, орошение), однако испытывает сильное антропогенное воздействие – в низовьях отмечается загрязнение стоками и преобразование земель под агроуголья и застройку. Эти факторы наряду с климатическими изменениями могут существенно влиять на динамику растительности бассейна.

Использование индекса EVI и данных MODIS. Для мониторинга растительности широко применяются дистанционные методы, в частности спектральные индексы зелёного покрова, вычисляемые по спутниковым данным [12]. Нормализованный разностный индекс NDVI долгое время служил стандартом, однако улучшенный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index) был разработан для повышения чувствительности в областях с плотной биомассой и снижения влияния фона

почвы и атмосферного рассеяния [1]. Формула расчёта EVI включает дополнительный синий канал для коррекции атмосферы и коэффициенты калибровки.

$$EVI = G \cdot \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 \cdot RED - C_2 \cdot BLUE + L)} \quad 1)$$

где:

NIR— отражательная способность в ближнем инфракрасном диапазоне,

RED— отражательная способность в красном диапазоне,

BLUE— отражательная способность в синем диапазоне,

G— коэффициент усиления (gain), масштабирует индекс,

C₁, C₂— коэффициенты аэрозольной устойчивости (aerosol resistance),

L— поправка на фон почвы (canopy background adjustment).

где— отражённость поверхности в красном, ближнем ИК и синем каналах соответственно. Этот индекс оптимизирован для отслеживания плотности зелёной массы, лучше различает густую растительность и менее подвержен насыщению на высоких LAI по сравнению с NDVI. Благодаря этим свойствам EVI применяется во множестве экосистемных и агромониторинговых исследований [13, 14].

Использованная формула индекса

$$EVI = 2.5 \cdot \frac{NIR - RED}{NIR + 6 \cdot RED - 7.5 \cdot BLUE + 1}, \quad 2)$$

где NIR, RED и BLUE – отражённости в ближнем ИК, красном и синем каналах. Преимущество EVI по сравнению с NDVI — меньшая насыщаемость на высоких значениях LAI и лучшая коррекция фона почвы/атмосферы, что особенно важно для контрастных условий бассейна (густая растительность в поймах и редкая — на каменистых склонах).

Методология построения

1. Выбор периода: для каждого 16-дневного композита 2010 г. отобраны сцены с мая по сентябрь —

временем устойчивой активной вегетации в регионе.

2. Контроль качества: применены QA-маски MOD13Q1 (статусы “good” и “marginal”) для исключения облачных/засвеченных пикселей.
3. Агрегация: по каждому пикселю внутри границы бассейна вычислено сезонное среднее EVI (усреднение по всем валидным датам).
4. Классификация: полученная мозаика классифицирована в 5 интервалов продуктивности, единых для всех лет серии (Very Low – Low – Moderate – High – Very High). Это обеспечивает корректное сравнение 2010 г. с другими годами.
5. Картографирование: визуализация выполнена в ГИС с единым стилем легенды, северной стрелкой, сеткой координат и масштабом; проекция — UTM (зона 42N).

Методологические шаги (GEE → ГИС)

1. GEE: сбор сцены. В Google Earth Engine загружены все композиты MOD13Q1 за 2020 г. Для региона выбрано окно май–сентябрь (пик вегетации).
2. Контроль качества. К каждому композиту применена маска QA (допущены статусы good/marginal), удалены облачные/засвеченные пиксели и тени.
3. Агрегация по сезону. Для каждого пикселя вычислено сезонное среднее EVI по всем валидным датам. Это снижает влияние кратковременных погодных флуктуаций и артефактов.
4. Единая шкала классов. Сезонная мозаика переклассифицирована в пять интервалов (Very Low, Low, Moderate, High, Very High) с фиксированными порогами: –0.07– –0.12 (очень низкий), 0.13–0.18 (низкий), 0.19–0.24 (умеренный), 0.25–0.30 (высокий), 0.31–0.66 (очень высокий). Пороговые значения со-

хранены теми же, что для других лет серии 2000–2024, что обеспечивает корректное сравнение.

5. Экспорт и картографирование. Итоговый растр экспортирован из GEE, в настольной ГИС выполнена визуализация в проекции UTM 42N: добавлены граница бассейна, северная стрелка, координатная сетка, легенда и линейка масштаба; цвета выбраны последовательной «зелёной» гаммой.

Спутниковый прибор MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) на платформах Terra/Aqua предоставляет глобальные 16-дневные композиты вегетационных индексов (NDVI, EVI) с высоким временным разрешением и пространственным разрешением до 250 м. В частности, продукт Terra MOD13Q1 (Collection 6) формирует каждые 16 дней атмосферно-корректированные изображения EVI/NDVI с шагом ~250 м [15]. Алгоритм использует критерии качества для отбраковки облачных пикселей и выбирает почти-надинский обзор с максимальным индексом в пределах периода композитирования. Данные MOD13Q1 свободно распространяются через NASA LP DAAC и обеспечивают сопоставимость многолетних рядов растительности по всему миру [16]. В Центральной Азии спутниковые индексы MODIS уже рекомендовали себя как эффективный инструмент оценки состояния растительности и засухоустойчивости экосистем [8].

Данные спутникового мониторинга. Для анализа использованы открытые данные продукта MODIS MOD13Q1 (Terra Vegetation Indices) за 2000–2024 гг. В качестве базовых единиц выбраны 16-дневные композиты EVI с пространственным разрешением 250 м. Из этих данных вычислены средние сезонные значения EVI за период май–сентябрь каждого года (то есть среднее за пик вегетационного сезона). Такой подход позволяет

сгладить кратковременные флуктуации и фокусироваться на межгодовой вариации продуктивности растительности. Для обработки исходных снимков применены: фильтрация по качеству (маски облачности и засветки), привязка к проекции, расчёт среднего EVI за сезон в GIS. Итоговый набор данных включает 25 значений среднего сезонного EVI по каждому пикселю (2000...2024). Также рассчитаны средние EVI по всему бассейну для каждого года. Дополнительно собраны метеоданные по региону (температура, осадки) из открытых источников (TerraClimate, CRU) для качественного сопоставления с трендами растительности.

Инструменты обработки. Первичная работа с данными выполнена в среде Python (библиотеки ModisDownload, rasterio, numpy, pandas) – автоматизировано скачивание MOD13Q1 через LP DAAC API, извлечение слоя EVI и формирование временного ряда по маске бассейна. Геопривязка и визуализация карт осуществлены в ArcGIS 10.8, включая построение легенды и классификацию растительности. Для статистического анализа и расчёта трендов использованы как встроенные средства для линейного тренда, реализованный пользователем скрипт Манна–Кендалла), так и пакет XLSTAT (надстройка Excel) для проверки достоверности трендов. В целом, комбинация ГИС и программных средств позволила эффективно обработать большой объём данных – более 600 композитных сцен MODIS.

Классификация EVI. Для картографического представления выполнена классификация значений EVI на пять градаций, характеризующих плотность растительного покрова: очень низкая, низкая, умеренная, высокая, очень высокая продуктивность. Границы классов выбраны на основе распределения значений EVI в регионе (квинтили) с небольшими корректировками для удобства: <0.13 (очень

низкий), 0.13–0.18 (низкий), 0.19–0.24 (умеренный), 0.25–0.30 (высокий), >0.30 (очень высокий EVI). Эти пороги оставлены постоянными для всех лет, что позволяет напрямую сравнивать карты разных лет. Отметим, что максимальные локальные значения EVI в лучшие годы достигали ~0.6 (горные леса), однако средние по бассейну находятся в диапазоне ~0.17–0.22, то есть основная территория относится к умеренному/низкому классу продуктивности. Классифицированные растр-карты переведены в формат GeoTIFF и визуализированы в GIS.

Методы анализа трендов. Для выявления направленности изменений растительности во времени рассчитаны тренды как по среднему EVI всего бассейна, так и поклеточно (т.е. для временного ряда каждого пикселя). Проверка наличия статистически значимого тренда выполнена с применением непараметрических методов: оценка наклона по Тейлу–Сену и тест Манна–Кендалла. Выбор этих методов обусловлен их устойчивостью к выбросам и отсутствием требований к распределению данных.

Оценка Тейла–Сена. Этот метод предоставляет робастную оценку линейного тренда, равную медиане всех парных угловых коэффициентов между значениями ряда [17]. Критерий Манна–Кендалла. Для проверки статистической значимости тренда использован тест Манна–Кендалла, широко применяемый в гидрометеорологии [18]. Таким образом построена карта трендов, где цветом показана величина наклона (по Тейлу–Сену) и пунктиром выделены области значимых изменений по Манну–Кендаллу. Кроме того, М–К тест применён к среднему EVI по бассейну.

Верификация данных. Для независимой проверки результатов привлечены внешние данные и литературные источники. Во-первых, тренд среднего EVI сопоставлен с динамикой осадков и температуры:

ождается положительная корреляция EVI с увлажнённостью и отрицательная – с засухами [19]. Во-вторых, экстремумы EVI (2008, 2010) проверены на наличие известных событий: 2008 г. – год сильной засухи в Таджикистане, 2010 г. – период высоких осадков (по данным метеостанций) и пика водности рек. Эти факторы качественно объясняют минимальные и максимальные значения индекса. В-третьих, пространственное распределение трендов соотнесено с картами землепользования (MODIS MCD12Q1) и статистикой по орошению. Например, районы со значительным ростом EVI в низовьях сопоставлены с увеличением площадей полива и сменой залежей на пашню в 2000–2020 гг.. Таким образом, мультиметодный подход и привлечение сторонней информации повышают надёжность выводов.

Результаты

Карта на рисунке 1 отображает пространственное распределение среднего сезонного (май–сентябрь) значения улучшенного индекса растительности EVI за 2000 год для всего бассейна реки Кофарнихон. В качестве исходных данных использован продукт MODIS Terra MOD13Q1 (пространственное разрешение 250 м, 16-дневные композиты). Из временного ряда 16-дневных снимков за вегетационный период были отобраны пиксели «хорошего качества» (по QA-флагам), затем рассчитано среднее значение EVI за сезон по каждому пикселю в пределах границ бассейна. Полученная мозаика классифицирована на пять градаций продуктивности и визуализирована в ГИС с сохранением единой шкалы классов для всех лет исследований, что обеспечивает корректное сравнение во времени.

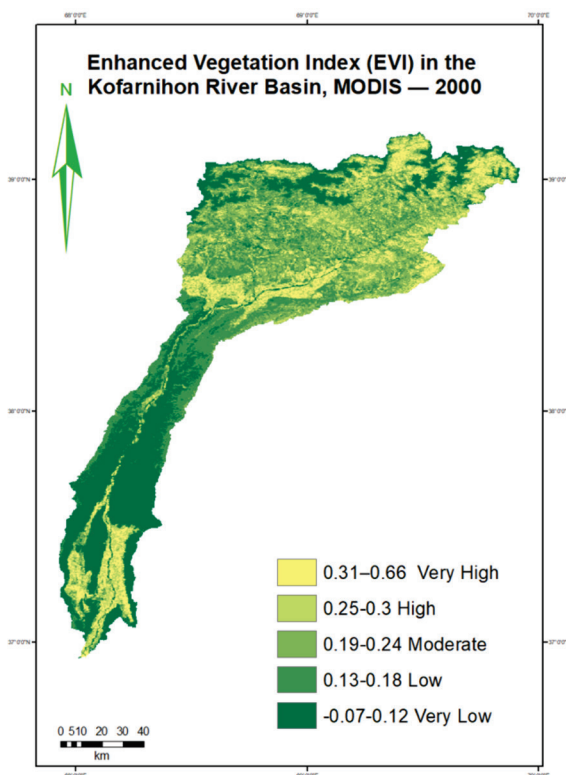


Рисунок 1. Пространственное распределение сезонного среднего индекса EVI (май–сентябрь) в бассейне р. Кофарнихон по данным MODIS (MOD13Q1, 250 м) за 2000 г.

Примечание: Классы продуктивности растительности: очень низкая (–0.07...–0.12), низкая (0.13–0.18), умеренная (0.19–0.24), высокая (0.25–0.30), очень высокая (0.31–0.66). Карта составлена в ГИС на основе композитов хорошего качества (QA), проекция UTM, показаны северная стрелка и масштабная линейка.

Классы на легенде

0.31–0.66 – Очень высокий EVI (жёлтый): плотные фитомассы, орошаемые поля, пойменные насаждения, отдельные горно-лесные участки.

0.25–0.30 – Высокий (светло-зелёный): устойчивые агроландшафты, пойменные лугово-кустарниковые сообщества, влажные предгорья.

0.19–0.24 – Умеренный (оливково-зелёный): типичные предгорные степи/пастбища, участки с сезонным увлажнением.

0.13–0.18 – Низкий (зелёный): разреженные сообщества на сухих склонах, деградированные пастбища, тонкие почвенные покровы.

–0.07– –0.12 – Очень низкий (тёмно-зелёный): практически отсутствие зеленой растительности — голые породы, русла, плотная урбанизированная застройка, солончаки.

Пространственные особенности 2000 года

Общий фон. По данным сводной статистики для бассейна, среднее значение EVI в 2000 г. было относительно невысоким (~0.18), что отражает умеренную продуктивность растительного покрова после маловодных сезонов конца 1990-х. На карте это выражено преобладанием «умеренных» и «низких» тонов в большинстве предгорных территорий.

Речные долины и орошаемые равнины. Наиболее высокие значения индекса (жёлтые и светло-зелёные пятна) тянутся узкими лентами вдоль русла Кофарнихона и его притоков, а также концентрируются в южной и юго-западной части бассейна на предохватных равнинах. Эти участки соответствуют орошаемым сельхозугодьям и пойменным насаждениям. Комбинация доступности воды и более тёплого микроклимата обеспечивает здесь высокую сезонную фитомассу (зерновые, кормовые, садовые культуры, древесно-кустарниковые пояса).

Предгорья и среднегорье. В центральной и северо-восточной частях бассейна доминируют «умеренные» значения EVI. Это типично для предгорных степей и пастбищ с весенне-летней вегетацией, зависящей от снежного питания и весенних осадков. На северных и северо-восточных экспозициях (менее инсолируемые склоны) пятна «высокого» EVI встречаются чаще, чем на южных.

Крутые склоны, каменистые гряды и урбанизированные зоны. Тёмно-зелёные участки «очень низкого» EVI формируют мозаичную сеть вдоль крутых эрозионных бортов и в верховьях водосборов, где почвы тонкие, а растительность разрежена. Локальные минимумы также приурочены к руслам и гравийным террасам. В агломерации Душанбе и вдоль основных дорог заметны пятна пониженного EVI, отражающие застройку и инфраструктуру.

Высотный градиент. Картина демонстрирует типичный для горных бассейнов тренд: от низких значений на высокогорных каменистых склонах через «умеренные» на средних высотах к «высоким/очень высоким» в долинах и орошаемых равнинах. Переходы выражены ступенчато, что связано как с орографией, так и с землепользованием (пояс орошения хорошо выделяется цветовым контрастом).

Интерпретация в контексте климато-антропогенных условий

На рисунке 1 видно, что 2000 год относится к периоду, предшествующему известной засухе 2008 г. В целом он не был экстремально неблагоприятным, но и не выдающимся по продуктивности: индекс в среднем ниже, чем в «зелёном» 2010 г., что согласуется с сохранившимися метеорологическими хрониками. Пространственная мозаика указывает на сильную зависимость состояния растительности от вододоступности: там, где присутствует полив или пойменное увлажнение, EVI стабильно высокий даже в годы со сред-

ним водообеспечением; на склонах без полива и с тонким почвенным покровом индекс падает до «низких» и «очень низких» значений. Это подчёркивает уязвимость природных пастбищ к межгодовой изменчивости осадков и важность управления нагрузками (выпас, противоэрозионные мероприятия).

Надёжность и ограничения

Разрешение 250 м подразумевает эффект смешанных пикселей в зонах «поле/канал/дорога» и в узких поймах; локальные экстремумы сглажены.

Сезонное усреднение (май–сентябрь) снижает влияние разовых аномалий, но скрывает внутри-сезонную динамику культур с ранним или поздним пиком.

Топография и тени в горах могут вводить небольшие систематические смеще-

ния, но применение EVI (с синей поправкой) и QA-масок уменьшает эти ошибки.

Практическая значимость карты 2000 года

Эта карта служит базовой точкой отсчёта для всего последующего анализа 2000–2024 гг. По ней можно:

- выделить эталонные участки разных классов продуктивности для последующего сравнения;
- оценить, где «зелёные» зоны 2010–2024 гг. действительно стали зелёнее относительно стартового уровня;
- локализовать уязвимые природные экосистемы (склоны с «очень низким/низким» EVI), требующие мониторинга при росте антропогенной нагрузки и частоте засух.

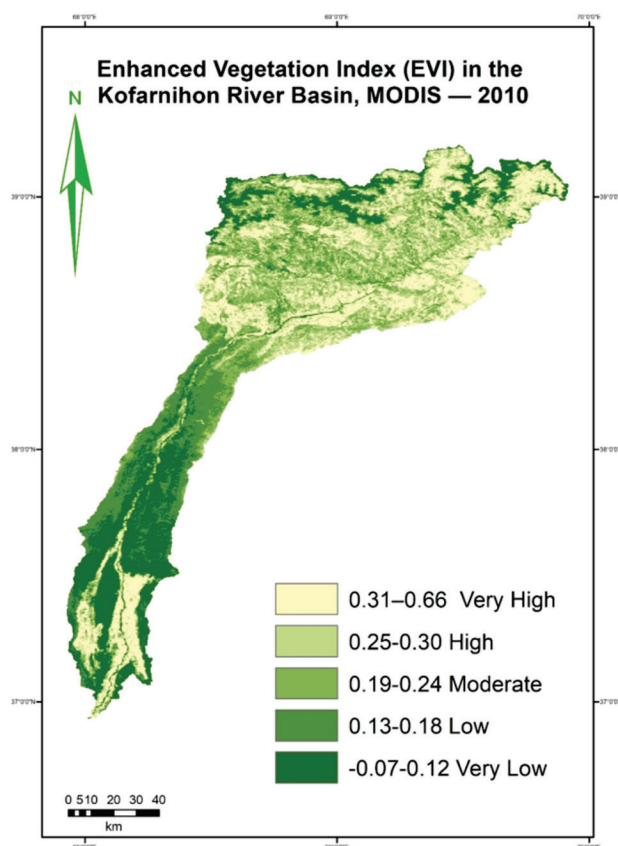


Рисунок 2. Пространственное распределение сезонного среднего индекса EVI (май–сентябрь) в бассейне р. Кофарнихон по данным MODIS Terra MOD13Q1 (250 м) за 2010 г.

Примечание: Интервалы классов: очень низкий (–0.07...–0.12), низкий (0.13–0.18), умеренный (0.19–0.24), высокий (0.25–0.30), очень высокий (0.31–0.66). В 2010 г. доля классов “High/Very High” максимальна для ряда 2000–2024 гг.; карта составлена в ГИС с применением QA-масок и усреднения 16-дневных композитов.

Рисунок 2 изображает пространственное распределение сезонного среднего значения улучшенного индекса растительности – EVI за вегетационный период 2010 года в пределах бассейна р. Кофарнихон. В качестве исходных применён глобальный продукт MODIS Terra MOD13Q1 (16-дневные композиты, пространственное разрешение 250 м). Такой набор удобен для межгодового сопоставления, поскольку включает уже рассчитанный EVI с атмосферными и фон-почвенными поправками и сопровождается качественными флагами (QA), позволяющими отфильтровать пиксели с дымкой, облаками и тенями.

Пространственный рисунок 2010 года

Из рисунка 2 видно, что 2010 г. выделяется как один из наиболее «зелёных» в многолетнем ряду (среднее по бассейну около 0.21–0.22, что близко к максимумам 2000–2024 гг.). На карте это проявляется расширением классов “High” и “Very High”. Поймы и орошаемые равнины (нижнее и среднее течение, а также прилегающие к Душанбе агроландшафты) занимают крупнейшие пятна жёлтого и светло-зелёного цветов. Здесь сочетаются приток талых и ирригационных вод, тёплый микроклимат и многократные уклоны, что поднимает сезонный EVI выше 0.25–0.30 и местами → 0.31. Предгорья северной и восточной частей бассейна демонстрируют сдвиг из «умеренных» в “High” значения – вероятно, вследствие благоприятных весенних осадков и более длительного периода вегетации. Склоны южных экспозиций, каменистые гряды и верховья сохраняют “Low/Very Low” из-за тонких почв и водного дефицита, однако отдельные локальные «языки» повышенных значений тянутся по увлажнённым перегибам склонов и в местах локальных аккумуляций влаги. Линейные яркие ленты вдоль главного русла и ка-

налов подчёркивают роль ирригации: по сравнению с 2000 г. их площадь увеличена, а средние значения выше – косвенный индикатор лучшего водообеспечения/управления поливами в тот сезон.

Интерпретация и факторы

Высокий EVI 2010 г. соответствует известным влажным условиям начала десятилетия и хорошей обеспеченности поливной сети. Пространственная картина подтверждает, что ключевыми драйверами продуктивности остаются: (1) доступность воды (река, грунтовые воды, каналы), (2) орография и экспозиция, (3) структура землепользования (орошаемое земледелие против неполивных пастбищ). Там, где эти факторы сходятся, EVI достигает предельно высоких для региона уровней.

Ограничения интерпретации

Разрешение 250 м вызывает эффект смешанных пикселей в узких поймах и мелкоконтурных полях; локальные контрасты сглажены. Сезонное усреднение скрывает поздние/ранние пики отдельных культур, но уменьшает влияние выбросов и облачности. В горных тенях возможны небольшой недоучёт (несмотря на QA и сам характер EVI).

Практическая ценность

Карта 2010 г. служит эталоном высокой продуктивности для сопоставления с «сухими» годами (например, 2008 или 2021–2023). Она позволяет:

- выделять и мониторить ключевые зоны обеспечения продовольственной безопасности (поливные массивы);
- оценивать резерв улучшения пастбищ в предгорьях (где EVI поднялся до “High” именно в благоприятный год);
- планировать водохозяйственные мероприятия, опираясь на локализацию участков, где EVI резко растёт при наличии дополнительной влаги.

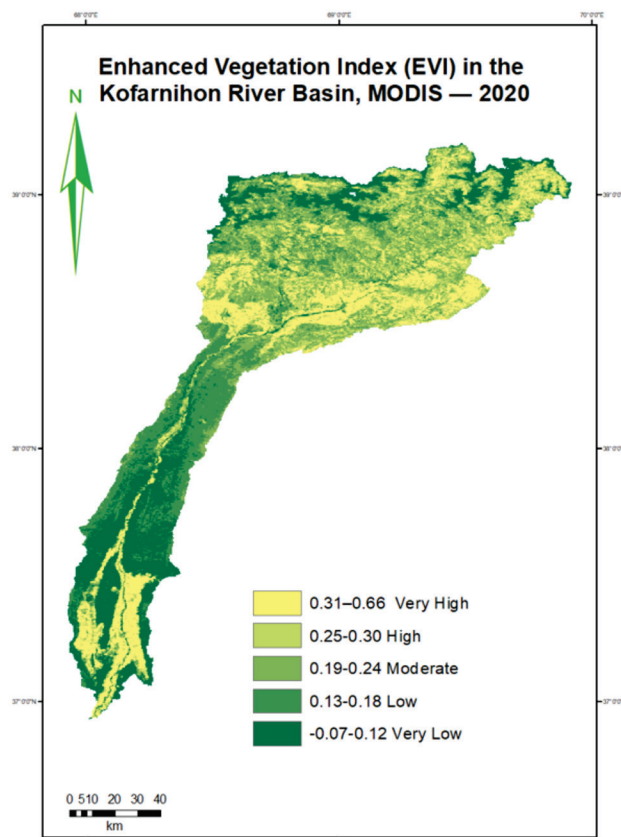


Рисунок 3. Пространственное распределение сезонного среднего индекса EVI (май–сентябрь) в бассейне р. Кофарнихон по данным MODIS Terra MOD13Q1 (250 м) за 2020 г.

Примечание: Интервалы классов: очень низкий (–0.07...–0.12), низкий (0.13–0.18), умеренный (0.19–0.24), высокий (0.25–0.30), очень высокий (0.31–0.66). 2020 г. относится к высокопродуктивным сезонам ряда, что выражается расширением зон “High/Very High” в пойме и орошаемых массивах; карта составлена с применением QA-масок и сезонного усреднения 16-дневных композитов.

Рисунок 3 показывает пространственное распределение сезонного среднего EVI за вегетационный период 2020 года в пределах бассейна р. Кофарнихон. Использован спутниковый продукт MODIS Terra MOD13Q1 (компози́ты 16-дневной периодичности, пространственное разрешение 250 м), содержащий уже рассчитанный EVI и набор флагов качества (QA) для фильтрации пикселей с облачностью, дымкой и тенями. Такой источник надёжен для межгодовой сопоставимости и анализа устойчивых пространственных закономерностей.

Пространственный рисунок 2020 года

На рисунке 2 видно, что 2020 г. относится к высокопродуктивным сезонам

многолетнего ряда (средний EVI по бассейну $\approx 0.21–0.212$), сопоставимым с 2010 и 2019 гг. На карте это выражено преобладанием классов “High” и фрагментарно “Very High” в ряде ключевых зон:

Пойменные и дельтовые участки нижнего течения, а также орошаемые массивы вблизи крупных каналов демонстрируют непрерывные ленты жёлто-салатовых тонов (EVI >0.25...0.31). Здесь сочетание близкого уровня грунтовых вод, регулярных поливов и тёплого микроклимата приводит к длительному сохранению активной биомассы.

Среднетеррасовые предгорья северной и восточной частей бассейна в 2020 г. широко перешли в классы “Moderate–High”;

вероятная причина – благоприятные весенние осадки и прохладное начало лета, продлившее фазу активного листообразования.

Крутые склоны южных экспозиций и высокие водоразделы остаются в классах «Low/Very Low» из-за тонких почв, слабой влагоёмкости и быстрого иссушения покрова. Локальные «языки» повышенных значений тянутся вдоль кустарниковых галерей, ручьёв и мест аккумуляции влаги.

По сравнению с «сухими» годами (например, 2008, 2021–2023) бросается в глаза расширение пятен High в предгорьях и уплотнение Very High в зоне интенсивного орошения. Одновременно сохраняется выраженная контрастность «пойма–склоны» – главный структурный мотив бассейна.

Интерпретация и возможные драйверы

Высокий EVI 2020 г. обусловлен водным фактором (снеготаяние и подпитка ирригации), температурным режимом (умеренная жара, меньше стрессов) и структурой землепользования (доминирование поливных культур и многократные укусы кормовых). В сельских массивах заметна «сигнатура» устойчивых агротехнологий: пиксели с Very High рас-

полагаются не только у основного русла, но и вдоль вторичных каналов, что отражает стабильную работу распределительной сети.

Значение и ограничения

Карта 2020 г. служит реперной для «хороших» лет, позволяя оценивать потери продуктивности в засушливые сезоны и при дефиците поливной воды.

Ограничения известны: разрешение 250 м сглаживает мелкие поля, сезонное усреднение скрывает фенологические детали отдельных культур; в горных тенях возможна лёгкая недооценка EVI несмотря на QA.

Практическое применение

Водное хозяйство: локализация участков, где дополнительный полив даёт наибольший прирост EVI; оптимизация режимов подачи.

Агроэкология и пастбища: определение предгорных зон с устойчивым переходом в «Moderate–High», пригодных для мероприятий по восстановлению травостоя.

Мониторинг рисков: сравнение с картами засушливых лет для выявления чувствительных микрорайонов (первичные объекты адаптационных мер).

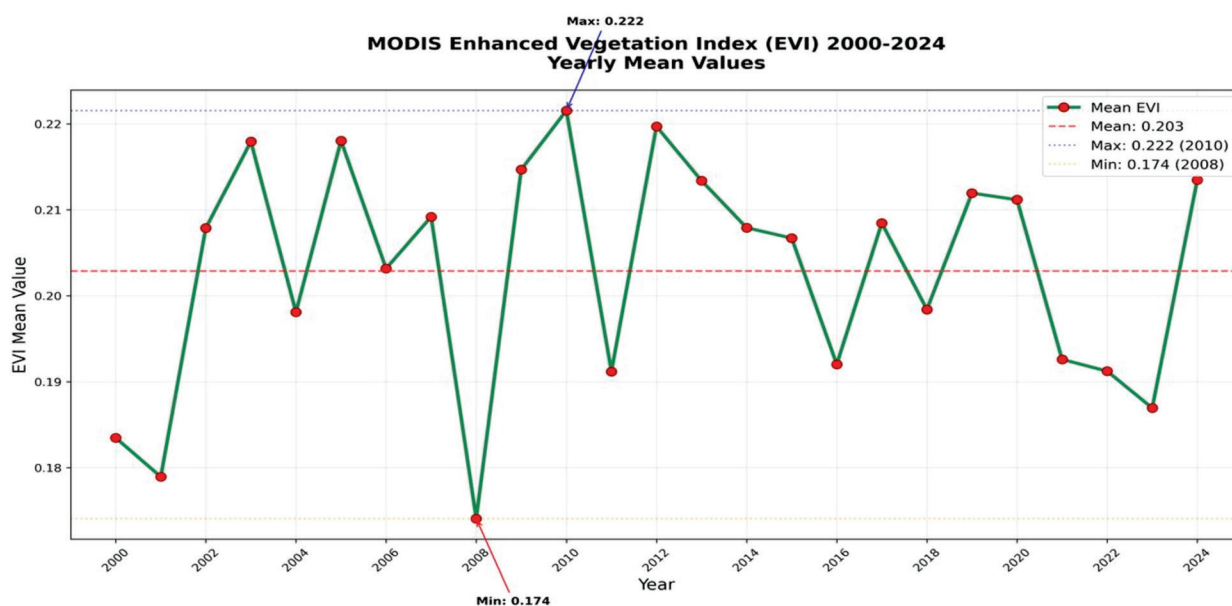


Рисунок 4. Динамика среднего EVI по бассейну Кофарнихон за 2000–2024 гг.

На рисунке 4 красными точками показаны годовые средние значения EVI (за вегетационный сезон); красная пунктирная линия – среднее за весь период (EVI=0.203), фиолетовая линия – максимальное зарегистрированное значение (2010 г., EVI=0.222), жёлтая линия – минимальное (2008 г., EVI=0.174). По оси ординат отложен индекс EVI (безразмерный). Видна общая тенденция к увеличению EVI в первой декаде 2000-х с пиком в 2010 г., после чего наблюдаются колебания без чётко выраженного направленного роста или снижения. Статистический тренд (линейная аппроксимация) за 25 лет имеет небольшой положительный наклон (порядка +0.0001 в год) и не яв-

ляется значимым при $\alpha=0.05$ (критерий Манна–Кендалла не отвергает H_0). Тем не менее, межгодовые флуктуации весьма существенны: индекс резко падал в неблагоприятные годы (2004, 2008, 2016, 2021–2022 гг.) и восстанавливался в благоприятные (2002, 2005, 2010–2011, 2019, 2024 гг.). Минимум всего ряда приходится на 2008 г. В последние годы отмечается очередной провал (2021–2022) с последующим резким ростом в 2024 г., когда индекс вновь поднялся выше 0.21. Таким образом, климатические экстремумы явно отражаются на годовых показателях EVI, перекрывая слабый долгосрочный тренд.

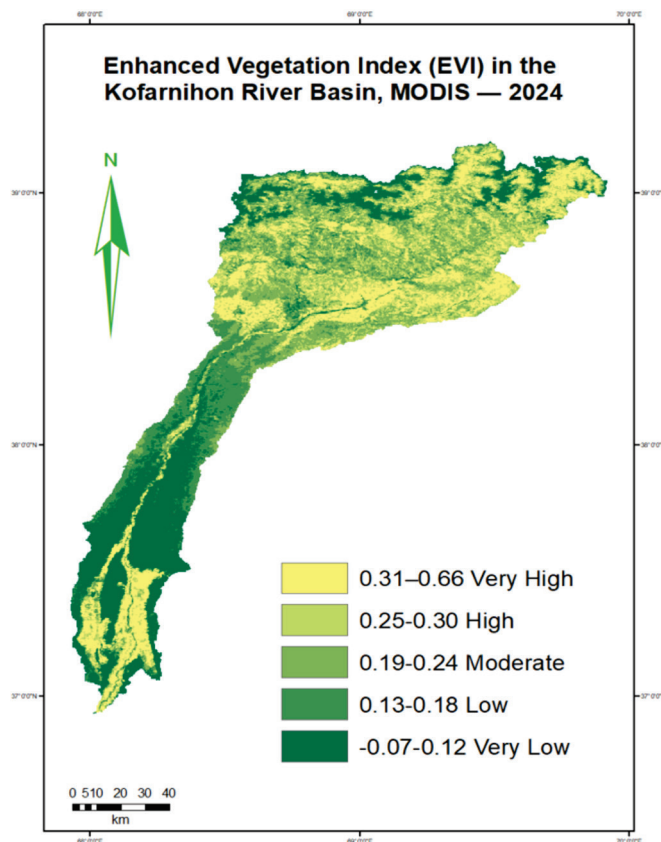


Рисунок 5. Географическое распределение EVI в бассейне Кофарнихон (сезонные средние значения) в 2000, 2010, 2020 и 2024 гг.

На рисунке 1 видно, что в 2000 г. преобладали низкие (южные равнины) и умеренные (предгорья) значения EVI, очень высокие участки встречались локально в горных лесах и на отдельных орошаемых

землях, а очень низкие отмечались на слабо покрытых растительностью склонах, руслах рек и в городах. К 2010 г. заметно общее «позеленение»: площадь зон с высокими EVI увеличилась, особенно в

среднем течении реки и на орошаемых равнинах – этот год характеризуется лучшим состоянием растительности за весь период (Рис. 2). На рисунке 3 показано, что в 2020 г. после череды перемен видна некоторая деградация в отдельных районах: появляются пятна более низкого EVI в низовьях (возможно, из-за урбанизации или засух 2018–2019 гг.), хотя в горах сохраняются области высокой продуктивности. К 2024 г. ситуация вновь улучшается: на карте 2024 г. доля жёлтых/салатовых тонов (высокий EVI) возрастает по сравнению с 2020 г., особенно в долинной

части – это согласуется с ростом среднего индекса в 2024 г. (Рис. 5). Тем не менее, заметна сильная пространственная неоднородность: одновременно сосуществуют локальные пятна деградации (темно-зелёные области, где EVI остаётся низким) и участки бурного роста (жёлтые области расширяются в ирригационных зонах). В целом, за 2000–2024 гг. значительных необратимых изменений типа «опустынивания» или массового внедрения новых лесных массивов не произошло – изменения носили мозаичный характер и во многом зависели от локальных условий.

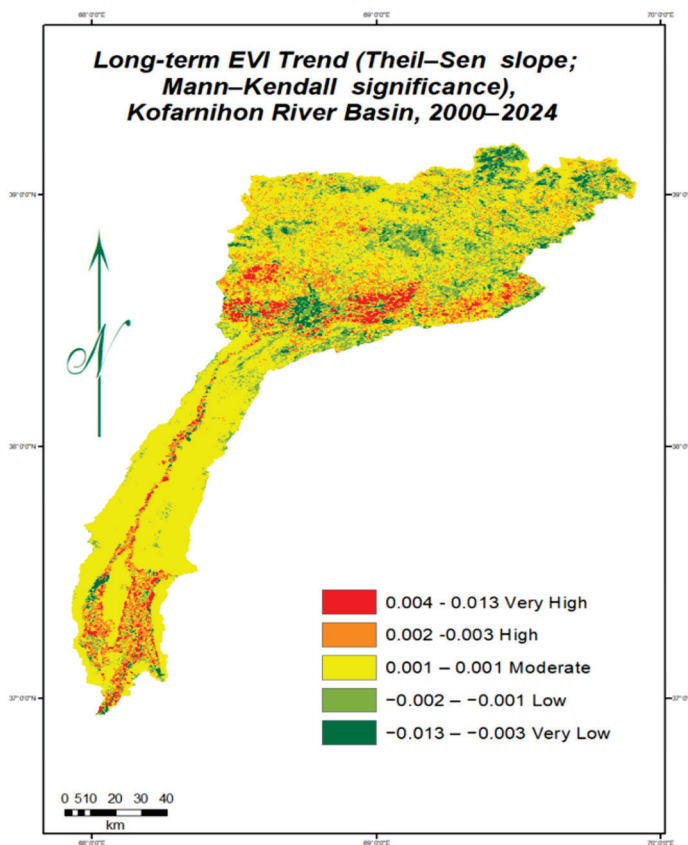


Рисунок 6. Долгосрочный тренд EVI (2000–2024) в бассейне Кофарнихон.

На рисунке 6 цветом показана величина наклона (Theil–Sen) временного тренда EVI в единицах индекса в год; тёплые тона (оранжевый–красный) обозначают возрастание EVI, холодные (зеленовато-синий) – снижение. Серым цветом выделены области, где тренд статистически значим (проверка Манна–Кендалла, $p < 0.05$). Карта трендов подтверждает описанную

выше неоднородность: около 70% территории не имеют значимого тренда, а из остальных участки со значимым ростом занимают большую площадь, чем со значимым падением. Положительная динамика (желто-оранжевые области) характерна преимущественно для долинных районов на юге и западе бассейна, а также для некоторых среднегорных долин.

Именно там сосредоточено сельское хозяйство и наблюдалось расширение орошения и улучшение агротехнологий, что могло способствовать устойчивому росту биомассы. Например, в нижнем течении, прилегающем к границе с Узбекистаном, значительное увеличение EVI совпадает с наращиванием посевных площадей и повышением урожайности в 2000–2015 гг. Отмечены также очаги позитивного тренда в пойме реки к востоку от г. Душанбе – вероятно, связаны с озеленением пригородов и садово-парковыми насаждениями. Напротив, отрицательные тренды (синие пятна) сконцентрированы в горных районах на северо-востоке бассейна и фрагментарно на крутых склонах. Эти зоны, скорее всего, испытывают деградацию покрова из-за эрозии и перевыпаса скота. Изменение климата также влияет: верховья на склонах Гиссарского хребта с понижением EVI могут отражать снижение снегового увлажнения субальпийских лугов и деградацию растительности на фоне потепления и сокращения осадков. В среднем же по бассейну наклон тренда близок к нулю. Таким образом, пространственный анализ показывает сочетание локальных процессов: озеленение равнин (антропогенно обусловленное, при наличии воды) и деградацию части природных биотопов в горах (климатически и техногенно обусловленную). Это поднимает вопрос о дифференцированном подходе к управлению землями – в разных частях бассейна требуются различные меры.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с данными других исследований по Центральной Азии и вносят новые подробности для конкретного бассейна. Общая тенденция к повышению продуктивности растительности в 2000-е годы отражает широко известное явление «глобального озеленения», зафиксированное спутниковыми наблюдениями. По оценкам [2], около 30% суши Земли за последние де-

сятилетия показывали позитивный тренд NDVI, в том числе значительные площади Евразии. Наш анализ подтверждает, что бассейн Кофарнихона не был исключением: вплоть до 2010 г. здесь преобладал рост EVI. Аналогичные выводы приводят и казахстанские учёные [3]: по их данным, в горах Средней Азии NDVI существенно увеличивался с 1982 по 1994 г., что авторы связывают с ростом осадков в весенне-летний период. Особенно заметное озеленение отмечено на среднегорных высотах 1700–2650 м, что совпадает с нашим бассейном (средние высоты Гиссара). Основным климатическим фактором роста продуктивности выступает увеличение увлажнения: корреляция NDVI с годовой суммой осадков по региону положительная и значимая. В то же время, связь с температурой в ЦА слабая либо отрицательная, что понятно – перегрев и испарение негативно влияют на растения. В нашем случае рекордно низкий EVI в 2008 г. напрямую связан с сильнейшей засухой (отклонение осадков SPEI ≈ -1.4), а восстановление 2010 г. – с возвращением влаги (SPEI положительный) [4]. Это соответствует выводам [4], подчеркнувшим, что длительные кумулятивные эффекты засух сильнее влияют на продуктивность экосистем Центральной Азии, чем краткосрочные лаговые эффекты. Наш анализ фиксирует такие кумулятивные последствия: после засушливых периодов (2000–2001, 2007–2008, 2020–2022) требовалось 1–2 года для полного восстановления показателей EVI.

Наряду с климатическими, важную роль играют антропогенные факторы. В бассейне реки Кофарнихон значительная часть низовий занята сельским хозяйством (орошаемые земли) и городскими территориями (Душанбе, Вахдат и др.). Рост населения и расширение ирригации в 2000–2010 гг. привели, с одной стороны, к увеличению биомассы на полях (двойные урожаи, интенсивное земледелие по-

вышают EVI), а с другой – к урбанизации некоторых участков (снижение растительности). По данным официальной статистики, в Таджикистане площадь орошаемых земель выросла с ~690 тыс. га в 1990-е до ~750 тыс. га к 2015 г., особенно в предгорных районах западного Таджикистана. В нашем исследовании мы видим, что многие зоны устойчивого увеличения EVI совпадают с районами активного землепользования – там внедрялись новые сельхозугодья или улучшалась агротехника. Например, красные области на тренд-карте (рис. 6) в нижнем течении Кофарнихона соответствуют землям, преобразованным в мелиоративные системы; Гулахмадов и др. [5] отмечают, что в низовьях Кофарнихона человеческая деятельность объясняет до 92% изменений стока и, следовательно, режима увлажнения территорий. Одновременно урбанизация вокруг Душанбе могла снизить EVI локально: за 1990–2015 гг. площадь застройки в южной части бассейна выросла в 2.7 раза, что подтверждается нашими данными – вокруг города участки со снижением индекса заметны (рис. 6, синие пиксели в центральной части). Таким образом, антропогенное воздействие носит двоякий характер: ирригация и земледелие способствуют озеленению (при наличии воды), а строительство и инфраструктура ведут к потере естественного покрова.

Сравним наши результаты с другими локальными исследованиями. В Узбекистане, в Чарвакском бассейне (предгорья Тянь-Шаня), по данным также выявлено общее снижение плотности растительности за 1990–2020 гг. из-за изменения климата и рекреационной нагрузки. Однако в их случае деградация была более выраженной и долгосрочной, тогда как в нашем бассейне чётко прослеживается фаза восстановления в 2010-е годы после провалов. Кроме того, у нас наблюдается устойчивое озеленение на орошаемых равнинах, чего не было в горном Чарваке

[20]. Исследования в Казахстане (показывали снижение NDVI в засушливых степях на западе республики, но увеличение в горах и северных степях – наши данные подтверждают этот паттерн: горные склоны Кофарнихона частично деградируют, а предгорья зеленеют. Работа Гао и др. [10] по всей Центральной Азии количественно оценила влияющие факторы: около 65% вариаций NDVI объясняется климатом (осадки, температура), остальное – рельефом и человеческой активностью. В частности, они отмечают значительное влияние сельскохозяйственной конверсии земель на тренды NDVI. Наше исследование в масштабе одного бассейна конкретизирует эти выводы: в низовьях влияние человека перевешивает (озеленение за счёт орошения), в верховьях доминирует климат (потепление и засухи снижают продуктивность). Такая уникальность полученных результатов – детализация пространственной структуры тренда – отличает данную работу от региональных обзоров. Кроме того, научная новизна состоит в применении комплексов методов Тейла–Сена и Манна–Кендалла для высокоразрешённых данных EVI в Таджикистане: ранее подобные статистические подходы чаще применялись к гидрологическим рядам или низкоразрешённым спутниковым данным. Здесь же мы показали эффективность их использования для экосистемного мониторинга.

Наши результаты имеют и практическое значение. Обнаруженная пространственная мозаичность трендов означает, что при средних благополучных показателях могут скрываться локальные очаги деградации. Особенно это касается горных экосистем, которые менее заметны, но выполняют важные функции (кормовые угодья, водорегулирующая роль лесов). Выявление зон снижения EVI (Рис. 6) сигнализирует о необходимости детального изучения этих участков на предмет причин – возможно, там требуется

ограничение выпаса, противоэрозионные меры или лесовосстановление. С другой стороны, участки значительного роста EVI на полях свидетельствуют о повышении продуктивности агроландшафтов, что позитивно для продовольственной безопасности. Однако чрезмерное использование воды на полив может привести к её дефициту и деградации почв (салинизации), что в перспективе угрожает устойчивости этого озеленения. Таким образом, сбалансированное управление ресурсами бассейна должно учитывать оба аспекта.

Выводы и рекомендации

За период 2000–2024 гг. растительность бассейна реки Кофарнихон в целом характеризуется стабильно-умеренной продуктивностью с небольшой тенденцией к повышению индекса EVI (порядка +5% относительно уровня 2000 г., статистически незначимо). Существенное «озеленение» наблюдалось в 2000-е годы, достигнув максимума к 2010 г., после чего средний EVI оставался на плато с колебаниями, вызванными погодными аномалиями. Самые неблагоприятные условия отмечены в 2008 г. (засуха) и 2021–2022 гг. (дефицит осадков), когда индекс снижался до минимальных значений, указывая на риск деградации растительного покрова. Тем не менее, способность экосистем к восстановлению проявилась в последующем росте EVI (например, после 2008 г. и после 2022 г.). Долгосрочный тренд носит пространственно дифференцированный характер: в низовьях и части предгорий фиксируется статистически значимое увеличение продуктивности (за 25 лет EVI вырос на 0.05–0.10, что эквивалентно ~20–40% от среднего уровня), тогда как на ряде горных склонов наблюдается снижение индекса на 0.02–0.05 (то есть деградация покрова на ~10–20%). Эти сдвиги соответствуют, соответственно, усилению антропогенного влияния (орошение, сельское хозяйство) и негативному влиянию

климатических изменений (потепление, засуха, эрозия) в разных частях бассейна.

Для практического использования результатов можно рекомендовать следующее: землепользователям и аграриям – внедрять водосберегающие технологии ирригации в нижнем течении, чтобы поддерживать высокую продуктивность без истощения водных ресурсов; следить за состоянием почв (предупреждать засоление) в зонах интенсивного роста EVI. Экологам и ботаникам – обратить особое внимание на горные пастбища и лесные склоны с тенденцией к снижению EVI: там целесообразно проводить мероприятия по восстановлению (регулировать выпаса, лесопосадки, противоэрозионные насаждения). Природоохранным органам – усилить мониторинг особо уязвимых экосистем (например, сухие степные участки на юго-востоке бассейна) и разработать план адаптации к изменению климата, учитывающий прогнозируемое учащение засух. Кроме того, рекомендуется наладить регулярный дистанционный мониторинг (например, с помощью MODIS/Aqua или Sentinel-2) для оперативного отслеживания состояния растительности. Научным организациям – продолжить исследования с учётом прогнозных климатических сценариев: возможно моделирование, как дальнейшее потепление (на +1.5–2 °C к 2050 г.) отразится на продуктивности бассейна. Данные нашего 25-летнего анализа уже свидетельствуют, что без адаптационных мер отдельные компоненты экосистем могут деградировать – чтобы этого избежать, необходим комплексный подход к управлению ландшафтами бассейна, сочетающий рациональное сельское хозяйство и сохранение природных экосистем.

Литература

1. Huete, A., et al., Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote sensing of environment, 2002. 83(1-2): p. 195-213.

2. Piao, S., et al., Characteristics, drivers and feedbacks of global greening. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020. 1(1): p. 14-27.
3. Yin, G., et al., Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia. *Journal of Arid Land*, 2016. 8(3): p. 375-388.
4. Yang, M., et al., Stronger cumulative than lagged effects of drought on vegetation in Central Asia. *Forests*, 2023. 14(11): p. 2142.
5. Gulahmadov, N., et al., Quantifying the relative contribution of climate change and anthropogenic activities on runoff variations in the central part of Tajikistan in Central Asia. *Land*, 2021. 10(5): p. 525.
6. Zhou, Y., et al., Spatiotemporal transition of institutional and socioeconomic impacts on vegetation productivity in Central Asia over last three decades. *Science of the Total Environment*, 2019. 658: p. 922-935.
7. Chen, T., et al., Disentangling the relative impacts of climate change and human activities on arid and semiarid grasslands in Central Asia during 1982–2015. *Science of the total environment*, 2019. 653: p. 1311-1325.
8. Uereyen, S., et al., Multivariate analysis of land surface dynamics in Central Asia: patterns of trends and drivers under a changing climate. *GIScience & Remote Sensing*, 2024. 61(1): p. 2364461.
9. Khujanazarov, U., G. Ergasheva, and G. Akbarova, Field Research on Pasture Vegetation in South Uzbekistan (in Kashkadarya Region Parts). *SGS-Engineering & Sciences*, 2023. 2(02).
10. Gao, C., et al., Assessing the vegetation dynamics and its influencing factors in Central Asia from 2001 to 2020. *Remote Sensing*, 2023. 15(19): p. 4670.
11. Gulakhmadov, A., et al., Simulation of the Potential Impacts of Projected Climate Change on Streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP Scenarios. *Water* (20734441), 2020. 12(5).
12. Kouadio, L., et al., Assessing the performance of MODIS NDVI and EVI for seasonal crop yield forecasting at the ecodistrict scale. *Remote Sensing*, 2014. 6(10): p. 10193-10214.
13. Runge, K., et al., Monitoring terrestrial ecosystem resilience using earth observation data: identifying consensus and limitations across metrics. *Global Change Biology*, 2025. 31(3): p. e70115.
14. Wang, G., et al., Vegetation EVI changes and response to natural factors and human activities based on geographically and temporally weighted regression. *Global Ecology and Conservation*, 2023. 45: p. e02531.
15. Fagua, J.C. and R.D. Ramsey, Comparing the accuracy of MODIS data products for vegetation detection between two environmentally dissimilar ecoregions: The Chocó-Darien of South America and the Great Basin of North America. *GIScience & Remote Sensing*, 2019. 56(7): p. 1046-1064.
16. Xiong, C., et al., Improved global 250 m 8-day NDVI and EVI products from 2000–2021 using the LSTM model. *Scientific Data*, 2023. 10(1): p. 800.
17. Sen, P.K., Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 1968. 63(324): p. 1379-1389.
18. Mann, H.B., Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1945: p. 245-259.
19. Nicholson, S.E., M.L. Davenport, and A.R. Malo, A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA AVHRR. *Climatic change*, 1990. 17(2): p. 209-241.
20. Makhmudov, M.D. and D.S. Fazilova, “Assessing vegetation changes in response to climate variability: A case study of the Charvak region (1991–2020)”, *EPRA International Journal of Economic Growth and Environmental Issues*, 2025.

ДИНАМИКА И ФАЗОЙ-ЗАМОНИИ РАСТАНӢ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ КОФАРНИҲОН (2000–2024) ДАР АСОСИ НИШОНДИҲАНДАИ МОҲВОРАВИИ EVI

Ҳикматуллозода Н.Х.¹, Гулаҳмадзода А.А.^{1,*}, Иноятова К.Л.¹

¹*Институтуи масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон*
*Муаллифи масъул. E-mail: agulakhmadov@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар мақола натиҷаҳои таҳлили фазой-замони динамикаи растанипуши дар ҳавзаи дарӢи Кофарниҳон (қисмҳои марказӣ ва ҷанубии Тоҷикистон) дар давраи солҳои 2000–2024 бо истифода аз нишондиҳандаи Индекси такмилифтаи растани (Enhanced Vegetation Index – EVI) аз маълумоти моҳвораи MODIS пешниҳод гардидааст. Классификатсияи арзишҳои миёнаи мавсимии EVI ба панҷ синфи

маҳсулноки анҷом дода шуда, инчунин таҳлили тренди қаторҳои вақтӣ бо истифода аз усули Тейл–Сен ва меъёри Манн–Кендалл иҷро гардид. Харитаҳои мавзӯии паҳншавии EVI барои солҳои 2000, 2010, 2020 ва 2024, инчунин харитаи трендҳои фазоӣ ва графики динамикаи EVI-и миёна таҳия карда шуданд. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки дар солҳои 2000–2010 раванди назарраси «сабзшавӣ» (афзоиши EVI) мушоҳида гардид, қимати максималии EVI-и миёна ба соли 2010 рост меояд. Дар давраи 2010–2024 настрави ва барқароршавии навбатӣ ба қайд гирифта шудааст (қиматҳои ҳадди ақал дар солҳои 2008 ва 2023, бо барқароршавии қисман то соли 2024). Таҳлили фазоӣ хусусияти мозаикии тағйиротро ошкор намуд: дар баъзе қитъаҳо таназзули растаниши мушоҳида мешавад, дар ҳоле ки дар минтақаҳои дигар афзоиши устувори он ба қайд гирифта шудааст. Дар баҳши муҳокима таъсири омилҳои иқлимӣ (баландшавии ҳарорат, норасоии боришот ва хушксолӣ) ва таъсири факторияти инсон (афзоиши аҳоли, обёрӣ ва шаҳрсозӣ) ба равандҳои ошқоршуда баррасӣ мегардад. Дар маҷмӯъ, дар тӯли 25 соли охир тренди каме мусбати EVI мушоҳида мешавад, аммо ҳодисаҳои шадиди иқлимӣ боиси бадшавии муваққатии ҳолати растани гардид, ба вуҷуд омадани хатари таназзули маҳаллии экосистемаҳо дар сурати набудани чораҳои мутобиқшавиро нишон медиҳад.

Калидвожаҳо. санҷиши фосилавӣ (зондкунӣ фосилавӣ); MODIS; Индекси такмилёфтаи растани (EVI); растаниши; тағйирёбии иқлим; ҳавзаи дарёи Кофарниҳон

SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION IN THE KOFARNIHON RIVER BASIN (2000–2024) BASED ON THE EVI SATELLITE INDEX

Hikmatullozoda N.H.¹, Gulahmadzoda A.A.^{1,*}, Inoyatova K.L.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: agulakhmadov@gmail.com

Abstract. The article presents the results of a spatiotemporal analysis of vegetation dynamics in the Kofarnihon River basin (central and southern Tajikistan) for 2000–2024 using the Enhanced Vegetation Index (EVI) from the MODIS satellite. The average seasonal EVI is classified into five productivity classes, and a trend analysis of time series is performed using the Theil–Sen method and the Mann–Kendall test. Thematic maps of EVI distribution (for 2000, 2010, 2020, and 2024), a map of spatial trends, and a graph of the average EVI dynamics are constructed. The results show significant “greening” (increase in EVI) in 2000–2010 (maximum average EVI in 2010), followed by alternating declines and recovery in 2010–2024. (minimums in 2008 and 2023, partial recovery by 2024). Spatial analysis revealed a mosaic of trends: from vegetation degradation in some areas to sustainable growth in others. The discussion examines the influence of climatic factors (increasing temperatures, precipitation deficits, droughts) and anthropogenic impacts (population growth, irrigation, urbanization) on the identified trends. On average, a slight positive trend in EVI is observed over 25 years; extreme climate events lead to temporary deterioration of vegetation, indicating the risk of local ecosystem degradation without adaptation measures.

Keywords: Remote Sensing; MODIS; Enhanced Vegetation Index; Vegetation Cover; Climate Change; Kofarnihon River basin.

Маълумот оид ба муаллифон. Ҳикматуллозода Нурбиби – ходими илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992)209707007, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор – доктори илмҳои техника, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992)885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Иноятова Камола Лавзаровна – докторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел.: (+992)934447352, E-mail: kamola.ikl@gmail.com

Сведения об авторах. Хикматуллозода Нурбиби – научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992)209707007, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуджаббор – доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Тел.: (+992)885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Иноятова Камола Лавзаровна – докторанта Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992)934447352, E-mail: kamola.ikl@gmail.com

Information about the authors. Hikmatullozoda Nurbibi – researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992)209707007, E-mail: ray05.03.25@gmail.com, Gulahmadzoda Aminjon Abdujabbor – Doctor of the Technical Science, Director of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992)885471616. E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Inoyatova Kamola Lavzarovna - PhD student at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992)93 4447352, E-mail: kamola.ikl@gmail.com

УДК 504+547

ЧАНБАҲОИ ЭКОЛОГӢ ВА ФИЗИКИЮ-ХИМИЯВИИ СИНТЕЗИ БИОДИЗЕЛ ДАР АСОСИ ПАРТОВҲОИ Ӯ САНОАТИ ИСТЕҲСОЛИ РАВҒАНИ ПАХТА

Амирзода О.Ҳ.^{1,*}, Эмомзода Ф.Д.¹

¹Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
*Муаллифи масъул. E-mail: orif2000@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола чанбаҳои экологӣ ва физикию химиявии синтези биодизел дар асоси партовҳои саноати истеҳсоли равгани пахта оварда шудааст. Синтези биодизел дар асоси партовҳои саноати равганкашӣ, боқимондаи беравганкардашуда, ки он кунҷора номида мешавад, истифода гардидааст. Равагҳои таркиби кунҷора бо усули экстраксияи гарм ҷудо карда шудааст, ки ба ҳайси экстрагент этаноли 96,6% истифода бурда шудааст. Равагҳои аз кунҷора ҳосилшуда ҳамчун модификатор барои сузишвории муҳаррикҳои дарунсӯз, ки ба кам кардани партовҳои нақлиётӣ пешниҳод гардидааст.

Калидвожаҳо: ҳосиятҳои физикӣ, ҳосиятҳои химиявӣ, синтези биодизел, равагҳои пахта, партовҳои саноатӣ, сӯзишвории биологӣ, экстраксия, феноли госсипол, газҳои гулхонагӣ, экология.

Муқаддима

Солҳои охир мавзӯи синтези сӯзишвории алтернативӣ, арзёбии экологии истифодашавии онҳо ҳамчун энергиябарандаҳо ва таъсири манфии онҳо ба тағйирёбии глобалии иқлим яке аз мавзӯҳои мубрам ва саривақти мебошад, ки таваҷҷуҳи инсониятро ба худ ҷалб намудааст [5,6,8].

Таҳқиқотҳои гузаронидашудаи олимони ва муҳаққиқони соҳаи экология нишон додааст, ки сабаби асосии тағйирёбии глобалии иқлими сайёраи пеш аз ҳама ба зиёдшавии ғализати газҳои гулхонагӣ дар сатҳи атмосфера рабт дорад. Муайян карда шудааст, ки қисми зийеди моддаҳои таркибии газҳои гулхонагиро карбоҳидрогенҳои нафтӣ ва моддаҳои, ки маҳсули сӯзиши онҳо мебошанд, ташкил медиҳанд.

Бинобар ин сабаб, ҳосил намудани сӯзишвории алтернативии аз сарчашмаҳои барқароршаванда, арзёбии эко-

логии ҳосилкунӣ ва истифодабарии ин номгуи сӯзишворӣ, коркарди усулҳои самараноки кам намудани миқдори газҳои гулхонагӣ дар ҳавои атмосферӣ, ки ба он метавонад сузишвории аз лиҳози экологӣ афзалиятнок мусоидат намоянд яке аз мавзӯҳои мубрам, саривақти ва аҳамияти калони амалидоштаи илмҳои экологӣ баҳисоб меравад, ки мақолаи мазкур мавзӯи зеринро дар бар мегирад [4,5,9,14,15].

Барои ҳосил намудани биодизел аз партовҳои саноати равганкашӣ истеҳсоли пахта истифода намудем. Ба ҳайси ашёи хоми ибтидоӣ боқимондаи беравганкардашуда, ки он кунҷора номида мешавад истифода гардидааст. Аз таркиби кунҷора равагҳои боқимонда бо усули экстраксияи гарм ҷудо карда гирифта шуд. Дар иҷрои ин амал ба ҳайси экстрагент аз этаноли 96,6% истифода карда шуд.

Пас аз экстраксиякунони кунчораи аз равған чудокардашуда ҳамчун хӯроки серғизои аз сафеда бой дар парвариши чорвои хонагӣ истифода карда мешавад. Қайд намудан зарур аст, ки чунин коркард бевосита ба баландсифат гардидани кунчора мусоидат менамояд, зеро ҳангоми экстраксиякунонӣ бо этанол дар баробари чудо гардидани равған аз таркиби кунчора инчунин феноли госсиполи он низ чудо мегардад.

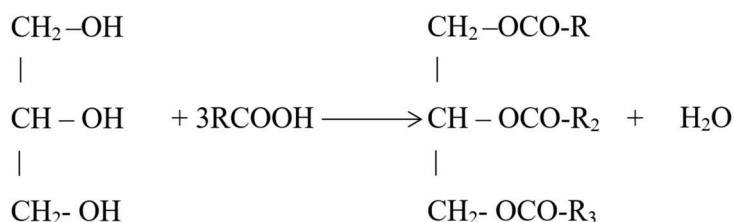
Тавре маълум аст госсипол моддаи захрнок мебошад, дар баробари ин чорвое, ки чунин намунаи кунчораи пахтаро истеъмол менамоянд безурёт мегарданд [1-3]. Экстраксияи гарм бо этанол ин мушкilotи экологиро бартараф менамояд.

Пас аз экстраксияи гарм намудани кунчораи пахта бо спирт, экстракти ҳосилгардида бо истифода аз ротори бугкунанда бугрони карда мешавад, ки дар на-

тича липидҳо аз этаноли истифодашуда чудо мегарданд. Пас аз бугрони намудан пай дар пай истифода намудани спирти этил имконпазир мегардад.

Борои ҳосил намудани сӯзишворию биодизел аз усулҳои синтези атсидолиз ва алкоғолиз истифода намудем. Борои тезонидани суръати реаксияҳои атсидолиз ва алкоғолиз аз як қатор катализаторҳо ба монанди H_2SO_4 , HCl , $AlCl_3$, $CaCl_2$, ZnO , PbO истифода карда шуд.

Борои ҳосил намудани триатсилглицерин дар асоси глицеридҳои аз таркиби партовҳои саноати равғанкашии истеҳсоли равғани пахта чудокардашуда реаксияи атсидолиз дар мувофиқа бо методи иҷроиши усул [1,10,17,18] амалӣ гардидааст. Ҳодисаи химиявии мазкурро дар мувофиқа ба реаксияи химиявии зерин мегузаранд [3,10,11,13].



Борои ҳосил намудани триатсилглицерин иҷрои ин амал 250 грамм боқимондаҳои равғани пахтаи чудокардашударо дар колбаи конусшакли ғунҷоиши ҳаҷми 500 см³ ба болои он 52 г. кислотаи концентронидани атсетат илова намудем. Ба колбаи омоданамуда хунуккунаки баргарандаро васл карда онро дар ҳарорати +120 – 130°C муддати 5 соат коркарди термики кардем. Борои тезонидани реаксия аз реактивҳои $AlCl_3$, $CaCl_2$, ZnO ва PbO , ки аз ҷиҳати химиявӣ тоза ҳисобида шудаанд, истифода карда шудааст [3,17,18].

Мақсади таҳқиқот омӯзиши ҷанбаҳои экологӣ ва физикию химиявии синтези биодизел дар асоси партовҳои саноати равғани пахта ва арзёбии имконияти истифодаи он ҳамчун сӯзишворию алтер-

нативӣ борои коҳиш додани партовҳои газҳои гулхонагӣ мебошад.

Вазифаҳо ва усулҳои таҳқиқ аз чудо намудани равған аз кунчора бо усули экстраксияи гарм бо этанол, гузаронидани синтези биодизел бо усулҳои атсидолиз ва алкоғолиз бо истифодаи катализаторҳо, инчунин истифодаи усулҳои таҳлили физикию химиявӣ ва хроматографӣ борои муайян намудани таркиб, тозагӣ ва самаранокии маҳсул иборат мебошанд.

Натиҷаҳои таҳқиқ

Натиҷаҳои таҳқиқи ҷанбаҳои физикию химиявии синтези сӯзишворию алтернативии биологӣ биодизел нишон дод, ки глицеролҳои таркиби липидҳои аз таркиби кунҷолаи пахта истифодагардида, ки дар таркиби молекулавиашон кислотаҳои калонмолекулаи карбониро дар

шакли эфирҳои мураккаби глицериниро доранд аз ҳолати эфирӣ ба ҳолати озод мегузаранд.

Дар ин раванд кислотаи атсетати концентронида бошад бо глицерини ҳосилгардида таъсир намуда дар натиҷа ба эфири триатсилглитсерин мубаддал мегардад.

Бо мақсади омузиши ҷанбаҳои экологӣ ва физикию химиявии ин раванд дар муддати ҳар 30 дақиқа миқдори моддаҳои ба реаксия дохилшаванда ва миқдори маҳсули ҳосилгардида муайян карда шуд. Маҳсули реаксия аз таркиби омехтаи реаксионӣ пас аз бӯғронӣ дар дастгоҳи

ротори бухоркунанда ҷудо карда гирифта мешавад. Идентификатсияи тратсилглитсерин дар мувофиқа бо усулҳои маълум ва маълумоти адабиёт гузаронида шудааст [1,4,9].

Тозагии моддаи синтезшуда бо истифода аз усули хроматографияи маҳинқабат муайян карда шудааст. Таҳлили хроматографияи маҳинқабат бо истифода аз пластинкаҳои хроматографияи Мерс (истехсоли Олмон) дар системаҳои метанол: кислотаи атсетат : амиак (5 : 2 : 0,1), спирти метил : об (2:1) гузаронида шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқ дар ҷадвали 1 пешниҳод гардидааст.

Ҷадвали 1. Таъсири каталитикии $AlCl_3$, $CaCl_2$, ZnO , PbO ба баромади маҳсули реаксияи атсидолиз.

Модаҳои реаксионӣ	Ҳосилшавии триатсилглитсерин дар раванди синтез (100 0С/дақ)								
	30	60	90	120	150	180	200	230	260
A	8,14	12,86	14,42	27,60	31,45	34,05	38,69	51,4	51,6
B	9,63	11,52	13,69	25,71	29,68	33,40	36,70	49,71	49,70
C	5,45	7,14	9,05	17,30	23,71	28,05	31,33	35,95	40,00
D	5,40	6,33	8,61	15,88	22,14	27,11	30,80	34,33	34,30

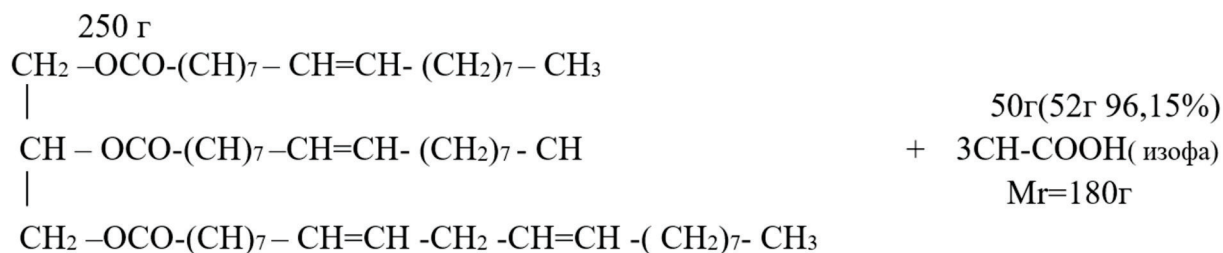
Эзоҳ: А- (глицеролҳо (250 г) + $CH_3 - COOH$ (52 г) + $AlCl_3$ (5 г) + Q (60-3200 С)); В- (глицеролҳо (250 г) + $CH_3 - COOH$ (52 г) + $CaCl_2$ (5г) + Q (60-3200 С)); С- (глицеролҳо (250 г) + $CH_3 - COOH$ (52 г) + ZnO (5г) + Q (60-3200 С)); D- (глицеролҳо (250 г) + $CH_3 - COOH$ (52 г) + PbO (5г) + Q (60-3200 С)).

Чи тавре, ки аз натиҷаҳои таҳқиқи таъсири каталитикии $AlCl_3$, $CaCl_2$, ZnO , PbO ба баромади маҳсули реаксияи атсидолиз, ки дар ҷадвали 1 пешниҳод гардидааст, катализаторҳои интихобгардида ба суръати гузариши реаксия ва маҳсулнокии он дар гармии 1000С яқзал таъсир намерасонад. Таъсири яқхела надоштани ин катализаторҳо дар синтези эфирҳои мураккаб дар адабиёти соҳавӣ низ дарҷ гардидааст [7,9].

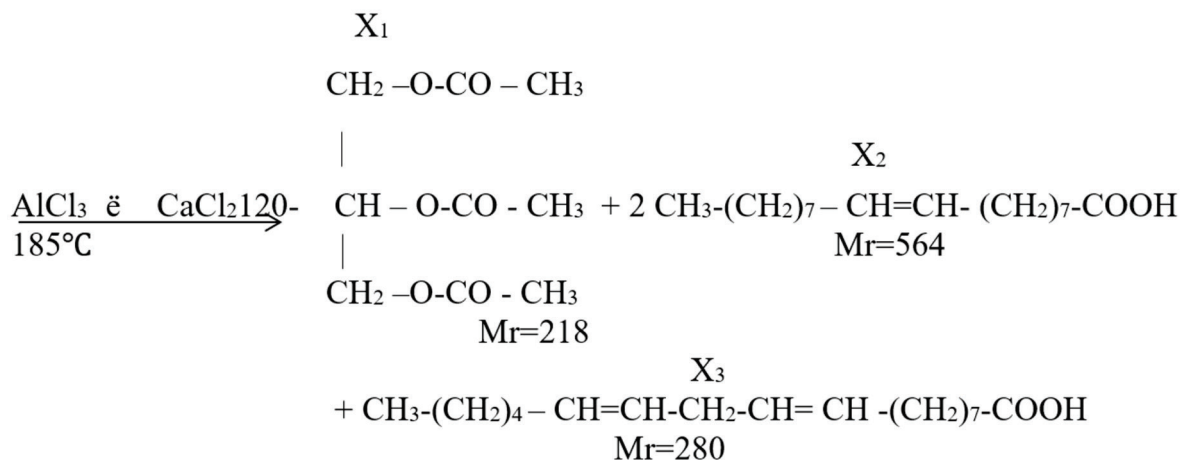
Натиҷаҳои омузиши ҷанбаҳои физикию химиявии синтез муайян намуд, ки маҳсулнокии максималӣ дар 60 дақиқа аввали синтез ба амал меояд ва минбаъд баромади эфири синтезшудаи триатсилглитсерин оҳиста-оҳиста кам мегардад.

Бо истифода аз натиҷаҳои ба дастовардашуда барои муайян намудани маҳсулнокии реаксияи атсидолиз, нисбат ба назария аз муодилаи химиявии зерин истифода карда шуд [2,9,16].

Пас аз навиштани муодилаи химиявии таъсири мутақобилаи байни глицеролҳои таркиби липидҳои кунҷораи пахта до кислотаи атсетати концентронида, ки маҳсули он триатсилглитсерин ва кислотаҳои калонмолекулаи ҷарбӣ мебошад, аз рӯи массаи глицеролҳои гирифташуда имконияти ҳосилшавии сӯзишвории алтернативии биодизел (триатсилглицерин), кислотаҳои калонмолекулаи ҷарбии олеинат ва линолат, ки шартан бо X1, X2 ва X3 мувофиқан ишорат гардидаанд, бо усули математикии таносуб муайян карда шуд.



Mr= 882г



Пас аз навиштани муодилаи химиявӣ таъсири мутақобилаи байни глицеролҳои таркиби липидҳои кунҷораи пахта до кислотаи атсетати концентронида, ки маҳсули он триатсилглицерин ва кислотаҳои калонмолекулаи чарбӣ мебошад, аз рӯйи массаи глицеролҳои гирифташуда имко-

нияти ҳосилшавии сӯзишвории алтернативии биодизел (триатсилглицерин), кислотаҳои калонмолекулаи чарбии олеинат ва линолат, ки шартан бо X₁, X₂ ва X₃ мувофиқан ишорат гардидаанд, бо усули математикии таносуб муайян карда шуд.

882г — 218г		$X_1 = \frac{250 \text{г} \cdot 218 \text{г}}{882 \text{г}} = 61,791 \text{г}$
250г — Xг		
882г — 564г		$X_2 = \frac{250 \text{г} \cdot 564 \text{г}}{882 \text{г}} = 159,864 \text{г}$
250г — Xг		
882г — 280г		$X_3 = \frac{250 \text{г} \cdot 280 \text{г}}{882 \text{г}} = 69,841 \text{г}$
250г — Xг		

Чи тавре, ки дар чадвали 1 ва муодилаи химиявӣ пешниҳодгардида нишон дода шудааст дар синтези триатсилглицерин, ки бо усули атсидолиз амали карда

мешавад, барои ҳосил намудани ин эфири мураккаб 52г кислотаи концентронидаи атсетати 96,15% гирифта шудааст.

Бо усули таҳлили хроматографии газӣ муайян карда шуд, ки липидҳои аз таркиби кунҷораи пахта ҷудокардашуда дар таркибашон 57,3% кислотаи калонмолекулаи чарбии олеин, 23,89% кислотаи чарбии линолеатро доранд. Дар асоси муайян намудани ҳисоби маводҳои реаксияи синтези триатсилглицерин ошкор гардид, ки ҳиссаи массаи кислотаҳои карбонии боқимонда дар умум ба 24,81% баробар аст.

Ин натиҷаҳои таҳлили эксперименталиро ҳангоми ҳисоби маводҳо ба инобат гирифта дар раванди синтез ва муқоисаи маҳсулнокии реаксия нисбат ба назария дар синтези триатсилглицерин, триглицеридҳои таркибии липидҳои аз таркиби кунҷораи пахта ҷудокардашударо ҳамчун эфири муракаби глицериди монолинолдиолеинат қабул гардидааст.

Муайян карда шуд, ки дар миёни катализаторҳои истифодашуда $AlCl_3$ ва $CaCl_2$ дар ҳарорати 1000С таъсири каталитикии нисбатан зиёдтарро дар суръат ва маҳсулнокии реаксияи ҳосилшавии триатсилглицеринро доранд. Ошкор гардидааст, ки ZnO ва PbO , ки ба сифати катализаторҳо истифода гардидаанд, нисбат ба катализаторҳои $AlCl_3$ ва $CaCl_2$ нисбатан заифтар ба суръат ва маҳсулнокии реаксияи асидолиз таъсир мерасонанд. Муайян гардид, ки ҳарорат низ метавонад таъсири каталитикии катализаторҳои истифодагардидаро зиёд намояд [12].

Дар баробари ин инчунин нишондиҳандаҳои физикию химиявии биодизелӣ синтезшуда ва муқоиса бо сузишвории нафтии дизелӣ таҳқиқ карда шуд, ки натиҷаҳои он дар ҷадвали 2 нишон дода шудааст.

Ҷадвали 2. Нишондиҳандаҳои физикию химиявии биодизелӣ дар асоси липидҳои таркиби таркибидонаки ангур синтезшуда ва муқоиса бо сузишвории нафтии дизелӣ.

Нишондиҳандаҳои муайяншуда	Нишондиҳандаҳои физикию химиявӣ		
	Нишондиҳандаи стандартӣ мувофиқи талаботи «DIN EN - 14214»	Сузишвории дизели навъи зимистона (ГОСТ 305-82)	Биодизели дар асоси липидҳои таркиби донҳои ангур синтезшуда
Адади сетанӣ	На камтар аз 51	На амтар аз 45	45,510
Зичӣ дар ҳарорати 15оС, г/см ³	0,86-0,90	0,80-0,85	0,895
Зичӣ дар ҳарорати 20оС, г/см ³	0,72-0,87	0,84-0,86	0,903
Часпакӣ дар ҳарорати 40оС, мм/с-1	3,5-4,3	1,8-5,0	5,600
Часпакӣ дар ҳарорати 20оС, мм/с-1	4-5	1,8-5,0	7,880
Таркиби фраксионӣ ос –	-	280	265
Ибтидо ва мобайни (50%)		340	319
Ва интиҳои (96%) - и ҷудошавӣ		360	336
Ҳарорати лахтабандӣ(тлахт. Ос)	На зиёда аз -20оС	Аз -10 то -35	-29
Ҳарорати алангагирӣ (таланга. Ос)	На камтар аз 120оС	На камтар аз 40	165
Микдори сулфур, мг/кг-1	На зиёда аз 10	На зиёда аз 2000 (0,2%)	6,80
Микдори об, мг/кг-1	На зиёда аз 500	Мавҷуд нест	265

Хулосаҳо

1. Тавре аз натиҷаҳои бадастовардашуда бармеояд айён аст биодизели синтезшуда ба ҳамаи номгӯи талаботҳои муқарарнамудаи стандарти аврупоии «DIN EN - 14214» мутобиқ мебошад.

2. Барои муайян намудани афзалиятҳои экологии биодизели синтезшуда ҳисоби маводҳо дар реаксияи сӯзиши сӯзишвории дизелии нафтӣ гузаронида шуд. Дар натиҷа муайян гардид, ки биодизел ҳангоми сузиш нисбат ба сӯзишвории нафтӣ дизели партовҳои газиро азозиро хело кам ҳосил менамояд.

3. Ҳамин тариқ тавасути истифода усулҳои гуногуни таҳлил ҷабҳаҳои экологӣ ва физикию химиявии ҳосил намудани биодизел дар асоси партовҳои саноати равғанкашии истеҳсоли равғани пахта таҳқиқ карда шуд ва муайян гардид, ки биодизели синтезшуда метавонад ҳамчун модификатори сузишвории дизелӣ барои коҳиш додани миқдори газҳои гулҳонагӣ ҳангоми сӯзиш, тадбиқи амалии худро ёбад.

Адабиёт

1. Синтез триацилглицерина на основе растительных масел и перспективы их применения как альтернативных топлив/Иброгимов Д.Э. Махмудова Т.М., Иброгимов И.Э., Зайниддинов Т.Н. // Вестник Таджикского национального университета (серия естественных наук) №1, 2021. – Душанбе: ТНУ, 2021. -С.221-226. ISSN-2413-452X.
2. Перспективы применения некоторых технических растительных масел флоры Таджикистана для отечественного производства /Иброгимов Д.Э. Маджидов Т.С., Махмудова Т.М., Зокирова М.А // Наука и инновация №4, 2020. - Душанбе: ТНУ, - С.110-114 ISSN-2312-3648.
3. Физико-химические аспекты технологии получения биодизеля на основе масла семян *Eruca sativa* Mill/ Иброгимов Д.Э., Махмудова Т.М. и др.// Вестник Таджикского национального университета №3 2019. Душанбе: ТНУ, - С.202-208 ISSN-2413-452X.
4. Экологические аспекты преспективы применения альтернативных топлив в транспортном секторе Республики Таджикистан/Иброгимов Д.Э. Фохаков А.С., Махмудова Т.М. // Вестник Таджикского национального университе-

- та №2, 2019.- Душанбе: ТНУ, 2019. - С. 86 – 93 ISSN-2413-452X.
5. Чебаненко Б. Б., Майсюк Е. П. Оценка экологической опасности при использовании органических топлив // Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию: Труды международной научно-практической конференции. — Т. 1. — Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. — С. 219—227.
6. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990—2010 гг. / Рос. Фед. — М., 2012.
7. Методические указания и руководство по количественному определению объемов выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации. — Утв. приказом Минприроды России от 30 июня 2015 г. — URL: <http://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyykh-gazov>.
8. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 38-2017) / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии; Бюро НДТ. — М., 2017. — 28
9. Таъсири партовҳои газӣ ба биохимияи ҳосилшавии кислотаҳои карбонӣ дар таркиби растаниҳо Махмудова Т.М., Иброгимов Ф.Д. / Илм ва фановарӣ №2, 2022 Душанбе: ДМТ, 2022.- С.144-149.ISSN-2312-3648.
10. Муайян намудани нишондихандаҳои физикии равғанҳои глицеридӣ Махмудова Т.М., Иброгимов Ф.Д. / Илм ва фановарӣ №4, 2022 Душанбе: ДМТ, 2022.- С.231-237. ISSN-2312-3648.
11. Омӯзиши нишондихандаҳои физикию химиявии равғанҳои эфирии BUNIMUM PERSICUM ва PELARGONIUM ROSEUM WILLD Иброгимов Ф.Д., Махмудова Т.М., Абдурахмонзода А.Х., Махмудов А.Ш. //Илм ва фановарӣ №4, 2023 . - Душанбе: ДМТ, 2023.- С.205-209. УДК 547:541+581.19.,ISSN-2312-3648.
12. Беҳгардонии сифати равғанҳои таҳқиқшаванда бо истифода аз антиоксидантҳо Иброгимов Ф.Д., Махмудова Т.М., Абдурахмонзода А.Х., Махмудов А.Ш. //Илм ва фановарӣ №4, 2023 . - Душанбе: ДМТ, 2023.- С.205-209. УДК 547:541+581.19.,ISSN-2312-3648.
13. Омӯзиши таркиби химиявии липидҳои ядроӣ тухми навҳои маҳаллии пахта бо усули хроматографияи газӣ Иброгимов Ф.Д., Бандаев С.Г., Махмудова Т.М., Муродов А.А., /Па-

- ёми донишгоҳи миллии Тоҷикистон (бахши илмҳои табиӣ) №1, 2023 . - Душанбе: ДМТ, 2023.- С.194-204.ISSN-2413-452X.
14. Таъсири партовҳои КВД «ШАТ» ба динамикаи биохимиявии ҳосилшавии макро – ва микроэлементҳои таркиби растаниҳои минтақа Иброгимов Ф.Д., Гулаҳмадов Ҳ.Ш., Маҳмудов А.Ш., Маҳмудова Т.М., / Илм ва фановарӣ №1, 2023 . - Душанбе: ДМТ, 2023.- С.242-248.ISSN-2312-3648.
 15. Арзёбии экологии истифодашавии биодизел дар мукоиса бо сузишвориҳои нафтии дизелӣ О.Х. Амирзода., Ф.Д. Иброгимов., М.Р. Саидзода Паёми политехникӣ. Бахши Техника ва Чома. № 4 (8) 2024 УДК 934.81.19.620.9.
 16. Экологическая оценка биодизеля в сравнении с нефтяными дизельными топливами environmental assessment of biodiesel compared to petroleum diesel fuels Иброхимзода Д.Э. Ибрагимов Ф.Д. Саидзода М.Р. Sciences of Europe # 168, (2025). ISSN 3162-2364
 17. Кондрашева Н.К., Еремеева А.М. Получение биодизельного топлива из растительного сырья // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 248-256. DOI: 10.31897/PMI.2022.15. А.Ю. Кучкина, Н.Н. Сушик. Источники сырья, методы и перспективы получения
 18. С.М. Каленская, А.В.Юник, В.П.Каленский, В.З.Макарявичене, Э.А.Сенджикене. Альтернативное растительное сырье для производства биодизеля. // Известия ТСХА, № 6 (2013) стр. 31-39.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИНТЕЗА БИОДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ХЛОПКОВОГО МАСЛА

Амирзода О.Х.^{1,*}, Эмомзода Ф.Д.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии наук Таджикистана
*Автор корреспондент. E-mail: orif2000@mail.ru

Аннотация. В статье представлены сведения об экологических и физико-химических аспектах синтеза биодизеля на основе отходов промышленности по производству хлопкового масла. Биотопливо, получаемое из возобновляемых биологических ресурсов, является перспективным способом снижения экологической нагрузки. В отличие от традиционных ископаемых видов топлива, биотопливо выделяет значительно меньше парниковых газов и повышает свою привлекательность с точки зрения устойчивого развития. Технология производства биотоплива развивается, становясь более эффективной и пригодной для широкого применения в транспортных средствах.

Ключевые слова: физические свойства, химические свойства, синтез биодизеля, хлопковое масло, промышленные отходы, биотопливо, экстракция, фенол госсипола, парниковые газы, экология.

ECOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL ASPECTS OF BIODIESEL SYNTHESIS BASED ON WASTE FROM THE COTTONSEED OIL INDUSTRY

Amirzoda O.Kh.^{1,*}, Emomzoda F.D.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
*Corresponding-author. E-mail: orif2000@mail.ru

Abstract. This article presents an overview on the environmental and physicochemical aspects of biodiesel synthesis based on waste from the cottonseed oil industry. Biofuels derived from renewable biological resources offer a promising way to reduce environmental impacts. Unlike conventional fossil fuels, biofuels emit significantly fewer greenhouse gases, making them more attractive from the perspective of sustainable development. Biofuel production technology is continuously evolving, becoming more efficient and better suited for widespread use in vehicles.

Keywords: physical properties, chemical properties, biodiesel synthesis, cottonseed oil, industrial waste, biofuel, extraction, gossypol phenol, greenhouse gases, ecology.

Маълумот дар бораи муаллифон: Амирзода Ориф Ҳамид – д.и.т дотсенти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ Тел: (+992) 937-28-72-72, E-mail: orif2000@mail.ru; Эмомзода Фирӯз Дилшод – докторанти PhD-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, Тел: (+992)903-30-33-34, E-mail: fs3503994gmail.com.

Сведения об авторах: Амирзода Ориф Ҳамид - доктор технических наук, доцент, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, тел.: (+992) 937287272 E-mail: orif2000@mail.ru; Эмомзода Фирӯз Дилшод – докторант PhD Институти водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, Тел: (+992)903-30-33-34, E-mail: fs3503994gmail.com.

Information about the authors: Amirzoda Orif Hamid - doctor of technical sciences, is a Senior Research Fellow at the Laboratory of Water Quality and Ecology, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992)9 37287272, E-mail: orif2000@mail.ru; Emomzoda Firuz Dilshod - PhD doctoral student at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Tel.: (+992) 903-30-33-34, E-mail: fs3503994gmail.com.

УДК 669.21

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННОЕ БЕЗЦИАНИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА СЕРОСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТАМИ (ТИОСУЛЬФАТ–ТИОМОЧЕВИНА–АЦЕТИЛТИОМОЧЕВИНА)

Холов Х.И.^{1,2,*}, Замирова Д.И.¹

¹Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана

²Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни

*Автор-корреспондент. E-mail: kholmahmad90@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена экологически ориентированным безцианидным технологиям выщелачивания золота серосодержащими реагентами – тиосульфатом, тиомочевинной и ацетилтиомочевинной. Обоснованы причины поиска заменителей NaCN из-за токсичности цианидных растворов и риска выделения HCN , приводящих к загрязнению вод и гибели биоты. Сопоставлены механизмы растворения золота, диапазоны pH, роль окислителей и каталитических систем $\text{Cu-NH}_3/\text{O}_2$ и Fe^{3+} . Рассмотрены факторы перерасхода реагентов, образование тионатов и эффект *preg-robbing*. Показаны методы извлечения золота из растворов (ионообменные смолы, электроосаждение, цементация) и потенциал замкнутого водооборота. Сделан вывод о снижении экологических рисков и соответствии принципам ESG. Отдельно отмечены требования к очистке стоков от аммиака и меди, а также перспективы переработки хвостов в горных районах.

Ключевые слова: золото, безцианидное выщелачивание, тиосульфат, тиомочевина, ацетилтиомочевина, экологическая безопасность, ESG, ионо-обменные смолы, замкнутый водооборот, горные экосистемы.

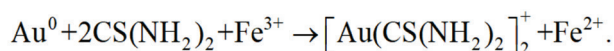
Введение

Цианидное выщелачивание золота на протяжении более ста лет оставалось главным гидрометаллургическим методом извлечения драгоценного металла из руд, благодаря высокой эффективности, низкой стоимости и отработанности процесса. Впервые предложенное в конце XIX века Дж. МакАртуром, цианирование быстро стало промышленным стандартом [1]. Тем не менее экстремальная токсичность цианида натрия (NaCN) и образующегося при неправильном обра-

щении с растворами летучего газа HCN породила серьёзные экологические проблемы. История золотодобычи знает ряд крупных аварий, когда утечки цианистых растворов приводили к отравлению рек и гибели биоты на больших расстояниях (например, аварии на прииске Омай в Гайане в 1995 г. и в румынском БаияМаре в 2000 г.) [2]. Подобные инциденты вызвали общественный резонанс и привели к введению запретов на цианидные технологии в ряде стран. В горнодобывающей отрасли начался активный поиск менее

опасных реагентов для выщелачивания золота [1,2]. К настоящему времени исследовано много альтернативных систем – хлорные, бромные, йодные, тиоцианатные и др., однако наиболее перспективными с экологической и технологической точки зрения считаются серосодержащие выщелачивающие реагенты [3]. В их числе особое внимание уделяется тиомочевине, тиосульфату и ацетилтиомочевине как основам «безцианидных» технологий извлечения золота.

Тиомочевинное выщелачивание золота. Тиомочевина (тиокарбамид, NH_2CSNH_2) способна растворять самородное золото в кислых растворах при наличии окислителя, образуя прочный комплекс золота(I). Анодный процесс можно представить упрощённым уравнением:



В присутствии подходящего окислителя (обычно сульфата трёхвалентного железа) растворение идёт быстро, и при оптимальных условиях в лабораторных опытах удавалось извлечь до 99 % золота всего за 10–15 минут выщелачивания [4]. Критически важны низкий pH (около 1–2 в среде H_2SO_4), окислительно-восстановительный потенциал порядка 150–250 мВ (задаётся соотношением $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$), достаточная концентрация тиомочевины (обычно 1 % раствора) и контроль времени контакта. Показано, что в сильно кислой и нейтральной среде тиомочевина термодинамически устойчива, однако в щелочных растворах она быстро разлагается [5,6]. Поэтому процесс проводится именно в диапазоне $\text{pH} = 1\text{--}2$ с тщательной регулировкой параметров.

Исследования по применению тиомочевины для извлечения золота имеют давнюю историю. Ещё в 1906 г. Мойр опубликовал работу о растворении сульфидного золота в растворе «тиокарбамида» (старое название тиомочевины), показав необходимость кислой среды и

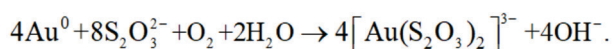
присутствия окислителей для протекания реакции. Однако в то время цианид уже доминировал, и открытия Мойра были забыты более чем на полвека. Лишь в 1940х годах советские учёные И. Н. Плаксин и М. А. Кожухова впервые предложили использовать тиомочевину для переработки упорных золотосурьмяных руд, выполнив пионерские опыты по растворению золота и серебра в кислых растворах этого реагента [7]. Последующее развитие темы пришлось на 1970–1980е годы: было установлено образование катионного комплекса $[\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)_2]^+$ и изучена кинетика растворения благородных металлов в присутствии Fe^{3+} и различных минераловсопутствующих (пирита FeS_2 , ковеллина CuS и др.) [1]. Ряд работ [2,7,8] показали, что тиомочевина способна эффективно выщелачивать золото из концентратов и упорных продуктов, где цианид малоприменим. Благодаря высокой скорости выщелачивания тиомочевину рассматривали как привлекательную альтернативу для упорных концентратов и огарков бактериального окисления, с перспективой расширения и на более бедные руды [9].

Практическое внедрение тиомочевинных процессов оказалось затруднено рядом факторов. В первую очередь, сам реагент дорог и расходуется в реакции: тиомочевина окисляется кислородом и ионами Fe^{3+} с образованием дитиобисформамидина и других продуктов, что повышает себестоимость. Во-вторых, кислый характер среды ($\text{pH}=1$) ставит особые требования к материалам оборудования (коррозия) и технике безопасности. Хотя острая токсичность тиомочевины значительно ниже, чем у цианида, она классифицируется как вероятный канцероген, требующий ограничивать контакт персонала с растворами [7]. Кроме того, процессы восстановления золота из тиомочевинных растворов не так отработаны, как классическая сорбция на активированном

угле из цианистого раствора. Тем не менее возможны различные схемы: адсорбция Au(I) тиомочевинного комплекса на угле с последующей элюцией специальными растворами [1], цементация золота порошками Zn или Fe, электроосаждение из тиомочевинного электролита и др. В последние десятилетия проведено множество лабораторных испытаний тиомочевинны на упорном сырье. Например, в Таджикистане разработана технология тиомочевинного выщелачивания золота и серебра из флотационных концентратов месторождения Чоре [10]. В испытаниях на концентрате этой упорной золотомышьяковистой руды удалось достигнуть высоких степеней извлечения Au и Ag, однако отмечено значительное потребление реагента и необходимость кислотного довысесаживания металлов из раствора. В целом мировой опыт показывает, что несмотря на техническую осуществимость и более мягкий характер по сравнению с цианидом, тиомочевинный метод пока не получил широкого промышленного распространения. Причины связаны с высокой стоимостью реагента, его токсикологическими ограничениями, а также сложностями интеграции в существующие схемы (например, необходимость переработки кислых отходов и регенерации непрореагировавшей тиомочевинны). Поэтому интерес к тиомочевине как к альтернативе несколько снизился после 1990х годов [1]. Тем не менее этот реагент продолжает привлекать внимание исследователей как элемент “зеленой” химии: он разлагается до сравнительно безвредных соединений (например, мочевины) и в контролируемых условиях представляет куда меньшую угрозу экологии, чем цианиды.

Тиосульфатное выщелачивание золота. Системы на основе тиосульфата аммония (обычно с добавкой меди) признаны одним из наиболее перспективных направлений безцианидной гидрометал-

лургии золота [11]. По данным Холова и др. [11] тиосульфат-ион ($S_2O_3^{2-}$) в щелочной или нейтральной среде образует с золотом устойчивый анионный комплекс $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$, что обеспечивает перевод металла в раствор. При использовании кислорода воздуха в качестве окислителя, процесс можно представить суммарной реакцией:



На практике чаще используют каталитическую систему медь(II)–аммиак: ион Cu^{2+} окисляет золото до Au^+ , сам восстанавливаясь до Cu^+ , а кислород регенерирует Cu^{2+} . Процесс эффективно протекает при pH порядка 9–10 в присутствии аммиака (для стабилизации Cu^{2+}/Cu^+ в растворе) и при температурах около 30–50°C. Сформировавшийся комплекс $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$ высокоселективен: в отличие от цианида, тиосульфат не растворяет многие сопутствующие сульфиды, а также мало реагирует с железом, что снижает потери реагента на побочные реакции [11]. Растворы тиосульфата гораздо менее агрессивны к оборудованию, чем цианистые или кислые тиомочевинные пульпы, поскольку имеют почти нейтральный pH и не содержат сильных окислителей. По совокупности характеристик (нетоксичность, селективность, низкая коррозионная активность, невысокая стоимость и доступность реагентов) именно тиосульфат аммония часто называют лучшим кандидатом на замену цианида в промышленных масштабах.

Экологические преимущества тиосульфатной технологии очевидны. Тиосульфат натрия и аммония широко применяются в сельском хозяйстве и медицине, нетоксичны для человека и большинства животных; рабочие растворы не содержат летучих ядов [12]. В случае утечек они не приводят к мгновенной гибели биоты, как это происходит с цианидами. Независимые исследования CSIRO (Австралия)

показали, что переход на тиосульфат при выщелачивании золотосодержащих руд позволяет существенно снизить экологические риски: отсутствует угроза отравления водоёмов и грунтов остриядовитыми цианидами. Основные опасности при использовании тиосульфатов связаны лишь с сопутствующими компонентами: так, аммиак токсичен для рыб и при сбросе в водоёмы способен вызывать эвтрофикацию (цветение воды), а ионы Cu^{2+} в стоках являются загрязнителем, требующим очистки [5]. Эти факторы, однако, относятся к категории регулируемых рисков, то есть могут быть минимизированы применением стандартных мер: нейтрализацией остатков аммиака, улавливанием ионов меди из оборотной воды и т. п. В отличие от цианидных отходов, растворы тиосульфата не нуждаются в сложной детоксикации – в процессе эксплуатации они могут полностью рециркулировать в замкнутом цикле без сброса, а при необходимости легко нейтрализуются известью с образованием гипса и элементарной серы.

При всех плюсах тиосульфатной системы, её внедрение до недавнего времени сдерживалось технологическими трудностями. Кинетика растворения золота в тиосульфате, хотя и выше, чем при цианировании, всё же требует более сложного управления: необходимо поддерживать оптимальные концентрации $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Cu^{2+} , NH_3 и O_2 , не допуская разложения тиосульфата до сульфата и полиотионатов (тионатов). Последние образуются при окислении $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ и «связаны» с золотом, но сами не участвуют в реакции, приводя к перерасходу реагента. Например, добавка сульфата меди заметно ускоряет выщелачивание, но одновременно увеличивает расход тиосульфата за счёт образования тетраионата и других побочных продуктов [13]. Если цианидный процесс относительно прост в управлении, то тиосульфатный считается более «чувстви-

тельным» к составу руды и параметрам. Так, присутствие активного углерода (углистых сланцев) или природных смол в руде приводит к сорбции комплекса $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ («pregrobbing» эффект), а сильные восстановители (например, FeS в рудах) могут восстанавливать Au(I) обратно до металла, снижая извлечение. Эти проблемы характерны и для цианида, но для тиосульфата вопрос усугубляется тем, что нельзя применять сильные предварительные окислители (например, гипохлорит), иначе сам тиосульфат разложится. Поэтому для упорных сульфидных руд тиосульфатное выщелачивание часто комбинируют с предварительным биологическим или термическим окислением концентратов. В частности, первый в мире полноразмерный завод по безцианидному выщелачиванию золота, запущенный в 2014 г. на руднике Goldstrike (США), реализует именно связку: бактерицидное окисление концентрата с последующим выщелачиванием золота в аммиачнотиосульфатном растворе [1]. Этот пример доказал применимость тиосульфата в промышленности: на месторождении с упорной двойной рудой (сульфиды + углерод) достигнуты показатели извлечения золота, сопоставимые с цианированием, при исключении цианидов из процесса. В данной технологии применена схема сорбции золота на ионообменной смоле (RIP), так как традиционный активированный уголь плохо извлекает комплекс Au–тиосульфат из-за его отрицательного заряда. После сорбции золото десорбируют из смолы и выделяют электроосаждением или цементацией, а раствор тиосульфата регенерируют и возвращают в цикл.

Ацетилтиомочевина как выщелачивающий агент. В стремлении улучшить свойства тиомочевины исследователи обратили внимание на её органические производные. Одно из перспективных соединений – ацетилтиомочевина (аце-

тилтиокарбамид), отличающаяся от исходного реагента наличием ацетильной группы (CH_3CO) в молекуле. Ацетилтиомочевина, как и тиомочевина, содержит сульфогруппу и способна образовывать комплексные соединения с Au(I) . Предполагалось, что введение ацетильного радикала может повысить стабильность реагента и селективность растворения золота, одновременно снизив токсичность. Исследования ацетилтиомочевинного выщелачивания проводились, в частности, в Таджикистане на упорных золотосодержащих хвостах обогащения [14]. Показано, что золото успешно выщелачивается ацетилтиомочевинной в слабокислой и нейтральной среде ($\text{pH} = 5,5\text{--}6,5$) при добавках Fe^{3+} как окислителя – в этих условиях формируется растворимый комплекс $\text{Au}(\text{CH}_3\text{CONHCSNH}_2)_2^+$ [7]. Типичная экспериментальная схема: суспензию хвостов в воде ($\text{T:Ж} = 1:2$) обрабатывают ацетилтиомочевинной (концентрация порядка 10 г/л) с добавлением небольшого количества H_2SO_4 и сульфата Fe^{3+} , перемешивая при комнатной температуре [9]. Растворение идёт относительно медленно: за 6–8 часов достигается извлечение 20 % золота из упорных хвостов, тогда как цианирование того же материала практически не извлекает золото из-за его связности с сульфидами. Существенный прирост извлечения достигается при сочетании ацетилтиомочевинного выщелачивания с окислительным обжигом. Термическая обработка хвостов при 400–600 °С позволяет вскрыть тонкодисперсное «невидимое» золото в пирите и арсенопирите; последующее выщелачивание ацетилтиомочевинной даёт значительно более высокие результаты. Так, при обжиге при 600 °С в течение 2 часов степень извлечения золота возросла до 45 %. Дополнительное кислотное выщелачивание обожжённого материала (промывка горячей разбавленной серной кислотой) ещё более повышает доступность благородного металла. В

экспериментах достигнуто суммарное извлечение Au 86 % из упорных хвостов за 8 часов ацетилтиомочевинного выщелачивания после высокотемпературного обжига и кислотной обработки. Это в разы выше, чем извлечение того же материала цианидом (не превышающее 10–20 % из-за присутствия сорбционноактивного углерода и сульфидных матриц). Таким образом, применение ацетилтиомочевины открыло возможность более полно извлекать золото из отходов обогащения, ранее считавшихся неперерабатываемыми цианидным методом.

Механизм действия ацетилтиомочевины схож с тиомочевинной: ключевую роль играет окислитель Fe^{3+} , переводящий золото в одновалентное состояние, и образование комплекса Au(I) с серосодержащим лигандом. Однако важным отличием является оптимальная область pH . Если для тиомочевины требуются сильно кислые условия, то ацетилтиомочевина активна и при более высоком pH (около 5–6), что упрощает обращение с растворами и снижает коррозию аппаратуры. В нейтральной среде этот реагент также сравнительно устойчив, медленнее разлагается, чем тиомочевина. Можно отметить и потенциальные экологические плюсы: ацетилтиомочевина не содержит прямых C-S связей вне комплексирования, а её продукты гидролиза менее токсичны. Доступная информация указывает, что острая токсичность этого соединения ниже, чем у цианида, и оно не летучее, то есть отсутствует риск образования опасных газов. Конечно, ацетилтиомочевину нельзя назвать полностью «зелёным» реагентом – она является органическим серосодержащим соединением, требующим таких же мер предосторожности, как работа с тиомочевинной (использование средств защиты, контроль стоков). Тем не менее экологическая ориентированность данной технологии проявляется в существенном уменьшении общего ток-

сикологического воздействия на окружающую среду по сравнению с цианидным циклом. Растворы ацетилтиомочевины после выщелачивания могут подвергаться регенерации и повторному использованию; предлагаются замкнутые схемы с осаждением золота (например, цинковым порошком) и очищением раствора для возврата в процесс. В частности, в диссертационных исследованиях разработана принципиальная схема переработки золотосодержащих хвостов: собственно выщелачивание ацетилтиомочевинной в закрытых аппаратах (что возможно благодаря отсутствию необходимости аэрации и позволяет предотвратить любые выбросы), цементация золота из раствора в сплав Доре, последующая реактивация выработанного раствора и его полный внутренний цикл. Отмечается, что отсутствие газообразных реагентов позволяет осуществлять процесс в герметичном режиме, практически исключая выбросы в атмосферу. Эти свойства делают ацетилтиомочевину привлекательной для применения на месторождениях в условиях уязвимой экологии (горные районы, сейсмоопасные зоны), где недопустимы токсичные отходы и утечки.

Методы исследования

Исследование носит обзорный характер и основано на систематизации опубликованных научных данных по экологическим аспектам и современным безцианидным технологиям выщелачивания золота. В работе применены сравнительно-аналитические подходы с использованием результатов лабораторных и промышленных испытаний, представленных в научных статьях, отчетах, патентах и монографиях. Выполнен критический анализ экологической безопасности и технологической эффективности цианидного и альтернативных (тиосульфатного, тиомочевинного/ацетилтиомочевинного) процессов с учетом токсичности реагентов, характера и объема отходов, возмож-

ности очистки и регенерации растворов, а также требований к водообороту. При подготовке обзора использованы методы контентанализа, обобщения и сопоставления технологических параметров (рН, температура, расход реагентов, время выщелачивания), а также оценка факторов риска (выбросы, стоки, образование побочных соединений). Сформулированные выводы имеют обобщающий характер и могут служить основой для выбора экологически обоснованной и технологически рациональной схемы выщелачивания золота для руд различного минералогического типа.

Результаты

Сравнительная экологическая оценка и перспективы. Все рассмотренные серосодержащие выщелачивающие системы выгодно отличаются от традиционного цианидного метода в плане безопасности для окружающей среды. Хотя ни тиомочевина, ни тем более её производные не являются абсолютно безвредными, их токсичность на порядки ниже цианидов: отсутствует риск мгновенной смертельной опасности при случайном проливе или в случае аварии. Тиосульфат вообще не токсичен для человека и большинства животных; более того, он применяется как антидот при цианидных отравлениях. Тиомочевина и ацетилтиомочевина токсичны лишь при хроническом воздействии либо при попадании больших доз внутрь организма, что в условиях строгого производственного контроля исключено. Важный фактор – отсутствие газообразных ядов: цианид требует поддержания щелочного рН, иначе выделяется HCN, представляющий прямую угрозу жизни. В альтернативных методах никаких летучих высокотоксичных продуктов нет. Даже при сильном падении рН или нагревании растворов в худшем случае выделится углекислый газ (из разложения тиокарбамида), который не опасен. Таким образом, с точки зрения промышленной безопасности переход на

безцианидные реагенты существенно снижает риски для персонала и населения, проживающего вблизи золотоизвлекательных фабрик. Экологические преимущества выражаются также в снижении долговременного воздействия: цианистые хвостохранилища могут годами оставаться источником поступления цианидов и производных (цианатов, тиоцианатов) в грунтовые воды, тогда как тиосульфатные или тиомочевинные хвосты не содержат таких устойчивых загрязнителей. Более того, серосодержащие реагенты часто легче поддаются биодegradации: почвенные и водные микроорганизмы способны разрушать тиосульфаты и органические тиокарбамиды до простых соединений (сульфатов, аммония, диоксида углерода), особенно при разбавлении стоков в окружающей среде.

С современной точки зрения, внедрение экологически ориентированных технологий выщелачивания соответствует целям устойчивого развития и критериям ESG для горнодобывающих предприятий. Компании, следующие принципам ESG (Environmental, Social, Governance), стремятся минимизировать экологический след своей деятельности, заменяя опасные технологии более безопасными аналогами. Отказ от цианида в пользу тиосульфата или тиомочевины значительно сокращает вероятность экологической катастрофы и упрощает систему управления отходами. Например, отпадает необходимость дорогостоящей детоксикации цианидных стоков диоксидом серы и пероксидом водорода, постоянно требуемой на традиционных фабриках. Кроме того, использование нетоксичных или умеренно токсичных реагентов способствует лучшему восприятию проектов местным сообществом и регуляторами, снижает социальные риски. В странах с хрупкой окружающей средой, таких как Таджикистан, переход на безцианидное выщела-

чивание золота представляется особенно актуальным. Горные экосистемы Центральной Азии чрезвычайно чувствительны к техногенному воздействию, а инфраструктура для ликвидации последствий аварий ограничена. Поэтому применение тиосульфатных и тиомочевинных технологий может стать для таких стран ключом к развитию золотодобычи с минимизацией ущерба природе. В перспективе дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию расхода реагентов, совершенствование методов выделения золота из «новых» выщелачивающих растворов (например, разработку избирательных ионообменных смол) и комплексную оценку жизненного цикла таких технологий. Совокупность проведенных изысканий уже сейчас свидетельствует, что безцианидное выщелачивание золота тиосульфатом, тиомочевинной и ацетилтиомочевинной является не только технически осуществимым, но и более устойчивым с экологической точки зрения путем развития золотодобывающей промышленности. Каждая из этих альтернатив имеет свои преимущества и ограничения, однако при грамотном подборе условий они способны обеспечить высокий выход золота при значительно меньшем риске для окружающей среды. Именно поэтому во всём мире наблюдается устойчивая тенденция к внедрению подобных технологий там, где это возможно. Их применение отвечает вызовам современности – необходимости бережного отношения к природе и ответственности бизнеса перед обществом – и открывает новые возможности для освоения сырья, ранее недоступного для традиционных методов. В итоге экологически ориентированное безцианидное выщелачивание сулит двойную выгоду: сохранение природного баланса и получение ценных металлов с минимальным «экологическим долгом» для будущих поколений.

Выводы

В результате анализа экологически ориентированных безцианидных технологий показано, что применение серосодержащих реагентов (тиосульфата, тиомочевины и ацетилтиомочевины) позволяет существенно снизить экологические риски по сравнению с цианированием за счёт исключения высокотоксичных цианидных растворов и опасности выделения HCN, а также за счёт возможности организации замкнутого водооборота и эффективного извлечения золота из растворов (ионный обмен, электроосаждение, цементация). При этом установлено, что для практического внедрения ключевыми условиями остаются оптимизация расхода реагентов (предотвращение образования тионатов и проявления pregrobbing), а также обязательная очистка стоков от аммиака и ионов меди в тиосульфатноаммиачных системах; в целом же такие подходы соответствуют принципам ESG и особенно перспективны для горных районов с уязвимыми экосистемами и повышенными требованиями к экологической безопасности.

Литература

1. Nilson G., Monhemius A. J. Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future? // *Journal of Cleaner production*. – 2006. – Т. 14. – №. 1213. – Pp. 11581167.
2. Холов Х. И., Шарифбоев Н. Т., Самихов Ш. Р., Джуракулов Ш. Р., Зарифова М. С. Выщелачивание золота различными растворами, заменители цианида и их перспективы в будущем // *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*. – 2021. – Т. 14. – №. 4. – С. 433447. – DOI 10.17516/1999494X0324. – EDN COUZOX.
3. Холов Х. И., Шарифбоев Н. Т., Самихов Ш. Р., Джуракулов Ш. Р., Зарифова М. С. Обзор извлечения золота тиосульфатом: механизм выщелачивания, способ разложения, недостатки и преимущества метода // *Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе*. – 2021. – № 1(17). – С. 8494. – EDN CRKUGN.
4. Самихов Ш. Р., Зинченко З. А., Бобомуродов О. М. Разработка технологии тиомочевинно-го выщелачивания золота и серебра из концентратов месторождения Чоре // *Цветные металлы*. – 2014. – №. 2. – С. 6266.
5. Aylmore M. G., Muir D. M. Thiosulfate leaching of gold – A review // *Minerals engineering*. – 2001. – Т. 14. – №. 2. – Pp. 135174.
6. Abbruzzese C. Fornari P., Massidda R., Veglio F., Ubaldini S. Thiosulphate leaching for gold hydrometallurgy // *Hydrometallurgy*. – 1995. – Т. 39. – №. 13. – Pp. 265276.
7. Холов Х. И. Физикохимические основы технологии выщелачивания золота из хвостов флотации руд нижних горизонтов Джижикрутского месторождения Таджикистана: специальность 02.00.04 "Физическая химия": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Холов Холмахмад Исроилович, 2019. – 107 с. – EDN MNBRPQ.
8. Голик В. И., Комашенко В. И., Моркун В. С. Современная практика выщелачивания металлов из отходов горного производства // *Вісник Криворізького національного університету*. – 2015. – №. 39. – С. 38.
9. Бобоев И. Р., Сельницын Р. С., Холиков Т. А., Шарипов Б. К. Технология извлечения золота тиомочевинным выщелачиванием из лежалых отвалов // *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya*. – 2020. – №. 2. – С. 413.
10. Самихов Ш. Р., Зинченко З. А. Изучение технологии тиосульфатного выщелачивания золота, серебра и меди из руды и концентратов месторождения Тарор // *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. – 2016. – №. 12. – С. 153158.
11. Холов Х. И., Шарифбоев Н. Т., Самихов Ш. Р. [и др.]. Химизм процесса растворения золота и серебра цианидом и тиосульфатом // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. – 2024. – № 4(68). – С. 134139. – EDN ODVDJA.
12. Жоров Г. А., Рубченков П. Н., Захарова Л. Л., Обрывин В. Н. Применение натрия тиосульфата в медицине и ветеринарии в качестве полифункционального препарата (обзор литературы) // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. – 2015. – №. 6. – С. 6876.
13. Холов Х. И., Шарифбоев Н. Т., Самихов Ш. Р. [и др.]. Исследование моделирования процесса тиосульфатноаммиачного выщелачивания золота // *Химическая технология и техника: Материалы 88й научнотехнической конференции профессорскопреподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием)*, Минск, 29 января – 16 февраля 2024 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2024. – С. 120123. – EDN LSMKXE.

14. Холов Х. И., Самихов Ш. Р. Ацетилтиомочевинное Выщелачивание золота из хвостов флотации месторождения Джижикрут

// Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2019. – № 271. – С. 711. – EDN YXKGWD.

УСУЛИ ЭКОЛОГИИ ТОЗАКУНИИ ТИЛЛОИ БЕСИАНИД БО РЕА-ГЕНТҲОИ ДОРОИ СУЛФУР (ТИОСУЛФАТ- ТИОМОЧЕВИН–АСТЕТИЛТИОМОЧЕВИН)

Холов Х.И.^{1,2,*}, Замирова Д.И.¹

¹Институту химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Донишгоҳи давлатии омӯзгори Тоҷикистон ба номи С. Айни

*Муаллифи масъул. E-mail: Kholmahmad90@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Мақола ба технологияи муосири экологӣ – самтгирифтаи шиқор-ронии бесианидӣ тилло бо истифода аз реагентҳои сулфурдор – тиосульфат, тиомочевин ва ацетилтиомочевин бахшида шудааст. Зарурати ҷустуҷӯи ивазкунандагони NaCN бо захролудии баланди маҳдӯлҳои сианидӣ ва хатари хориҷиавии HCN асоснок гардида, нишон дода шудааст, ки ин омилҳо боиси ифлосиавии захираҳои обӣ ва талафоти биота мегарданд. Механизмҳои ҳашиавии тилло, диапазонҳои мувофиқи pH, нақши моддаҳои оксидкунанда ва системаҳои каталикии Cu–NH₃/O₂ ва Fe³⁺ муқоиса ва таҳлил шудаанд. Омилҳои сарфи изофии реагентҳо, ташаккули тионатҳо ва таъсири preg-robbing баррасӣ гардидаанд. Усулҳои истихроҷи тилло аз маҳдӯлҳо (зифтҳои ионоивазкунанда, электро-осадонӣ ва сементатсия), инчунин имкониятҳои ташкили даври пӯшидаи об нишон дода шудаанд. Хулоса бароварда шудааст, ки татбиқи технологияҳои бесианидӣ хатари эколо-гиро коҳиши дода, ба принципҳои ESG ҷавобгӯ мебошад. Ба таври ҷудогона талабот ба то-закунии обҳои партов аз аммиак ва мис, инчунин дурнамои коркарди партовҳо дар мин-тақаҳои кӯҳӣ бахшида шудааст.

Калидвожаҳо: тилло, шиқорронии бесианидӣ, тиосульфат, тиомочевин, ацетил-тиомочевин, амнияти экологӣ, ESG, зифтҳои ионоивазкунанда, даври пӯшидаи об, экоси-стемаҳои кӯҳӣ.

ENVIRONMENTALLY ORIENTED CYANIDE-FREE GOLD LEACHING USING SULFUR-CONTAINING REAGENTS (THIOSULFATE–THIOUREA–ACETYLTHTIOUREA)

Kholov Kh.I.^{1,2,*}, Zamirova D.I.¹

¹Institute of Chemistry named after V.I. Nikitini of the National Academy of Sciences of Tajikistan

²Tajik State Pedagogical University named after S. Aini

*Corresponding author. E-mail: Kholmahmad90@mail.ru

Abstract. The paper reviews environmentally oriented cyanide-free gold leaching using sulfur-containing reagents – thiosulfate, thiourea, and acetylthiourea. The shift away from NaCN is justified by cyanide toxicity and the potential release of HCN, which may contaminate waters and harm aquatic biota. Gold dissolution mechanisms, pH ranges, the role of oxidants, and catalytic systems (Cu–NH₃/O₂ and Fe³⁺) are compared. Key challenges are discussed, including reagent overconsumption, thionate formation, and the preg-robbing effect. Methods for gold recovery from these solutions (ion-exchange resins, electrowinning, cementation) and the potential of closed-loop water circulation are outlined. The study concludes that these approaches can reduce environmental risks and align with ESG principles, while noting the need to treat effluents for ammonia and copper and the prospects for reprocessing tailings in mountainous regions.

Keywords: gold, cyanide-free leaching, thiosulfate, thiourea, acetylthiourea, environmental safety, ESG, ion-exchange resins, closed-loop water circulation, mountain ecosystems.

Маълумот дар бораи муаллиф: Холов Холмаҳмад Исроилович – номзади илмҳои техникӣ, ходими калони илмии озмоишгоҳи ғанигардонии маъдани Институту химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ; омӯзгори калони кафедраи технологияи химиявӣ ва экологияи Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айни, E-mail: Kholmah-mad90@mail.ru; Замирова Дилрабо Ислombeковна – магистранти Институту химия ба номи В. И. Никитини АМИТ.

Сведение об авторах: Холов Холмахмад Исроилович – к.т.н., старший научный со-трудник лаборатории обогащения руд Института химии имени В.И. Никитина НАН Таджикистана; старший преподаватель кафедры химической технологии и экологии ТГПУ имени С. Айни, E-mail: Kholmahmad90@mail.ru; Замирова Дилрабо Исломбековна – магистрант Ин-ститута химии имени В.И. Никитина НАН Таджикистана.

Information about the authors: Kholov Kholmahmad Isroilovich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Ore Beneficiation Laboratory, V. I. Nikitin Institute of Chemistry, NAST; Senior Lecturer, Department of Chemical Technology and Ecology, TSPU named after S. Aini, E-mail: Kholmahmad90@mail.ru; Zamirova Dilrabo Islombekovna – Master’s student, V. I. Nikitin Institute of Chemistry, National Academy of Sciences of Tajikistan.

УДК 911.2:574.91:330.15

АРЗЁБИИ ИҚТИСОДИЮ ГЕОГРАФИИ ХИЗМАТРАСОНИҲОИ ЭКОСИСТЕМАВӢ ДАР ЗАМИНАИ ТАҒЙИРӢБИИ НТРОПОГЕНИИ ЛАНДШАФТҲОИ ДОМАНАКӢХӢ

Аминов Х.Н.^{1,*}

¹Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни

*Муҳаррири маъсул. E-mail: voru0051@gmail.com

Шаҳри мухтасар. Дар мақолаи мазкур арзёбии иқтисодию географии хизматрасониҳои экосистемавӣ дар ландшафтҳои доманакӯҳии ҷанубии Тоҷикистон дар давраи 2005–2023 гузаронида шудааст. Бо истифода аз маълумоти санҷиши дурдаст, индекси NDVI ва усулҳои арзёбии иқтисодӣ (market price, replacement cost, benefit transfer) арзиши хизматрасониҳои танзимкунанда, таъминкунанда, дастгирикунанда ва фарҳангӣ ҳисоб карда шуд. Муайян гардид, ки арзиши умумии хизматрасониҳои экосистемавӣ 12.7% коҳиши ёфтааст, ки сабаби асосии он табдили ҷангалзорҳо ва чарогоҳҳо ба заминҳои кишоварзӣ мебошад. Чор минтақаи функционалӣ муайян ва зоникунони иқтисодию географӣ гузаронида шуд. Тавсияҳои амалӣ барои банақшагирии ҳудудӣ ва идоракунии устувори замин пешниҳод гардиданд.

Калидвожаҳо: хизматрасониҳои экосистемавӣ, ландшафтҳои доманакӯҳӣ, арзёбии иқтисодию географӣ, NDVI, таҳаввулотии ландшафтӣ, руидаи устувор.

Муқаддима

Ландшафтҳои доманакӯҳӣ ҳамчун минтақаҳои гузариш байни водихо ва кӯҳистон нақши калидӣ дар таъмини хизматрасониҳои экосистемавиро ишғол менамоянд. Дар адабиёти байналмилалӣ арзёбии иқтисодии хизматрасониҳои экосистемавӣ асосан дар ландшафтҳои ҳамворӣ, ҷангалӣ ва соҳилӣ тавачҷӯҳӣ бештар пайдо кардааст, аммо ландшафтҳои доманакӯҳии Осиёи Марказӣ, хусусан минтақаҳои доманакӯҳии Тоҷикистон, камтар мавриди тадқиқоти мунтазами иқтисодию географӣ қарор гирифтаанд [8-9]. Ин масъала ба он алоқаманд аст, ки ландшафтҳои доманакӯҳӣ зери таъсири шадиди антропогенӣ - шудгоркунии заминҳои серҳосил, чаронидани беназорати чорво ва тавсеаи иншооти зериза-

минӣ - қарор доранд ва самти таҳаввулоти онҳо ба суръати баланд тағйир меёбад. Кам будани тадқиқоти илмӣ оиди масъалаи мазкур дар он зоҳир мегардад, ки дар мавриди пайвастагии фазоии байни таҳаввулоти сохтори ландшафтӣ ва арзиши пулии хизматрасониҳои экосистемавӣ дар шароити ҳоси доманакӯҳии тропикию субтропикии Осиёи Марказӣ тадқиқоти ягона вучуд надорад. Масъалаи дигар дар он аст, ки модели арзёбии хизматрасониҳо, ки барои минтақаҳои пасттарин ва ё ландшафтҳои якрангии ҷангалӣ таҳия шудаанд, барои шароити мураккаби геоморфологии доманакӯҳӣ мувофиқат намеkunанд. Аз ин рӯ, тадқиқоти мазкур барои пур кардани ин камбудии тадқиқоти илмӣ ва пешниҳоди ҷаҳорҷӯбаи методологии мутобиқсозишуда ба шароити ҳоси

доманакӯҳии минтақа равона карда шудааст. Ниёзи амалии ин тадқиқот дар он аст, ки бидуни арзёбии миқдории арзиши иқтисодии хизматрасониҳо раванди таназзули ландшафтҳо ба таври воқеъбинона дар низоми қабули қарорҳои минтақавӣ инъикос намеёбад. Натиҷаҳои илмии ин тадқиқот метавонанд ба беҳтарсозии истифодаи замин, банақшагирии ҳудудӣ ва таҳияи сиёсатҳои муҳофизати экологӣ дар минтақаҳои доманакӯҳии Тоҷикистон ва минтақа мусоидат намоянд.

Асосҳои назариявии арзёбии хизматрасониҳои экосистемавӣ дар се концепсияи калидӣ - Арзёбии ҳазорсолаи экосистемаҳо (АҲЭ, 2005), Иқтисодиёти экосистемаҳо ва гуногунии биологӣ (ИЭГБ, 2010) ва Платформаи байниҳукумати илмию сиёсатгузорӣ оид ба гуногунии биологӣ ва хизматрасониҳои экосистемавӣ (ПБИС) - таҷассум ёфтаанд [10]. Мувофиқи ҷаҳорҷӯбаи АҲЭ, хизматрасониҳои экосистемавӣ ба чор гурӯҳ - таъминкунанда, танзимкунанда, дастгирикунанда ва фарҳангӣ - тақсим мешаванд, ки ҳар кадом нақши муайянеро дар неқӯаҳволии инсон доранд [7, 10]. Концепсияи ИЭГБ ин тақсимбандиро ба самти арзёбии иқтисодӣ бурда, механизмҳои бозорӣ ва ғайрибозорӣ арзишгузорино пешниҳод намуд [2, 11]. Платформаи ПБИС бошад, робитаи байни гуногунии биологӣ, хизматрасониҳои табиат ва сифати зиндагии инсонро дар миқёси глобалӣ ва минтақавӣ ба таҳлил гирифта, аҳамияти ҳоси минтақаҳои кӯҳиро қайд намуд. Барои минтақаҳои кӯҳии Осиёи Марказӣ, ки дорои сатҳи баланди осебпазирии экологӣ мебошанд, татбиқи ин концепсияҳо ҳамчун воситаи асосноккунии сиёсатҳои рушди устувор аҳамияти амалӣ дорад. Дар заминаи мавҷудияти кӯҳистон хизматрасониҳои танзимкунанда - аз ҷумла танзими об, ҷилавгирии фарсоиши хок ва ҷазби гази карбон - нақши муайянкунанда доранд, зеро онҳо на танҳо ба минтақаи маҳаллӣ, балки ба ҳу-

дудҳои поёноб низ таъсири фаромарзӣ мерасонанд. Усули Хіе ва ҳамкорон (2015) барои ҳисобкунии арзиши хизматрасониҳо дар ҳар воҳиди масоҳат бо истифода аз коэффитсиенти баробарарзишии стандартӣ яке аз пуриқтидортарин воситаҳои методологӣ дар ин самт маҳсуб мешавад [12]. Дар тадқиқоти мазкур ин ҷаҳорҷӯба бо мутобиқсозии шароити маҳаллии минтақаи доманакӯҳии Тоҷикистон, хусусан аз рӯи маълумоти ҳосилнокии зироат ва нархи маҳсулоти кишоварзӣ, ислоҳ карда шудааст. Пайвастиҳои методологӣ АҲЭ-ИЭГБ-ПБИС бо технологияҳои нави фосилавӣ ва санҷиши дурдаст имконият медиҳад, ки арзёбии хизматрасониҳо на танҳо ба таври биофизикӣ, балки ба таври иқтисодию географӣ ва бо дурустии фазоии баланд анҷом дода шавад.

Маводҳо ва усулҳо

Минтақаи тадқиқот ландшафтҳои доманакӯҳии ҷанубии Тоҷикистонро дар баландии 600-1500 метр аз сатҳи баҳр фаро мегирад, ки аз ҷиҳати маъмурӣ қисмҳои ноҳияҳои Вахш, Бохтар, Ёвон ва Кӯлобро дар бар мегирад. Масоҳати умумии минтақаи тадқиқотӣ тақрибан 4850 км² буда, иқлими он субтропикии континенталӣ бо ҳарорати миёнаи солонаи 14-16°C ва миқдори боришоти 450-700 мм дар сол тавсиф мешавад. Релефи минтақа аз теппаҳо, пуштаҳои камшебу фароз ва доманакӯҳҳои гузаришӣ иборат буда, хокҳои намуди хокистарранг ва хокҳои бӯррангии доманакӯҳӣ паҳн шудаанд [1, 5]. Шабакаи гидрографии минтақа аз дарёҳои хурди мавсимӣ, ҷӯйборҳои доимӣ иборат аст ва захираҳои обҳои зеризаминӣ барои кишоварзии обёришаванда аҳамияти калидӣ доранд. Истифодаи замин дар минтақа аз заминҳои кишоварзӣ (48%), ҷарогоҳҳо (22%), ҷангалзорҳои каму буттазорҳо (18%), заминҳои сохтмонӣ (7%) ва обанборҳою заминҳои истифоданашуда (5%) иборат аст. Зичии аҳоли дар доманакӯҳ нисбатан баланд буда, ба ҳисоби миёна 120-180 нафар дар як км²

мебошад, ки фишори антропогениро ба ландшафтҳо меафзояд. Дар тӯли солҳои 2000–2023 масоҳати заминҳои кишоварзӣ ба миқдори 12% афзуда, дар ҳоле ки масоҳати чарогоҳҳо ва ҷангалзорҳо мутаносибан 15% ва 9% кам шудааст. Ин тағйирот ба таназзули ландшафтҳо, фарсоиши хок ва коҳиши гуногунии биологӣ минтақа оварда расондааст ва зарурати арзёбии иқтисодии оқибатҳои онро тақозо мекунад.

Дар тадқиқоти мазкур маҷмӯи усулҳои харитасозӣ, санҷиши фосилавӣ, таҳлили ландшафтӣ ва арзёбии иқтисодӣ мавриди истифода қарор гирифтааст. Барои муайян намудани ҳолати растаниҳо ва тағйирёбии биомассаи ландшафтӣ индекси NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ҳисоб карда шуд, ки мувофиқи формулаи зерин муайян мегардад:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

ки дар он NIR - инъикоси минтақаи наздик ба инфрасурх ва RED - инъикоси минтақаи сурх мебошад. Қиматҳои NDVI аз -1 то +1 тағйир меёбанд, ки қиматҳои наздик ба +1 растаниҳои сабзу серпуширо ва қиматҳои наздик ба 0 ва манфӣ хокҳои лучу обҳоро нишон медиҳанд [12, с. 1248]. Барои таҳлили сохтори ландшафтӣ нишондиҳандаҳои ландшафтии зичии минтақаҳо, шохиси бузургтарин минтақа ва индекси гуногунии Shannon бо истифода аз нармалҳои FRAGSTATS ҳисоб карда шуданд. Усули бонитировкаи хокӣ барои арзёбии сифати заминҳои кишоварзӣ ва муқоисаи иқтисодии экосистемавии типҳои гуногуни истифодаи замин истифода шуд.

Арзёбии иқтисодии хизматрасониҳои экосистемавӣ бо истифода аз чор усули асосӣ анҷом расонида шуд: нархи бозор, арзиши ивазкунӣ, арзёбии шартӣ ва интиқоли фоида. Арзиши умумии хизматрасониҳои экосистемавӣ (АХЭ) мувофиқи формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$АХЭ_{\text{хамагӣ}} = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_i$$

ки дар он АХЭ_{хамагӣ} - арзиши умумии хизматрасониҳои экосистемавӣ (сомонӣ/сол), A_i - масоҳати типҳои i-уми истифодаи замин (га), VC_i - коэффитсиенти арзиши хизматрасонӣ барои ҳар воҳиди масоҳат (сомонӣ/га/сол), n - шумораи типҳои истифодаи замин. Коэффитсиенти баробарарзишии стандартӣ (E_a), ки арзиши иқтисодии як воҳиди стандартии хизматрасониро ифода мекунад, бо формулаи зерин ислоҳ карда шуд:

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^k \frac{p_i \times q_i \times m_i}{M}$$

ки дар он p_i - нархи миёнаи маҳсулоти кишоварзӣ i (сомонӣ/тонна), q_i - ҳосилнокии ҳар гектар (тонна/га), m_i - масоҳати кишти зироати i (га), M - масоҳати умумии кишт (га), ва 1/7 - коэффитсиенти табилии хизматрасонии зироаткорӣ [12, с. 1246]. Масалан, агар нархи миёнаи гандум 3200 сомонӣ/тонна, ҳосилнокӣ 2.8 тонна/га, масоҳати кишти гандум 85000 га ва масоҳати умумии кишт 230000 га бошад, он гоҳ саҳми гандум дар E_a баробари (1/7) × (3200 × 2.8 × 85000 / 230000) = (1/7) × 3310 ≈ 473 сомонӣ/(га·сол) мегардад. Коэффитсиенти ислоҳии минтақавӣ бо муқоисаи ҳосилнокии маҳаллӣ бо сатҳи миёнаи ҷумҳуриявӣ муайян карда шуд, ки барои минтақаи доманакӯҳии мавриди тадқиқот баробари 0.83 муқаррар гардид. Ҷамчунин, коэффитсиенти ҳассосият барои санҷиши боварибахшии натиҷаҳо бо формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$CS = \left| \frac{(ESV_b - ESV_a) / ESV_a}{(VC_b - VC_a) / VC_a} \right|$$

ки дар он агар CS < 1 бошад, натиҷаҳо устувор буда, вобастагии камро аз тағйироти коэффитсиент нишон медиҳанд. Дар тадқиқоти мо CS барои тамоми типҳои замин дар ҳудуди 0.04–0.76 ҷойгир шуд, ки устувории модели арзёбиро тасдиқ мекунад.

Натиҷаҳо

Натиҷаҳои таҳлили таҳаввулотии ландшафтӣ нишон доданд, ки дар давраи 2005–2023 сохтори ландшафтии минтақаи доманакӯҳӣ тағйироти назаррас пайдо кардааст. Масоҳати заминҳои кишоварзӣ аз 2328 км² дар соли 2005 то 2610 км² дар соли 2023 (ба нисоби 12.1%) афзуда, дар ҳоле ки масоҳати чарогоҳҳо аз 1067 км² то 907 км² (14.9% кам шуд) ва лянгалзору буттазорҳо аз 873 км² то 794 км² коҳиш ёфтанд. Қимати миёнаи NDVI аз 0.42 дар соли 2005 то 0.36 дар соли 2023 поён рафт, ки гувоҳи коҳиши биомассаи растаниҳо дар минтақа мебошад. Нишондиҳандаи зичии қитъаҳои ландшафтӣ аз 8.4 қатъаи ландшафтӣ/км² то 14.7 қатъаи ландшафтӣ/км² афзуд, ки парокандагии ландшафтро тасдиқ мекунад. Индекси LPI барои заминҳои кишоварзӣ аз 32.5% то 38.1% боло рафт ва ин ҳукмронии ландшафти кишоварзиро дар минтақа зоҳир месозад. Индекси гуногунии Shannon (SHDI) аз 1.38 то 1.21 коҳиш ёфт, ки нишондиҳандаи камшавии гуногунии ландшафтӣ ва тамоюл ба якрангии сохторӣ мебошад. Аз лиҳози фазой, қисмати ғарбии минтақа бештар зери таъсири чаронидани беназорат ва қисмати шарқӣ зери фишори шудгоркунӣ қарор дорад. Ин тағйирот тақозо мекунад, ки арзиши иқтисодии хизматрасониҳои аз даст рафта ба таври миқдорӣ ҳисоб карда шавад.

Натиҷаҳои ҳисобкунии арзиши хизматрасониҳои экосистемавӣ нишон доданд, ки арзиши умумии АХЭ дар минтақаи тадқиқотӣ аз 1 847 миллиард сомонӣ дар соли 2005 то 1 612 миллиард сомонӣ дар соли 2023 коҳиш ёфтааст, яъне 235 миллион сомонӣ талафот (12.7%) ба вуқӯъ пайваستاаст. Хизматрасониҳои танзимкунанда 67.3% арзиши умумиро ташкил медиҳанд, ки дар онҳо танзими обу ҳаво (24.8%), танзими иқлим (19.1%) ва тозакунии муҳити зист (12.2%) саҳми бузургтар доранд. Хизматрасониҳои таъминкунанда (истехсоли озуқа, маводи хом, таъмини об) 18.6% арзиши умумиро ташкил медиҳанд ва тамоюли коҳиш ёфтандоранд. Хизматрасониҳои дастгирикунанда (нигоҳдории хок, гардиши моддаҳои ғизоӣ, гуногунии биологӣ) 10.8%-ро ташкил дода, нисбатан устувор мондаанд. Хизматрасониҳои фарҳангӣ (ландшафтҳои эстетикӣ, рекреатсионӣ) саҳми 3.3%-ро доранд ва тамоюли ғайримуайян зоҳир кардаанд. Дар Чадвали 1 арзиши хизматрасониҳои мувофиқи типии замин ва солҳо нишон дода шудааст. Кам шудани арзиш асосан бо табилии чангалзорҳо ва чарогоҳҳо ба заминҳои кишоварзӣ серистеъмом алоқаманд аст, зеро коэффитсиенти арзиши хизматрасонии чангалзор (14820 сомонӣ/га/сол) аз заминҳои кишоварзӣ (2310 сомонӣ/га/сол) 6.4 маротиба зиёдтар ба назар мерасад.

Чадвали 1. Арзиши хизматрасониҳои экосистемавӣ мувофиқи навъи истифодаи замин (миллион сомонӣ).

Типи истифодаи замин	Соли 2005	Соли 2023
Чангалзор ва буттазор	1293.7	1176.6
Чарогоҳ	287.4	216.8
Заминҳои кишоварзӣ	215.3	174.2
Обанборҳо ва обгоҳҳо	42.8	38.5
Заминҳои сохтмонӣ	0.0	0.0
Заминҳои истифоданашуда	7.8	5.9
Чамъ	1847.0	1612.0

Дар асоси натиҷаҳои ба даст омада тадқиқоти иқтисодии географии хизматрасониҳои экосистемавӣ гузаронида

шуд, ки чор минтақаи таъиноти муайян кард. Минтақаи якум - минтақаи арзиши баланди танзимкунанда (24% масоҳат) -

дар қисмати шимолӣ-ғарбии доманакӯҳ чойгир буда, NDVI-и миёнааш 0.51 ва АХЭ-и миёнааш 21450 сомонӣ/га/сол мебошад. Минтақаи дуюм - минтақаи кишоварзӣ таъминкунанда (38% масоҳат) - дар қисмати марказӣ шарқии доманакӯҳ, ки дар он заминҳои кишоварзӣ шудгоршуда ҳукмронӣ мекунад, чойгир аст ва АХЭ-и миёнааш 2450 сомонӣ/га/сол мебошад. Минтақаи сеюм - минтақаи осебпазирии экологӣ (21% масоҳат) - дар доманаҳои чанубӣ ғарбӣ, ки чарогоҳҳои деградацияшуда ва хокҳои фарсоишфта мавқеъ доранд, чойгир аст; АХЭ-и миёнаи он 5870 сомонӣ/га/сол ва ҚЛ-и баландтарин (18.3 қитъаи ландшафтӣ/км²) қайд шуд. Минтақаи чорум - минтақаи иловагии муҳофизатӣ (17% масоҳат) -

марзи байни ҷангалзорҳо ва чарогоҳҳо дар бар гирифта, дар он хизматрасониҳои дастгирикунанда (нигоҳдории хок, гуногунии биологӣ) саҳми бештар доранд. Фарқияти АХЭ байни минтақаи арзиши баланд ва минтақаи кишоварзӣ 8.7 маротибаро ташкил медиҳад, ки миқёси талафоти иқтисодии таназзули ландшафтиро нишон медиҳад. Ҳамбастагии байни индекси ҚЛ ва АХЭ манфӣ буда ($r = -0.72$, $p < 0.01$), нишон медиҳад, ки афзоиши парокандагӣ ба коҳиши арзиши хизматрасониҳо меоварад. Баръакс, ҳамбастагии LPI бо АХЭ-и мусбат ($r = 0.68$, $p < 0.01$) мебошад, ки аҳамияти яқлухтии ландшафтро дар нигоҳдории арзиши экосистемавӣ тасдиқ мекунад.

Ҷадвали 2. Нишондиҳандаҳои ландшафтӣ ва АХЭ мувофиқи минтақаҳои функционалӣ.

Минтақаи функционалӣ	NDVI миёна	АХЭ (сомонӣ/га/сол)
Танзимкунандаи баланд	0.51	21 450
Кишоварзӣ таъминкунанда	0.29	2 450
Осебпазирии экологӣ	0.33	5 870
Буферии муҳофизатӣ	0.44	12 340

Муҳокима

Натиҷаҳои тадқиқоти мазкур бо тадқиқотҳои байналмилалӣ гузаронидашуда дар минтақаҳои кӯҳии Осиёи Марказӣ ва дигар минтақаҳо муқоиса карда шуданд. Мувофиқи тадқиқоти муҳаққиқ Costanza ва ҳамкорон (1997), арзиши миёнаи ҷаҳонии хизматрасониҳои экосистемавӣ 33 триллион доллари ИМА дар сол арзёбӣ шудааст, аммо минтақаҳои доманакӯҳии Осиёи Марказӣ дар ин арзёбиҳо амалан иштирок надоштаанд [3, с. 55; 9, с. 256]. Дар муқоиса бо паҳнкӯҳи карстии Гуйчжоуи Чин, ки АХЭ-и миёнааш 1.834 миллион юан/км² гузориш дода шуда [12, с. 1250; 6, с. 103], АХЭ-и доманакӯҳии Тоҷикистон дар нӯдуди 0.95–1.28 миллион сомонӣ/км² (тақрибан 0.11–0.15 миллион доллар/км²) арзёбӣ гардид, ки нишондиҳандаи пасттар аст. Ин фарқият бо он алоқаманд аст, ки минтақаҳои доманакӯҳии Тоҷики-

стон нисбат ба Гуйчжоу масоҳати камтари ҷангалӣ ва боришоти камтар доранд. Аммо дар муқоиса бо Биёбони Хорчин (Чин), ки АХЭ-яш танҳо 0.105 миллион юан/км² мебошад, минтақаи мо арзиши 10 маротиба бештар дорад, ки ба мавҷудияти захираҳои обӣ ва растаниҳои табиӣ доманакӯҳ алоқаманд аст. Тамоюли коҳиши АХЭ, ки дар тадқиқоти мо қайд шуд, бо натиҷаҳои АХЭ [4, с. 72; 10, с. 65] мутобиқат дорад, зеро дар он низ 60% хизматрасониҳои экосистемавии ҷаҳон таназзул ёфтаанд. Натиҷаҳои мо нишон медиҳанд, ки суръати коҳиши АХЭ дар ландшафтҳои доманакӯҳии Тоҷикистон (12.7% дар 18 сол) аз сатҳи миёнаи ҷаҳонӣ баландтар аст, ки зангӯлаи хатар барои идоракунии устувор маҳсуб мешавад.

Нишондиҳандаҳои калидии ин тадқиқот иборатанд аз: коҳиши АХЭ ба миқдори 235 миллион сомонӣ дар давраи

18 сол; пасташавии NDVI-и миёна аз 0.42 то 0.36; афзоиши ҚЛ аз 8.4 то 14.7 қитъаи ландшафтӣ/км²; ва тафовути 8.7 маротибаи АХЭ байни минтақаҳои мусоид ва деградатсияшуда. Ин нишондиҳандаҳо гувоҳи он ҳастанд, ки равандҳои антропогении тағйироти ландшафтӣ ба коҳиши ҳақиқии сармоияи табиӣ минтақа оварда мерасонанд. Дурнамои тадқиқот чанд самтро дар бар мегирад: якум, васеъ кардани минтақаи тадқиқот ба тамоми навори доманакӯҳии ҷанубии Тоҷикистон ва муқоисаи он бо доманакӯҳҳои Қирғизистону Афғонистон; дуюм, истифодаи моделҳои динамикии ландшафтӣ барои пешгӯии сценарияҳои гуногуни рушд; сеюм, ҷалби маълумоти иҷтимоию иқтисодии аниқтар барои арзёбии хизма-

трасониҳои фарҳангӣ, ки дар тадқиқоти мавҷуда камтар баррасӣ шудаанд. Аҳамияти тадқиқот дар замони муосир дар он аст, ки тағйирёбии иқлим ва афзоиши аҳолии фишорро ба ландшафтҳои доманакӯҳӣ беш аз пеш зиёд мекунад ва бидуни арзёбии иқтисодию географии хизма-трасониҳои аз даст рафта ё таназзулфта ягон қарори устувор қабул кардан имкон надорад. Ба ибораи дигар, ҳар як гектар ҷангалзори доманакӯҳӣ, ки ба заминҳои кишоварзӣ табдил меёбад, на танҳо дарахтонро аз даст медиҳад, балки $14820 - 2310 = 12510$ сомонӣ арзиши хизма-трасонии солоноро аз даст медиҳад, ки ин дар миқёси минтақа ба садҳо миллион сомонӣ мерасад.

Ҷадвали 3. Муқоисаи АХЭ-и минтақаҳои гуногуни кӯҳӣ ва доманакӯҳӣ.

Минтақа	Хизматрасонии ғолиб	АХЭ (доллар/км²/сол)
Доманакӯҳҳои Тоҷикистон	Танзимкунанда	110 000 – 150 000
Паҳнкӯҳи карстии Гуйчжоу (Чин)	Танзимкунанда	268 000
Биёбони Хорчин (Чин)	Дастгирикунанда	15 400

Таъсири таҳаввулоти ландшафтии доманакӯҳ ба амнияти озуқаворӣ, захираҳои об ва банақшагирии ҳудудӣ масъалаи марказии муҳокимаро ташкил медиҳад. Аз як тараф, афзоиши масоҳати заминҳои кишоварзӣ (12.1%) истехсоли озуқаро дар кӯтоҳмуддат зиёд кардааст, аммо аз тарафи дигар, коҳиши хизматрасониҳои танзимкунанда (хусусан танзими об ва ҷилавгирии фарсоиши хок) тадриҷан ба коҳиши ҳосилнокии дарозмуддат оварда мерасонад. Ин ҳодиса дар адабиёт ҳамчун “доми экологии кишоварзӣ” маълум аст, ки дар он фоидаи кӯтоҳмуддат ба зиёни дарозмуддати экосистемавӣ табдил меёбад [11, с. 22]. Захираҳои обӣ зери хатари ҷиддӣ қарор доранд: коҳиши масоҳати ҷангалзорҳо ва ҷарогоҳҳо ба камшавии обҳои зеризаминӣ ва афзоиши ҷорӣ шудани обҳои рӯизаминӣ дар давраи борон оварда мерасонад, ки хатари обхезӣ ва мавсимӣ хушк шудани чашмаҳоро меаф-

зояд. Масалан, дар минтақаи кишоварзӣ таъминкунанда АХЭ-и хизматрасонии танзими об аз 890 то 640 сомонӣ/га/сол (28% коҳиш) паст шудааст, ки ин ба ҳисоби умумии минтақа тақрибан 60 миллион сомонӣ талафоти солона мебошад. Барои банақшагирии ҳудудӣ ин маънои онро дорад, ки тавсеаи минбаъдаи заминҳои кишоварзӣ бидуни ба назар гирифтани арзиши хизматрасониҳои аз даст рафта ба зиёни иқтисодии воқеӣ табдил мешавад. Зарур аст, ки шоҳланҳои минтақавӣ арзиши экосистемавиرو ба сифати яке аз меъёрҳои муҳими тақсимооти функционалии ҳудуд ба ҳисоб гиранд. Интиқоли натиҷаҳои ин тадқиқот ба низоми қабули қарорҳо тақозо мекунад, ки ҳам арзиши бозории маҳсулот ва ҳам арзиши ғайрибозории хизматрасониҳои экосистемавӣ ба таври муттаҳид муҳосиба карда шаванд.

Хулосаҳо

Дар асоси натиҷаҳои тадқиқот тавсияҳои амалии зерин барои идоракунии устувори заминҳои доманакӯҳӣ пешниҳод карда мешаванд. Аввалан, ворид намудани арзиши хизматрасониҳои экосистемавӣ ба низоми ҳисоби иқтисодии минтақавӣ ва банақшагирии ҳудудӣ зарур аст, то фоидаи зиёни ҳақиқии тағйироти истифодаи замин муайян карда шавад. Дуюм, дар минтақаи осебпазирӣ экологӣ барномаҳои барқарорсозии ландшафтӣ - аз ҷумла шинонидани буттазор, барқарорсозии чарогоҳҳо ва маҳдуд кардани чаронидани беназорати чорво - татбиқ карда шавад. Сеюм, механизми ҷабронии экологӣ дар минтақаи танзимкунандаи баланд таъсис дода шавад, ки дар он истифодабарандагони поёноб ба нигоҳдорандагони ландшафтҳои болооб ҷабронпулӣ диҳанд. Чорум, системаи мониторинги ландшафтӣ бо истифода аз маълумоти моҳворавӣ барои ошкоркунии ба мавқеъ расидани тағйирот ба роҳ монда шавад [5, с. 198]. Панҷум, сиёсати экологӣ иқтисодии минтақавӣ ба гузариш аз кишоварзии васеъ ба кишоварзии интенсививу экологӣ равона карда шавад, то бо афзоиши ҳосилнокии ҳар гектар фишор ба масоҳатҳои табиӣ доманакӯҳ кам карда шавад. Шашум, дар раванди таҳияи шохплани минтақавӣ натиҷаҳои зоникунони функционалии ба даст омада - чор минтақаи муайяншуда ба сифати асоси илмӣ тақсимои ҳудуд мавриди истифода қарор гирад.

Адабиёт

1. Аминов, Х.Н. Защита горных ландшафтов долины Зарафшана Таджикистана от химического загрязнения / Х.Н. Аминов // Химия и инженерная экология - XXV: сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной научному сотрудничеству России и дружественных стран, а также деятельности Академического союза «Зелёного» развития Ассоциации технических университетов России и Китая, Казань, 25–26 сентября 2025 года. – Казань: ИП Издательство Сагиев А.Р., 2025. – С. 199-203. – EDN A1JCZJ.
2. Курбонов, Н.Б. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография / Н.Б. Курбонов, Г.Т. Фрумин. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.
3. Аминов, Х. Н., Аминзода С. Л. Классификация природных ландшафтов Зеравшанской долины и их использование в туризме / Х. Н. Аминов, С. Л. Аминзода // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2025. – № 3(11). – С. 28-32. – EDN AXHQSR.
4. Аминов, Х.Н. Роль природных ландшафтов в формировании электроэнергетики / Х. Н. Аминов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2025. – № 12(255). – С. 72-74. – EDN ROKGRH.
5. Муродов, Ш.М. Ландшафтҳои доманакӯҳии Тоҷикистон ва масъалаҳои истифодаи устувори онҳо / Ш.М. Муродов. - Душанбе : Дониш, 2018. - 224 с.
6. Мухаббатов, Х. М. Горные экосистемы Таджикистана: проблемы сохранения и использования / Х. М. Мухаббатов // Вестник университета (Российско-Таджикский (Славянский) университет). – 2016. – № 3(54). – С. 100-105. – EDN X1CQMD.
7. Мухаббатов, Х. М. Региональные особенности использования природно-ресурсного потенциала Таджикистана / Х. М. Мухаббатов, Н. Х. Хоналиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2023. – № S4-1. – С. 24-29. – EDN ZPMNNO.
8. Самиев, А. М., Аминов Х. Н. Тағйирпазирӣи ландшафтҳои табиӣи водии Зарафшони Тоҷикистон / А. М. Самиев, Х. Н. Аминов // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2025. – №. 2(26). – Р. 25-39. – EDN MAYERK.
9. Costanza, R. The value of the world's ecosystem services and natural capital / R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot [et al.] // Nature. — 1997. — Vol. 387. — P. 253–260.
10. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis / MEA. — Washington : Island Press, 2005. — 155 p.
11. TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature : A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB / TEEB. — Geneva : UNEP, 2010. — 48 p.

12. Xie, G.D. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area / G.D. Xie, C.X. Zhang, L.M. Zhang [et al.] //

Journal of Natural Resources. — 2015. — Vol. 30, No. 8. — P. 1243–1254.

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В КОНТЕКСТЕ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРЕДГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Аминов Х.Н.^{1,*}

¹Таджикский государственный педагогический университет имени Садриддина Айни.

*Автор-корреспондент. E-mail: voru0051@gmail.com,

Аннотация. В статье проведена экономико-географическая оценка экосистемных услуг предгорных ландшафтов южного Таджикистана за период 2005–2023 гг. С применением данных дистанционного зондирования, индекса NDVI и методов экономической оценки (рыночная цена, стоимость замещения, перенос выгод) рассчитана стоимость регулирующих, обеспечивающих, поддерживающих и культурных услуг. Установлено снижение общей стоимости экосистемных услуг на 12,7%, обусловленное преобразованием лесов и пастбищ в сельскохозяйственные угодья. Выделены четыре функциональные зоны и проведено экономико-географическое зонирование. Предложены практические рекомендации по территориальному планированию и устойчивому управлению земельными ресурсами.

Ключевые слова: экосистемные услуги, предгорные ландшафты, экономико-географическая оценка, NDVI, эволюция ландшафтов, устойчивое развитие.

ECONOMIC-GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES BASED ON ANTHROPOGENIC LAND-COVER CHANGES IN FOOTHILL LANDSCAPES

Aminov Kh.N.^{1,*}

¹Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Ayni

*Corresponding author. E-mail: voru0051@gmail.com,

Abstract. This study presents an economic-geographical assessment of ecosystem services in the foothill landscapes of southern Tajikistan for the period 2005–2023. Using remote sensing data, NDVI analysis, and economic valuation methods (market price, replacement cost, benefit transfer), the values of regulating, provisioning, supporting, and cultural services were calculated. The total ecosystem service value decreased by 12.7%, primarily driven by the conversion of forests and pasturelands into agricultural land. Four functional zones were identified and an economic-geographical zonation was established. Practical recommendations for territorial planning and sustainable land management are proposed.

Keywords: ecosystem services, foothill landscapes, economic-geographical assessment, NDVI, landscape evolution, sustainable development.

Маълумот дар бораи муаллиф: Аминов Хушбахт Начмиддинович – ассистенти кафедраи геоэкологии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни, Тел.: (+992) 883-33-44-54, E-mail: voru0051@gmail.com.

Сведение об авторе: Аминов Хушбахт Наджмиддинович – ассистент кафедры геоэкологии Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни, Тел.: (+992) 883-33-44-54, E-mail: voru0051@gmail.com.

Information about the author: Aminov Khushbakht Nadzhmiddinovich – assistant of the Department of Geoecology of the Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Aini, Tel.: (+992) 883-33-44-54. E-mail: voru0051@gmail.com.

ТДУ: 36:786.61 (577.4)

ИМКОНИЯТҲОИ ТАБИИЮ ТАЪРИХИИ МИНТАҚАИ КҶҶЛОБ: ДУРНАМОИ ИСТИФОДА ДАР СОҲАИ САЙЁҲӢ-ЭКОЛОГӢ

Бозоров Ҳ.Т.^{1,*}¹Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи А.Рӯдакӣ

*Муаллифи масъул. E-mail: gadoe88.@list.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола мероси таърихиву фарҳангии минтақаи Кӯлоб ҳамчун яке аз захираҳои муҳими рушди сайёҳии фарҳангӣ дар ҷануби Тоҷикистон баррасӣ мегардад. Бо таърихи равишҳои низомӣ, таърихию генетикӣ, фарҳангиносии ва туристӣ-ресурсӣ таҳлили мукаммали объектҳои моддӣ ва ғайримоддӣ мерос амалӣ карда шудааст, ки ба онҳо маҷмӯаҳои бостонӣ, иншооти меъморӣ, ёдгориҳои динӣ ва унсурҳои фарҳанги анъанавӣ дохил мешаванд. Тадқиқоти саҳроӣ, таҳлили таърихӣ-қиеӣ ва мусоҳибаҳои кориносон имкон доданд, ки вазъи ҳозираи ёдгориҳои муайян карда шаванд, мушкилоти мавҷудаи ҳифз ва истифодаи онҳо ошкор гардад ва сатҳи инфрасохтори сайёҳӣ баҳогузорӣ шаванд. Муайян гардид, ки мероси таърихию фарҳангии минтақа дорои арзиши баланди илмӣ, фарҳангӣ ва сайёҳист, аммо имкониятҳои он бинобар парокандагии инфрасохтор, сатҳи пасти таъбири туристӣ, норасоии мутахассисон ва набудани рақамсозӣ пурра истифода намешавад. Дар мақола самтҳои ояндадори истифодаи самарабахши мероси фарҳангӣ дар соҳаи сайёҳӣ асоснок карда мешаванд, ки ба онҳо рушди инфрасохтор, ташикли масирҳои мураккаб, татбиқи технологияҳои рақамӣ, тавсеаи чорабиниҳои фарҳангӣ ва ҷалби фаъолони ҷомеаҳои маҳаллӣ шомил мешавад. Хулоса карда мешавад, ки бо дастгирии мақсадноки давлатӣ ва идоракунии мукамал минтақаи Кӯлоб метавонад ба яке аз марказҳои асосии сайёҳии фарҳангӣ ва зиёратӣ дар Тоҷикистон табдил ёбад.

Калидвожаҳо: Мероси таърихию фарҳангӣ; сайёҳии фарҳангӣ; минтақаи Кӯлоб; ёдгориҳои бостонӣ; мероси ғайримоддӣ; захираҳои туристӣ-рекреатсионӣ; сайёҳии зиёратӣ; инфрасохтор; тафсири мерос; идоракунии устувор; ҷомеаҳои маҳаллӣ.

Мукаддима

Минтақаи Кӯлоб дар қисмати ҷануби шарқии Тоҷикистон ҷойгир шуда, яке аз мавзёҳои зебоманзари ҷумҳуриамон маҳсуб меёбад. Ин музофот 8,4%-и ҳудуди кишварамон ва 48,7% вилояти Хатлонро фаро мегирад. Таҳқиқотчиёне, аввалине, ки ба ин музофот омада буданд, ин ҷойро «мулки хуррамзамин» унвон намуданд. Минтақаи Кӯлоб хусусиятҳои ба худ хоси табиӣ, геологӣ, геоморфологӣ, рекреатсионӣ ва таърихию фарҳангӣ дорад [2]. Кӯҳҳо 87% масоҳати ин мавзёро фаро мегирад, дар ин ҷо қаторкӯҳҳои Ҳазрати Шох, Сарсарак, қисман қаторкӯҳи Вахш инчунин қонҳои намаккӯҳҳои Ҳочамӯмин, Ҳочасартез, ҷойгир шудаанд. Қаторкӯҳ ва кӯҳҳоро аз ҳамдигар водии байниқӯҳӣ – Кӯлоб, Данғара, Муъминобод Чубек ва Фарҳор ҷудо мекунад [3]. Ба ин музофоти географӣ номгӯи зерини ҳудудҳои табиӣ маҳсус муҳофизатшавандаи (ҲТММ)

минтақаи Кӯлоб шомил ҳастанд: мамнуъгоҳи Даштиҷум, парваришгоҳи Чилдухтарон, Даштиҷум, Сиёҳкӯҳ, ва боғи табиӣ таърихи Сари Хосор инчунин Боғи ботаникии шаҳри Кӯлоб. Мавзёҳои дар боло зикршуда, аз ҷиҳати мавҷудияти шароитҳои геоморфологӣ ба минтақа хос ҷойгир буда, ин омил имконият медиҳанд, ки инкишофи соҳаҳои сайёҳии экологӣ ва рекреатсионӣ инкишоф ёбад [3].

Мероси таърихӣ ва фарҳангӣ омилҳои калидӣ дар инкишофи сайёҳии муосир мешавад, зеро он хувияти фазои қаламравро ташаккул медиҳад, пайвастиҳои наслҳоро таъмин мекунад ва ҳамчун замина барои ҳамкориҳои байнифарҳангӣ хизмат мекунад. Тавре ки ЮНЕСКО қайд мекунад, дороиҳои мероси моддӣ ва ғайримоддӣ на танҳо қисми сармоияи фарҳангӣ, балки инчунин захираҳои муҳим барои нумӯи устувори иҷтимоию иқтисодии минтақаҳои саросари ҷаҳон маҳсуб

меёбад [8]. Захираҳои фарҳангӣ дар саноати сайёҳии ҷаҳонӣ мавқеи бартарӣ доранд: тибқи маълумоти Созмони Ҷаҳонии Сайёҳӣ (UNWTO), то 40% сафарҳои сайёҳии байналмилалӣ аз таваҷҷӯҳ ба фарҳанг, таърих ва анъанаҳо бармеоянд [9].

Барои Тоҷикистон, бо таърихи чандинасраи давлатдорӣ, мероси бойи бостоншиносӣ ва меъморӣ ва тамаркузи баланди анъанаҳои фарҳангии ғайримоддӣ, истифодаи аз ҷиҳати илмӣ асоснок ва систематикӣ иқтидорҳои фарҳангии он аҳамияти стратегӣ дорад. Тавре ки муҳаққиқон қайд мекунанд, мероси фарҳангии Осиёи Марказӣ омили пуриқтидори хувияти минтақавӣ мебошад ва дар сурати ҳамгироӣ ба инфрасохтори сайёҳӣ ва идоракунии давлатӣ метавонад ба омили рушди устувор табдил ёбад [10]. Бо назардошти афзоиши таваҷҷӯҳи байналмилалӣ ба масирҳои фарҳангии Роҳи бузурги Абрешим, идоракунии оқилонаи маконҳои меросӣ дар Тоҷикистон ба самти муҳим барои тақвияти устувори иҷтимоӣ иқтисодӣ ва баланд бардоштани рақобатпазирии бахши сайёҳии кишвар табдил меёбад [12].

Минтақаи тадқиқотӣ

Минтақаи Кӯлоб, ки дар қисмати шарқии вилояти Хатлон ҷойгир аст, анъанавӣ яке аз қадимтарин марказҳои фарҳанг ва давлатдорӣ дар Осиёи Марказӣ ба ҳисоб меравад. Нақши таърихӣ он дар ташаккули анъанаҳои маънавӣ ва сиёсӣ, икишофи ҳунармандӣ, паҳн кардани фарҳанги исломӣ ва тақвияти хувияти минтақавӣ аҳамияти баланди мероси онро барои инкишофи сайёҳии фарҳангӣ ва маърифатӣ муайян мекунанд. Бо вучуди ин иқтидори бой, истифодаи он нокифоя боқӣ мемонад. Як қатор маконҳо ба барқарорсозӣ ва ҳифз ниёз доранд, инфрасохтори сайёҳӣ пароканда аст ва масирҳои мавҷуда ба системаи ягона муттаҳид карда нашудаанд, ки ин рақобатпазирии онҳоро коҳиш медиҳад

ва вуруди меҳмононро маҳдуд мекунанд.

Зарфиятҳои захираҳои табиӣ: Нотакрор ва гуногунии манзараҳои табиӣ (кӯҳҳо, кӯлҳо, ҷангалҳо, дарёҳо, захираҳои маъданӣ ва ғ.) [1];

Бо назардошти ин шароит, ҳадафи ин таҳқиқот гузаронидани таҳлили ҳамачонибаи мероси таърихӣ ва фарҳангии минтақаи Кӯлоб ва муайян кардани имкониятҳо барои ворид кардани самараноки он ба фаъолияти сайёҳӣ мебошад. Ноил шудан ба ин ҳадаф истифодаи маҷмӯи васеи роҳҳои методологиро барои таъмини омӯзиши ҳамачонибаи масъалаҳои баррасишаванда талаб менамояд.

Асосҳои методологӣ таҳқиқот дар асоси равиши системавӣ асос ёфтаанд, ки имкон медиҳад, ки маконҳои табиӣ таърихӣ ва фарҳангӣ ҳамчун унсурҳои ба ҳам алоқаманди иқтидорӣ сайёҳии минтақавӣ баррасӣ шаванд. Равишҳои табиӣ таърихӣ ва генетикӣ, ки барои таҳлили пайдоиш ва таҳаввули ёдгориҳои табиӣ таърихӣ фарҳангӣ истифода мешавад; равиши табиӣ, ки барои ошкор намудани арзиши асли ва рамзии онҳо нигаронида шудааст; ва равиши сайёҳӣ захиравӣ, ки арзёбии имконоти истифодаи амалии онҳоро дар сайёҳӣ таъмин мекунанд.

Натиҷаи таҳлил

Аз байни маконҳои боқимонда, шаҳраки Ҳулбук фарқ мекунанд. Ин як маҷмааи беназири бостоншиносӣ аст, ки аз асрҳои 8-12 сарчашма мегирад ва бо империяи Хатлон алоқаманд аст. Он маркази муҳими давлатдории асримӣ ёнагӣ ва анъанаҳои бадеӣ мебошад. Ёдгории ба ҳамин андоза муҳим мақбараи Мир Саид Алии Ҳамадонӣ мебошад, ки яке аз бузургтарин маконҳои маънавӣ ва зиёрат дар Осиёи Марказӣ буда, ҳам барои меъморӣ ва ҳам барои аҳамияти динӣ ва фарҳангии худ сайёҳони зиёдеро ҷалб мекунанд. Гурӯҳи муҳими маконҳои фарҳангӣ қалъаҳо ва маконҳои қадимиро дар бар мегирад, ба монанди Қалаи Кӯлоб, Кавтон ва Теппейшоҳ, ки ба мо им-

кон медиҳанд, ки топографияи таърихии минтақаро аз нав барқарор кунем ва хусусиятҳои системаи мудофиавии онро дарк кунем. Осорхонаҳо ва муассисаҳои фарҳангӣ ва таълимӣ дар ҳифз ва таблиғи ин мерос нақши муҳим доранд, аз ҷумла Осорхонаи таърихии 2700 солагии шаҳри Кӯлоб, ки дорои доираи васеи маводҳои бостоншиносӣ, этнографӣ ва таърихӣ мебошад. Унсурҳои мероси ғайримоддӣ, аз ҷумла хунарҳои анъанавӣ, таомҳои миллӣ, фолклор, маросимҳо ва идҳо, бахусус Наврӯз, ҷузъи муҳими фазои фарҳангии минтақа боқӣ мемонанд. Ин анъанаҳо робитаи дурахшон байни муосирӣ ва таҷрибаи таърихии мардумро нигоҳ медоранд. Таҳқиқоти саҳроӣ нишон дод, ки вазъи кунунии иншооти меросӣ хеле гуногунҷабҳа боқӣ мемонад. Ёдгориҳои аз ҳама беҳтар нигоҳдорӣ ва нигоҳдорӣшуда шаҳраки Хулбук ва мақбараҳои Мир Сайид Алии Ҳамадонӣ, Хоҷаи Нӯр, мебошанд, зеро онҳо ба барномаҳои рӯшд ва барқарорсозии давлатӣ дохил карда шудаанд. Аммо, сарфи назар аз ҳолати умумии қаноатбахши онҳо, ин иншоот аз ҷиҳати тафсири экосайёҳӣ, аз ҷумла навсозии маводҳои иттилоотӣ, ҷорӣ намудани технологияҳои мултимедиявӣ ва беҳтар намудани сифати хизматрасонии сайёҳӣ, ба навсозии минбаъда ниёз доранд. Ин раванд барои доираи васеътари меҳмонон, аз ҷумла сайёҳони хориҷӣ, дастрастар ва ҷолибтар мегардонад.

Мавзёҳои дигар, бахусус як қатор мавзёҳои бостоншиносӣ, аз сабаби омилҳои табиӣ, набудани инфрасохтори муҳофизатӣ ва нокифоя будани корҳои барқарорсозӣ, бо харобшавӣ рӯбарӯ мешаванд. Мавзёҳои аз ҳама осебпазир онҳое мебошанд, ки берун аз минтақаи марказии шаҳр ҷойгиранд, ки дар онҳо талошҳои ҳифзи табиат каманд. Ин мавзёҳо инчунин ба инфрасохтори сайёҳӣ суғурӯворид карда шудаанд: онҳо роҳҳои қулайи дастрасӣ, аломатҳои навигатсионӣ, ҷойҳои истироҳатӣ ва

минтақаҳои хизматрасонӣ надоранд, ки истифодаи онҳо дар масирҳои сайёҳӣ ба таври назаррас маҳдуд мекунад. Набудани робитаҳои нақлиётӣ вазъиятро бадтар мекунад ва дастрасии ҳатто мавзёҳоеро, ки дорои иқтидори баланди таърихӣ ва фарҳангӣ мебошанд, коҳиш медиҳад.

Муҳокимаи натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳад, ки мероси таърихӣ ва фарҳангии минтақаи Кӯлоб дорои иқтидори назарраси сайёҳӣ мебошад, ки агар дуруст идора карда шавад, метавонад асоси рушди устувори сайёҳии таърихию фарҳангиро вусат диҳад. Ҷолибияти ин мавзёҳо аз рӯи умқи таърихӣ, беназирии меъморӣ ва аҳамияти маънавӣ ва фарҳангии онҳо муайян карда мешавад. Маҷмааҳои асрҳои миёна, зиёратгоҳҳои исломӣ, мавзёҳои бостоншиносӣ ва анъанаҳои бойи этнографӣ фазои фарҳангии бисёрҷонибаро ташкил медиҳанд, ки имкон медиҳад масирҳои гуногуни сайёҳӣ барои сайёҳии дохилӣ ва воридотӣ эҷод карда шаванд. Мавҷудияти маконҳои, ки барои сайёҳии фарҳангӣ, таълимӣ, динӣ, бостоншиносӣ, этнографӣ ва ҷорабиниҳо талабот доранд, гуногунҷабҳагии минтақаро нишон медиҳад ва имкониятҳоро барои таҳияи барномаҳои бисёрсоҳавӣ, ки барои категорияҳои гуногуни меҳмонон тарҳрезӣ шудаанд, фароҳам меорад.

Аммо, таҳқиқот инчунин маҳдудиятҳои ҷиддиеро ошкор кард, ки рушди сайёҳиро бозмедоранд. Яке аз масъалаҳои асосӣ хусусияти парокандаи инфрасохтори сайёҳӣ боқӣ мемонад: дар бисёр маконҳо роҳҳои хуб нигоҳдошташудаи дастрасӣ, аломатҳои ишоравӣ, минтақаҳои истироҳатӣ ва хизматрасониҳои зарурӣ мавҷуд нестанд. Дар соҳаи тафсири мероси фарҳангӣ низ камбудии мавҷуданд: дар баъзе мавридҳо, маводҳои иттилоотӣ мавҷуд нестанд, роҳбаландони сайёҳӣ аз системаҳои кӯхнаи интиқоли иттилоот истифода мебаранд ва

барномаҳои экскурсия на ҳамеша ба талаботи муосир ҷавобгӯ мебошанд. Норасоии кадрҳои омӯзишдида - роҳбаладҳо, роҳбаладони сайёҳӣ ва мутахассисони мероси фарҳангӣ - ба сифати хизматрасонии сайёҳӣ таъсири назаррас мерасонад ва имконияти пешниҳоди хизматрасонии босифатро ба сайёҳон маҳдуд мекунад. Маҳдудияти дигари назаррас сатҳи пасти рақамикунонии маконҳо мебошад: набудани намоишгоҳҳои мултимедиявӣ, сайёҳатҳои виртуалӣ ва роҳҳои ҳалли муосири интерактивӣ чолибияти ёдгориҳоро барои ҷавонон ва меҳмонони хориҷӣ коҳиш медиҳад. Ғайр аз ин, маблағгузориҳои нокифоя барои ҳифз, барқарорсозӣ ва таблиғи маконҳои меросӣ рушди дарозмуддат ва ҳамгирии самараноки онҳоро ба бозори сайёҳӣ бозмедорад. Бо вучуди мушкилоти муайяншуда, таҳлил як қатор самтҳои умедбахшро муайян мекунад, ки метавонанд самаранокии мероси таърихӣ ва фарҳангиро дар сайёҳӣ ба таври назаррас афзоиш диҳанд. Яке аз қадамҳои муҳимтарин таъсиси масирҳои сайёҳии муттаҳидшуда мебошад, ки муҳимтарин ҷойҳои минтақаро, ба монанди Мақбараи Мир Саид Алии Ҳамадонӣ, шаҳраки Хулбук ва дигар ёдгориҳои бостоншиносӣ ва муқаддасро мепайвандад. Чунин масирҳо метавонанд шакли барномаҳои сайёҳии мавзӯӣ, сафарҳои зиёратӣ ё сафарҳои этникӣ-фарҳангӣ, аз ҷумла боздид аз деҳаҳои хунармандон ва шиносии хунарҳои анъанавӣ дошта бошанд.

Рушди инфрасохтор бояд дар сиёсати сайёҳии минтақавӣ афзалият дошта бошад. Беҳтар намудани роҳҳои дастрасӣ, эҷоди минтақаҳои бароҳати истироҳатӣ, беҳтар намудани роҳбалад ва муосирсозии осорхонаҳо сифати хизматрасонӣ ва афзоиши ҷараёни сайёҳонро беҳтар менамояд. Ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ низ муҳим аст: эҷоди сайёҳатҳои виртуалӣ, харитаҳои интерактивӣ ва барномаҳои мобилӣ дастрасиро ба мероси васеъ мекунад, дар ҳоле ки на-

моишгоҳҳои мултимедиявӣ арзиши таълимӣ ва фарҳангии осорхонаҳо ва ҷойҳои таърихиро ба таври назаррас афзоиш медиҳанд.

Рушди сайёҳии ҷорабиниҳо имкониятҳои назаррасро фароҳам меорад. Ташкили фестивалҳо, эҳёи таърихӣ, намоишгоҳҳои мавзӯӣ ва намоиши анъанаҳои хунармандӣ имкон фароҳам меоварад, ки минтақаи Кӯлоб ҳамчун маркази фарҳангӣ тақвият медиҳад ва ҷараёни сайёҳии иловагиро ҷалб мекунад. Иштироки фаъоли ҷомеаҳои маҳаллӣ барои бомуваффақият анҷом додани ин ҷорабиниҳо калиди муҳим аст. Дастгирии марказҳои хунармандӣ, омӯзиши роҳбаладҳо, рушди меҳмонхонаҳои оилавӣ ва ҷалби аҳолии маҳаллӣ ба фаъолиятҳои сайёҳӣ на танҳо ба ҳифзи анъанаҳои фарҳангӣ мусоидат мекунад, балки барои сокинони минтақа манбаъи нави даромад низ фароҳам меорад.

Хулосаҳо

Бояд қайд кард, ки мероси таърихӣ ва фарҳангии минтақаи Кӯлоб на танҳо арзиши назарраси илмӣ ва фарҳангӣ дорад, балки захираи муҳими стратегӣ барои таҳияи маҳсулоти сайёҳии рақобатпазир ва устувор мебошад. Гуногунии маконҳои мероси моддӣ ва ғайримоддӣ, умқи таърихии онҳо ва беназирии фарҳангии онҳо заминаи мустақкамеро барои рушди шаклҳои гуногуни сайёҳӣ фароҳам меорад. Таҳлилҳои пешниҳодшуда имконият фароҳам меоварад, ки бо дастгирии мақсадноки Ҳукумати мамлакат, навсозии инфрасохтор ва татбиқи равишҳои муосир ба тафсир ва таблиғи мероси минтақа метавонад ҷараёни рушди соҳаи сайёҳиро ба таври назаррас афзоиш диҳад, шуғлро афзоиш диҳад ва ҳувияти фарҳангии худро тақвият диҳад.

Истифодаи оқилона ва устувори маконҳои мероси таърихӣ ва фарҳангӣ равиши ҳамачонибаро талаб мекунад, ки зарурати нигоҳдории онҳо, омӯзиши илмӣ, идоракунии босалоҳият ва

дастрасии меҳмононро ба назар ме-
гирад. Иштироки ҷамоатҳои маҳаллӣ дар
ин раванд нақши муҳим мебозад, зеро
онҳо дорандаи анъанаҳои фарҳангӣ ва
иштирокчиёни мустақими ҷаҳонӣ ва
сайёҳӣ мебошанд. Рушди сайёҳии фарҳан-
гӣ, зиёратӣ ва чорабиниҳо дар минтақа
имкониятҳои васеъро барои рушди иқти-
моию иқтисодӣ фароҳам меорад ва ҳамза-
мон ҳифзи мероси таърихиро тақвият
медихад ва имичи мусбати минтақаро
ташаккул медиҳад. Бо назардошти аф-
зоиши таваҷҷӯҳ ба сайёҳии фарҳангӣ,
минтақаи Кӯлоб тамоми имкониятҳоро
барои табдил шудан ба яке аз маконҳои
пешбари сайёҳӣ дар ҷануби Тоҷикистон
дорад.

Адабиёт

1. Гадоев Ш. Имкониятҳо ва самтҳои афзалият-
ноки рушди сайёҳии таърихӣ ва экосайёҳӣ дар
худудҳои муҳофизатшавандаи Тоҷикистони
Ҷанубӣ // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷи-
кистон, Бахши илмҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва
ҷамъиятӣ, 2025. - №8. - С.214-221.
2. Гадоев, Ш. Возможности организации эко-
логического туризма на территории заповед-
ника «Дашти Джум» // Вестник ТНУ, 2017. -
С.123-128.
3. Гадоев Ш. Иқтидорҳои сайёҳии худудҳои
махсус ҳифзшавандаи минтақаи Кӯлоб ҳамчун
объекти туризми экологӣ // Пайёми Дониш-
гоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон, 2025. -
№1 (56). - С.93-99.
4. Гадоев Ш.Д. Муллоализода М., Природные
передпосылки для экотуризма в государст-
венном заказнике «Зеравшан» анализ и
перспективы // Вестник Хорогского государ-
ственного университета имени М.Назаршое-
ва, 2025. - С.144-152.
5. Ҷабаров Р.С. Истифодаи самараноки
захираҳои сайёҳии парваришгоҳи Чил-
духтарони ноҳияи Муъминобод // Пайёми До-
нишгоҳи давлатии Хоруғ ба номи М.Назар-
шоев, 2025. - №2 (02). - С.221-225.
6. Нозимова И.И., Зикирова Д.С. Худудҳои та-
бии махсус муҳофизатшавандаи Ҷумҳурии
Тоҷикистон ҳамчун объекти туризми экологӣ
// Паёми Донишгоҳи давлатии Хоруғ ба номи
М.Назаршоев, 2024. - №3 (31). - С.194-196.
7. Зоиров И.Б. Ҷойгоҳи мамнуъгоҳҳои табиӣ
дар рушди туризм экологӣ // Паёми Дониш-
гоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи
С.Айнӣ, 2024. - №1. - С.15-23.
8. UNESCO World Heritage and Sustainable
Tourism Programme. – Paris: UNESCO
Publishing, 2017. – 58 p.
9. UNWTO Tourism and Culture Synergies. –
Madrid: World Tourism Organization, 2020. –
112 p.
10. Тимофеева Л.Н. Культурное наследие как
ресурс устойчивого развития регионов
Центральной Азии // Вестник Евразийской
науки. – 2019. – № 4. – С. 45–58.
11. Мухаммадиева Н.Ш. Культурный туризм
в странах Центральной Азии: тенденции и
перспективы. – Душанбе: Ирфон, 2021. – 164 с.
12. Holloway J.C. Heritage Tourism in the Modern
World. – London: Routledge, 2019. - 214 p.

ПРИРОДНЫЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КУЛОБСКОГО РЕГИОНА: ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭКОТУРИСТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

Бозоров Х.Т.^{1,*}

¹Кулябский государственный университет имени А. Рудаки

*Автор-корреспондент. E-mail: gadoe88.@list.ru

Аннотация. В статье рассматривается историко-культурное наследие Кулябского региона как важнейший ресурс развития культурного туризма в южном Таджикистане. На основе системного, историко-генетического, культурологического и туристско-ресурсного подходов проведён комплексный анализ материальных и нематериальных объектов наследия, включающих археологические комплексы, архитектурные сооружения, религиозные памятники и элементы традиционной культуры. Полевые обследования, сравнительно-исторический анализ и экспертные интервью позволили выявить современное состояние объектов, определить актуальные проблемы их сохранения и использования, а также оценить уровень туристской инфраструктуры. Установлено, что историко-культурное наследие региона обладает высокой научной, культурной и туристской ценностью, однако его потенциал используется недостаточно из-за фрагментарности инфраструктуры, слабой туристской интерпретации, недостатка профессиональных кадров и низкого уровня цифровизации. В работе обоснованы перспективные направления эффективного ис-

пользования наследия в туризме, включающие развитие инфраструктуры, создание комплексных маршрутов, внедрение цифровых технологий, расширение событийных практик и активное вовлечение местных сообществ. Сделан вывод о том, что при целенаправленной государственной поддержке и комплексном управлении Кулябский регион может стать одним из ведущих центров культурного и паломнического туризма в Таджикистане.

Ключевые слова: Историко-культурное наследие; культурный туризм; Кулябский регион; археологические памятники; нематериальное наследие; туристско-рекреационный потенциал; паломнический туризм; инфраструктура; интерпретация наследия; устойчивое управление; локальные сообщества.

NATURAL AND HISTORICAL RESOURCES OF THE KULOB REGION: PROSPECTS FOR EXPLOITATION IN THE ECO-TOURISM SPHERE

Bozorov H.T.^{1,*}

¹*Kulob State University named after A. Rudaki*

*Corresponding author. E-mail: gadoe88.@list.ru

Abstract. *The article examines the historical and cultural heritage of the Kulob region as a key resource for the development of cultural tourism in southern Tajikistan. Based on systemic, historical-genetic, cultural and tourism-resource approaches, a comprehensive analysis of tangible and intangible heritage objects has been conducted, including archaeological complexes, architectural structures, religious monuments and elements of traditional culture. Field surveys, comparative-historical analysis and expert interviews made it possible to identify the current condition of heritage sites, determine the main challenges of their preservation and use, and assess the level of tourism infrastructure. The study reveals that despite the high scientific, cultural and tourism value of the region's heritage, its potential remains underutilized due to fragmented infrastructure, insufficient tourist interpretation, lack of qualified personnel and a low level of digitalization. The article substantiates promising directions for the effective use of heritage in tourism, such as the development of infrastructure, creation of integrated routes, introduction of digital technologies, expansion of cultural events and active involvement of local communities. It is concluded that with targeted state support and comprehensive management, the Kulob region can become one of the leading centers of cultural and pilgrimage tourism in Tajikistan.*

Keywords: *Historical and cultural heritage; cultural tourism; Kulob region; archaeological monuments; intangible heritage; tourism and recreation potential; pilgrimage tourism; infrastructure; heritage interpretation; sustainable management; local communities.*

Маълумот дар бораи муаллиф: Бозоров Ҳасан Тағоевич – унвонҷӯи Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи А.Рӯдакӣ, E-mail: gadoe88.@list.ru.

Сведения об авторе: Бозоров Хасан Тағоевич – соискатель Кулябского государственного университета имени А.Рудакӣ, E-mail: gadoe88.@list.ru.

Information about the author: Bozorov Hasan Tagoevich – applicant of the Kulyab State University named after A. Rudaki, E-mail: gadoe88.@list.ru.

ҚОИДАҲО БАРОИ МУАЛЛИФОНИ
Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и
Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Мақолаҳои илмӣ, ки барои нашр ба маҷалла пешниҳод мегарданд, бояд ба талаботи зерин ҷавобгӯ бошанд: а) мақолаи илмӣ бояд бо назардошти талаботи муқаррарнамудаи маҷалла омода гардида бошад; б) мақола бояд натиҷаи тадқиқоти илмӣ бошад; в) мавзӯи мақола бояд ба яке аз самтҳои илмӣ маҷалла мувофиқат наояд.

Мақолаҳое, ки дар матни онҳо маводи дигар муаллифон бе овардани иқтибос истифода шудаанд, ба баррасии марҳилаҳои навбатӣ пешниҳод намегарданд ва ин гуна мақолаҳо дар маҷалла ба ҷоп роҳ дода намешаванд.

Талабот нисбат ба таҳияи мақолаҳои илмӣ:

Матни мақола бояд дар формати Microsoft Word омода гардида, бо ҳуруфи Times New Roman барои матнҳои русӣ англисӣ ва бо ҳуруфи Times New Roman Tj барои матни тоҷикӣ таҳия гардида, дар матн ҳаҷми ҳарфҳо 14, ҳошияҳо 2,5 см ва фосилаи байни сатрҳо бояд 1,5 мм бошад.

Формулаҳо, аломатҳо ва нишонаҳои ҳарфҳои бузургҳо бояд дар муҳаррири формулаи Microsoft Equation ва ё Math Type (ҳуруфи 12) ҳуруфчинӣ карда шаванд. Танҳо он формулаҳое, ки ба он истинод оварда шудаанд, рақамгузорӣ карда мешаванд.

Нақшаҳо, схемаҳо, диаграммаҳо ва расмҳо бояд рақамгузорӣ карда шаванд ва инчунин, онҳо бояд номи шарҳдиҳанда дошта бошанд.

Ҳаҷми мақола бо формати А4 бо назардошти рӯйхати адабиёти истифодашуда ва аннотатсияҳо аз 10 то 15 саҳифаро бояд дар бар гирад.

Сохтори мақола бояд бо тартиби зерин таҳия гардад:

1. Индекси УДК барои мақола;
2. Номи мақола (I - Моҳияти тадқиқотро кӯтоҳ ва дақиқ инъикос мекунад; II - Баъзан калимаҳои калидиро дар бар мегирад);
3. Насаб ва дар шакли ихтисор ном ва номи падар;
4. Номи муассисае, ки дар он муаллиф (он) қору фаъолият менамояд (янд), нишонии муассиса, шаҳр, кишвар;
5. Почтаи электронии муаллифи масъул;
6. Шарҳи мухтасар (I - Хулосаи мухтасари мазмуни мақола (100–250 калима); II - Ҳадаф, усулҳо, натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳои нишон медиҳад; III - Бо услуби кӯтоҳ ва иттилоотӣ навишта мешавад);
7. Калидвожаҳо (I - 4–8 калима ё иборае, ки муҳтавои асосии мақоларо инъикос мекунад; II - Барои ҷустуҷӯ дар пойгоҳҳои додаҳои истифода мешаванд);
8. Муқаддима (I - Аҳамият ва зарурати мавзӯро асоснок мекунад; II - Масъалаи илмиро баён мекунад; III - Шарҳи адабиёт (таҳқиқоти қаблӣ); IV -Ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот; V - Гипотеза (агар бошад); V - Шарҳи кӯтоҳи усулҳои истифодашуда;
9. Мавод ва усулҳо (I - Тавсифи муфассали усулҳо, таҷҳизот ва равишҳои истифодашуда; II - Тадқиқоти таҷрибавӣ ё назариявиро шарҳ медиҳад; III - Бояд имкони такрор кардани тадқиқотро фароҳам оварад);
10. Натиҷаҳо (I - Пешниҳоди маълумоти бадастомада; II - Аксаран бо ҷадвалҳо, графикҳо ва расмҳо ҳамроҳӣ мешавад; III - Тавсифи мешавад, бе тафсири амик);
11. Мубоҳиса (I - Тафсири натиҷаҳо; II - Муқоиса бо таҳқиқоти дигар; III - Шарҳи эҳтимолии сабабҳои натиҷаҳо; IV - Маҳдудиятҳои тадқиқот);
12. Хулоса (I - Хулосаи кӯтоҳ аз натиҷаҳои асосӣ; II - Чӣ муайян ё исбот карда шуд; III - Пешниҳодҳо барои тадқиқоти оянда);
13. Миннатдорӣ (I – Ёдоварии номҳои ташкилотҳо, грантҳо ё шахсоне, ки ёрӣ расонданд);
14. Адабиёт (I - на камтар аз 10 номгӯй ва на бештар аз 20 номгӯйи адабиёти илмӣ; II - Ҳама манобеъе, ки муаллиф истинод кардааст; III - Мувофиқи стандарти муайян навишта мешавад (APA, MLA, ГОСТ ва ғ.);
15. Номи мақола, аннотатсия ва калидвожаҳо (агар мақола бо забони тоҷикӣ бошад, аннотатсия ва калидвожаҳо бо забонҳои русӣ ва англисӣ; агар мақола бо забони русӣ бошад, аннотатсия ва калидвожаҳо бо забонҳои тоҷикӣ ва англисӣ; агар мақола бо забони англисӣ бошад, аннотатсия ва калидвожаҳо бо забонҳои тоҷикӣ ва русӣ таҳия гарданд);
16. Дар охири мақола бо ду забон (русӣ ва англисӣ) маълумот дар бораи муаллиф (он) бо тартиби зерин нишон дода шавад: насаб, ном ва номи падар (пурра), дарҷаи илмӣ ва унвони илмӣ (агар бошанд), номи муассисае, ки дар он муаллиф қору фаъолият менамояд, вазифаи ишғолнамуда, телефон, e-mail.

Ҳангоми иқтибосоварӣ адабиёти истифодашуда ва саҳифаи мушаххаси он бояд дар қавси ҷаҳоркунча □ нишон дода шавад. Намуна: [7], яъне адабиёти №7.

Эътимоднокии маводҳо ба зиммаи муаллиф (муаллифон) гузошта мешавад.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
Научного журнала «Водные ресурсы, энергетика и экология»
Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии
Национальной академии наук Таджикистана

Научные статьи, представленные для публикации в журнале, должны соответствовать следующим требованиям: а) научная статья должна быть подготовлена в соответствии с требованиями, установленными журналом; б) статья должна быть результатом научных исследований; в) тема статьи должна соответствовать одному из научных направлений журнала.

Статьи, в тексте которых использованы материалы других авторов без цитирования, не будут переданы на дальнейшее рассмотрение и такие статьи не будут допущены к публикации в журнале.

Требования к оформлению научных статей:

Текст статьи должен быть подготовлен в формате Microsoft Word, шрифтом Times New Roman для русского и английского текста и Times New Roman Tj для таджикского текста, кегль 14, поля 2,5 см со всех сторон, интервал 1,5 мм.

Формулы, символы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или Math Type (шрифт 12). Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Таблицы, схемы, диаграммы и рисунки нужно сгруппировать и пронумеровать, а также, они должны иметь название.

Объем статьи (включая аннотацию и список литературы) должен быть в пределах от 10 до 15 страниц в формате А4.

Статья должна иметь следующую структуру:

1. Индекс УДК на статью;
2. Название статьи (I - Кратко и точно отражает суть исследования; II - Иногда включает ключевые термины);
3. Фамилия и инициалы автора;
4. Название организации, в которой работает автор (ы) статьи, почтовый адрес организации, город, страна;
5. Электронная почта автора-корреспондента;
6. Аннотация (I - Краткое резюме содержания статьи (100–250 слов); II - Указывается цель, методы, основные результаты и выводы; III - Пишется в сжатом и информативном стиле);
7. Ключевые слова (I - 4–8 слов или фраз, отражающих основное содержание статьи);
8. Введение (I - Обоснование актуальности темы; II - Постановка научной проблемы; III - Обзор литературы (предыдущие исследования); IV - Цель и задачи исследования; V - Гипотеза (если применимо); VI - Методы исследования (иногда кратко);
9. Материалы и методы (I - Подробное описание используемых методов, приборов, подходов; II - Описывается экспериментальный или теоретический подход; III - Обеспечивает возможность воспроизведения исследования другими учёными;
10. Результаты (I - Представление полученных данных; II - Часто сопровождаются таблицами, графиками, рисунками; III - Описание, но без глубокой интерпретации);
11. Обсуждение (I - Интерпретация результатов; II - Сравнение с другими исследованиями; III - Объяснение возможных причин полученных эффектов; IV - Ограничения исследования;
12. Выводы (I - Краткое подведение итогов; II - Что удалось установить, доказать; III - Возможные перспективы дальнейших исследований);
13. Благодарности (I - Упоминание организаций, грантов, лиц, оказавших помощь);
14. Литература (I - не менее 10 и не более 25 наименований научной литературы; II - Все источники, на которые ссылается автор; III - Оформляется по определённому стилю (APA, MLA, ГОСТ и др.);
15. Название статьи, аннотация и ключевые слова на трех языках: таджикском, русском и английском;
16. В конце статьи на трех языках (таджикском, русском и английском) сведения об авторе (ах) в следующем порядке: ФИО автора (ов) полностью, ученая степень и ученое звание (если имеются), название организации, в которой работает автор (ы), должность, телефон, e-mail.

При цитировании конкретного материала ссылки указываются в квадратных скобках []. Образец: [7], т.е., литература.

За достоверность материалов ответственность несет автор (ы).

RULES FOR THE AUTHORS
of the Scientific Journal “Water Resources, Energy and Ecology”
of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology
of the National Academy of Sciences of Tajikistan

Scientific articles submitted for publication in the journal must meet the following requirements: a) the scientific article must be prepared in accordance with the requirements established by the journal; b) the article must be the result of scientific research; c) the topic of the article must correspond to one of the scientific directions of the journal.

Articles in the text of which materials of other authors are used without citation will not be submitted for further consideration and such articles will not be allowed for publication in the journal.

Requirements for the design of the scientific articles:

The text of the article should be prepared in Microsoft Word format, in Times New Roman font for Russian and English text and Times New Roman Tj for Tajik text, size – 14, fields – 2.5 cm from all directions, interval – 1.5.

Formulas, symbols and letter designations of quantities must be typed in the formula editor Microsoft Equation or Math Type (font 12). Only those formulas to which there are references are numbered.

Tables, diagrams, diagrams and figures must be grouped and numbered, and also, they must have a name.

The volume of the article (including annotation and bibliography) should be in the range of 10 to 15 pages of A4 format.

The article should have the following structure:

1. UDC index per article;
2. Title (I - Briefly and accurately reflects the essence of the research; II - Sometimes includes key terms);
3. Surname and initials of the author;
4. The name of the organization in which the author (s) of the article work, the postal address of the organization, the city, and the country;
5. Email of the author correspondent;
6. Abstract (I - A brief summary of the article's content (100–250 words); II - States the purpose, methods, main results, and conclusions; III - Written in a concise and informative style);
7. Keywords (I - 4–8 words or phrases that reflect the main content of the article; II - Help in indexing and searching in databases);
8. Introduction (I - Justifies the relevance of the topic; II - States the scientific problem; III - Literature review (previous research); IV - Research aim and objectives; V - Hypothesis (if applicable); VI - Brief mention of methods);
9. Materials and Methods (I - Detailed description of the methods, instruments, and approaches used; II - Describes experimental or theoretical approaches; III - Should provide enough detail for replication by other researchers);
10. Results (I - Presentation of the obtained data; II - Often accompanied by tables, graphs, or figures; III - Descriptive, without deep interpretation);
11. Discussion (I - Interpretation of the results; II - Comparison with other studies; III - Explanation of possible causes of observed effects; IV - Study limitations);
12. Conclusion (I - Summary of key findings; II - What was established or proven; III - Prospects for future research);
13. Acknowledgements (optional) (I - Mentions of organizations, grants, or individuals who provided assistance);
14. References (I - No less than 10 and no more than 25 titles of scientific literature; II - All sources cited by the author; III - Formatted according to a specific citation style (APA, MLA, Chicago, GOST, etc.);
15. Title of the article, abstract and keywords (if the article is in Tajik, the abstract and keywords are drawn up in Russian and English; if the article is in Russian, the abstract and keywords are made out in Tajik and English; if the article is in English, abstract and keywords are drawn up in Tajik and Russian);
16. At the end of the article, in two languages (Russian and English), information about the author (s) in the following order: full name of the author (s), academic degree and academic title (if any), name of the organization in which the author (s) works, position, phone, e-mail.

When citing specific material, links are indicated in square brackets []. Sample: [7], that is, the literature No.7.

The author (s) are responsible for the accuracy of the information.