

ВАЗОРАТИ САНОАТ ВА ТЕХНОЛОГИЯҲОИ НАВИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
MINISTRY OF INDUSTRY AND NEW TECHNOLOGIES OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

ДОНИШГОҶИ ТЕХНОЛОГИИ ТОҶИКИСТОН
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТАДЖИКИСТАНА
TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF TAJIKISTAN



МАВОДИ КОНФЕРЕНСИЯИ ИЛМӢ-АМАЛИИ
ҶУМҲУРИЯВӢ ДАР МАВЗУИ

«НАҚШИ ТАДҚИҚОТИ ДАҚИҚ ВА ТЕХНОЛОГИЯҲОИ РАҚАМӢ ДАР ОМУӢЗИШИ
ПИРЯХҲО ВА ЗАХИРАҲОИ ОБ» бахшида ба ҷаиши 35-солагии Истиқлолияти
давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои
табиатиносии, дақиқ ва риёӣ дар соҳаи илму маориф»
(3 июни соли 2026)

* * * * *

МАТЕРИАЛЫ МАТЕРИАЛЫ РЕСПУБЛИКАНСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«РОЛЬ ТОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗУЧЕНИИ ЛЕДНИКОВ И
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ», посвящённой празднованию 35-летия Государственной
независимости Республики Таджикистан и «Двадцатилетию изучения и развития
естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования»
(3 июня 2026 года)

* * * * *

PROCEEDINGS OF THE REPUBLICAN SCIENTIFIC
AND PRACTICAL CONFERENCE

«THE ROLE OF PRECISION RESEARCH AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF
GLACIERS AND WATER RESOURCES» dedicated to the celebration of the 35th
Anniversary of the State Independence of the Republic of Tajikistan and «Twenty
Years of Studying and Developing the Natural, Exact and Mathematical Sciences in
the field of Science and Education»
(3 June 2026)

Душанбе – 2026
Dushanbe – 2026

ҲАЙАТИ ТАДОРУКОТ

Раҳмонзода З.Ф. – д.и.и., профессор, ректори Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, раиси кумитаи тадорукот;
Насриддинзода М.Ш. – н.и.и., дотсент, муовини ректор оид ба таълим ва идораи сифати таҳсилот;
Яминзода З.А. – д.и.т., дотсент, муовини ректор оид ба илм ва татбиқот;
Икромӣ Х.И. – д.и.т., дотсент, муовини ректор оид ба равобити байналмилалӣ;
Гафоров Ф.М. – н.и.и., дотсент, муовини ректор оид ба инноватсия ва технологияҳои таълим;
Тошматов М.Н. – н.и.и., и.в. проф., мушовири ректор;
Сафарзода Ғ.Ғ. – н.и.таъ., мушовири ректор;
Зарифбеков М. – н.и.ф.-м., дотсент, сардори идораи таълимию методӣ;
Назарзода Р.С. – н.и.п., сардори идораи корҳои илмӣ-татбиқотӣ;
Мизозода Г.Х. – н.и.т., дотсент, декани факултети муҳандисӣ-технологӣ;
Чалилзода Ф.Р. – н.и.т., дотсент, декани факултети технология ва дизайн;
Алиқулов А.Р. – н.и.и., декани факултети технологияҳои иттилоотӣ ва интеллект сунъӣ;
Сатторзода А.А. – н.и.и., дотсент, декани факултети менеҷмент ва маркетинги байналмилалӣ;
Абдухаминов М.А. – н.и.ф.-м., и.в. дотсент, декани факултети телекоммуникасия ва таълимоти касбӣ;
Раҳимзода М.И. – н.и.и., и.в. дотсент, декани факултети иқтисодиёт ва молия;
Анушервони Ш. – н.и.т., и.в. дотсент, декани факултети таҳсилоти фосилавӣ ва ғоибона;
Олимбойзода П.А. – н.и.т., и.в. дотсент, мудири шуъбаи омодагии кадрҳои илмӣ ва илмӣ-педагогӣ.

ОРГКОМИТЕТ

Раҳмонзода З.Ф. – д.э.н., профессор, ректор Технологического университета Таджикистана, председатель оргкомитета;
Насриддинзода М.Ш. – к.э.н., доцент, проректор по учебной работе и управлению качеством образования;
Яминзода З.А. – д.т.н., и.о. профессора, проректор по науке и внедрению;
Икромӣ Х.И. – д.т.н., и.о. доцента, проректор по международным связям;
Гафоров Ф.М. – к.э.н., доцент, проректор по инновации и образовательным технологиям;
Тошматов М.Н. – к.э.н., доцент, советник ректора;
Сафарзода Ғ.Ғ. – к.ист.н., советник ректора;
Зарифбеков М. – к.ф.-м.н., доцент, начальник учебно-методического управления;
Назарзода Р.С. – к.п.н., начальник управления по науке и внедрению;
Мирзоода Г.Х. – к.т.н., доцент, декан инженерно-технологического факультета;
Джалилзода Ф.Р. – к.т.н., доцент, декан факультета технологии и дизайна;
Алиқулов А.Р. – к.э.н., декан факультета информационных технологий и искусственного интеллекта;
Сатторзода А.А. – к.э.н., доцент, декан факультета менеджмента и международного маркетинга;
Абдухаминов М.А. – к.ф.-м.н., и.о. доцента, декан факультета телекоммуникации и профессионального образования;
Раҳимзода М.И. – к.э.н., и.о. доцента, декан факультета экономики и финансов;
Анушервони Ш. – к.т.н., и.о. доцента, декан факультета дистанционного и заочного образования;
Олимбойзода П.А. – к.т.н., и.о. доцента, зав. отдела подготовки научных и научно-педагогических кадров.

* * * * *

Масъулияти муҳтаво ва эътимоднокии иттилооте, ки ба нашр пешниҳод шудаанд, ба дӯши муаллифон вогузур карда мешавад. Ҳайати таҳририя ба мазмуни маводи пешниҳодшуда ҷавобгӯ нест. Андешаи муаллифони мақолаҳо метавонанд ба нуқтаи назари ҳайати таҳририя мувофиқ наояд.

Ответственность за содержание и достоверность сведений, предоставляемых для опубликования, несут авторы. Редакция не несёт ответственности за содержание предоставленного материала. Мнение авторов публикаций может не совпадать с точкой зрения редакторов.

The authors are responsible for the content and accuracy of the information provided for publication. The editors are not responsible for the content of the material provided. The opinion of the authors of the publications may not coincide with the point of view of the editors.

* * * * *

Сборник конференции размещается в РИНЦ
The conference proceedings are posted in the RSCI
Маводҳои конференсия ба ШИИР ҷойгир шудаанд.

eLIBRARY.RU

© Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, 2026.
Душанбе, 2026. – 145 с.

МУНДАРИЧА – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1.	<i>Абдухоликова П., Рахматов Дж.Ш., Гулджонов Д.Н. ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТАДЖИКИСТАНА В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ ЛЕДНИКОВ: ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ GWO-ANFIS</i>	5
2.	<i>Азизов Р.О., Рахматов Дж.Ш., Расулов С. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИ НЕЧЁТКОГО АНАЛИЗА В ИЗУЧЕНИИ ЛЕДНИКОВ И УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ТАДЖИКИСТАНА</i>	11
3.	<i>Амирзода О.Х., Набизода З.А. ТЕХНОЛОГИИ ЭФФЕКТИВНОГО РАСХОДА ВОДЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ</i>	19
4.	<i>Артемяев В.С., Мокрона Н.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ...</i>	23
5.	<i>Асадуллаев Р.Д. ОБИ ОШОМИДАНӢ ВА ЗАРУРАТИ ҶАМКОРӢ ДАР ИН САМТ</i>	28
6.	<i>Ашурова Н.Э. СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ И УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ</i>	33
7.	<i>Ашурова Н.Э. РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЛЕДНИКОВ</i>	37
8.	<i>Байматова Н.И. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</i>	42
9.	<i>Битус Е.И., Артемяев В.С. ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ</i>	46
10.	<i>Битус Е.И., Медведев А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАБОТЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ</i>	52
11.	<i>Кодиров А.С., Зубайдов С. ТАЪСИРИ ТАҒЙИРӢБИИ ИҚЛИМ БА РАВАНДҶОИ ШИОЛОҒӢ</i>	58
12.	<i>Кодиров А.С., Кувватов Ф.М. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАНЬОНОВ ВАХШСКОЙ ДОЛИНЫ</i>	61
13.	<i>Максимов А.С., Артемяев В.С. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ</i>	64
14.	<i>Мокрона Н.В., Артемяев В.С. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО ВОДНОГО ПОТОКА</i>	69
15.	<i>Муродов П.Х., Кодиров Ш.С. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ И КАЧЕСТВА ВОДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВАРЗОБ</i>	74
16.	<i>Нажмудинова Ф.И., Расулов С., Рахматов Дж.Ш. ПЛАВУЧИЕ СЭС НА ЛЕДНИКОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВАХШСКОГО КАСКАДА: ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА</i>	77

17.	<i>Насруллоева Д.Х., Қодиров Ч.К. ТАҲАВВУЛОТИ ПИРЯХҶО ВА ЗАРУРАТИ МУҲОФИЗАТИ ЭКОЛОГИИ ФАЪОЛ ДАР ШАРОИТИ ГАРМИШИ ГЛОБАЛӢ</i>	83
18.	<i>Одинцов А.С., Владимирцева Е.Л., Кулакова В.А. СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТДЕЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОМБИНИРОВАННЫМИ ВОЛОКНИСТО-АЛЮМОСИЛИКАТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ...</i>	86
19.	<i>Одинцова О.И., Яминзода З.А., Анушервони Ш. ТОЧНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОХРАНЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ</i>	92
20.	<i>Олимджонзода У.О. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ</i>	100
21.	<i>Рахматов Дж.Ш. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И БУДУЩЕЕ ЛЕДНИКОВ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ...</i>	105
22.	<i>Саидзода В.Я., Давлятова А.Х. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ И КРИОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА</i>	111
23.	<i>Саидов Н.М., Абдумаликзода Н. РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ГИДРОЛОГИИ ВОДОХРАНИЛИЩ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА</i>	118
24.	<i>Саидов Ҳ.А., Мехрнигори Б., Самадова М.Ш., Шарифзода М.Б. ҲИФЗИ ПИРЯХҶО ДАР ЗАМОНИ МУОСИР ВА МОҶИЯТИ ОН</i>	124
25.	<i>Талабов О.Д. ОМИЛҶОИ ТАЪСИРАСОН БА ОБШАВИИ ПИРЯХҶО</i>	130
26.	<i>Тошматова З.М. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ И СОХРАНЕНИИ ЛЕДНИКОВ ТАДЖИКИСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА</i>	132
27.	<i>Усманова М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗАХ ТАЯНИЯ ЛЕДНИКОВ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	138

ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТАДЖИКИСТАНА В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ ЛЕДНИКОВ: ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ GWO–ANFIS

Абдухоликова П. - Центр инновационного развития науки и цифровых технологий Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе,

Рахматов Дж.Ш. - Центр инновационного развития науки и цифровых технологий Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе,

*Гулджонов Д.Н. - Институт математики им. А. Джуроева НАНТ, г. Душанбе
e-mail: abdukholiqovap95@mail.ru*

Глобальное потепление климата влечёт за собой ускоренную деградацию горных ледников Таджикистана, составляющих основной ресурс питания крупных водотоков Центральной Азии. По данным гляциологических наблюдений, за последние пять десятилетий площадь ледников страны сократилась более чем на 30%, что ведёт к нарастающей нестабильности поверхностного стока и усиливает стратегическую роль подземных артезианских водоносных горизонтов. В настоящей работе предложена гибридная модель GWO–ANFIS для цифрового мониторинга и прогнозирования теплового режима подземных вод Душанбинского артезианского бассейна. Входные переменные модели включают глубину скважины, температуру воды, теплопроводность водовмещающих пород и измеренный тепловой поток. Алгоритм оптимизации серым волком (GWO) автоматически настраивает параметры адаптивной нейро-нечёткой системы вывода (ANFIS), минимизируя ошибку прогноза в условиях нелинейной геотермальной среды. Гибридная модель GWO–ANFIS существенно превосходит автономную ANFIS: RMSE снижается с 12,4 до 7,6 (–38,7%), коэффициент детерминации R^2 возрастает с 0,82 до 0,93, критерий Нэша–Сатклиффа NSE — с 0,79 до 0,91. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применения точных цифровых технологий для управления подземными водными ресурсами в условиях климатической изменчивости и сокращения ледникового питания рек.

Введение. Ледники Таджикистана занимают площадь около 8 000 км² и формируют значительную долю речного стока в бассейнах Амударьи и Сырдарьи, обеспечивая водоснабжение миллионов жителей Центральной Азии. Многолетние гляциологические наблюдения фиксируют устойчивое сокращение ледникового покрова страны: за последние пять десятилетий его площадь уменьшилась более чем на 30% [11, 12]. Деградация ледников в

условиях изменения климата не только сокращает объём поверхностного стока, но и нарушает режим пополнения подземных водоносных горизонтов, питаемых в том числе инфильтрацией талых ледниковых вод.

В сложившихся условиях подземные артезианские воды Центрального Таджикистана приобретают всё большую стратегическую значимость для целей водоснабжения и обеспечения продовольственной безопасности. Душанбинский артезианский бассейн расположен в тектонически активной зоне и отличается выраженной пространственной неоднородностью геотермального теплового потока — от 40 до 160 Вт/м², определяемой системой разрывных тектонических нарушений и изменчивостью литологического разреза [11, 13]. Точный цифровой мониторинг теплового режима этого бассейна становится необходимым условием рационального управления данным стратегическим ресурсом в долгосрочной перспективе.

Традиционные регрессионные методы демонстрируют ограниченную применимость при описании нелинейных термических процессов в разреженных наборах скважинных данных [3, 4]. Адаптивная нейро-нечёткая система вывода (ANFIS) совмещает интерпретируемость нечётких правил с адаптивными возможностями нейронных сетей, однако существенно зависит от начальной инициализации параметров и подвержена преждевременной сходимости к локальным минимумам [8]. Алгоритм оптимизации серым волком (GWO) [5], имитирующий иерархическое охотничье поведение волчьей стаи, обеспечивает устойчивый глобальный поиск оптимальных решений и превосходит алгоритмы роя частиц (PSO) и генетический алгоритм (GA) в нелинейных оптимизационных задачах [6, 7]. Цель настоящей работы — разработка и верификация гибридной модели GWO–ANFIS для прогнозирования теплового потока подземных вод Душанбинского бассейна как инструмента точного цифрового мониторинга водных ресурсов в контексте деградации ледников и нарастающей климатической нестабильности.

Методология GWO–ANFIS. Архитектура ANFIS реализована в виде пятислойной нейронно-нечёткой сети типа Сугено. На первом слое осуществляется фаззификация входных переменных с применением гауссовых функций принадлежности; второй слой вычисляет степени активации правил как произведение соответствующих функций; третий нормирует веса правил; четвёртый вычисляет линейные консеквентные параметры; пятый производит взвешенную агрегацию выходного значения [8, 9]. Нечёткие правила вывода типа Сугено имеют вид:

$$\text{Если } x \in A_i \text{ и } y \in B_i, \text{ то } f_i = p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i, \quad i = 1, 2. \quad (1)$$

Алгоритм GWO моделирует трёхуровневую иерархию поиска: доминирующий волк (α) направляет движение стаи к области оптимума при поддержке волков β и δ , тогда как волки ω обновляют свои позиции согласно правилу:

$$X(t+1) = (X\alpha + X\beta + X\delta) / 3, \quad (2)$$

где управляющий параметр a равномерно убывает от 2 до 0 по ходу итераций, обеспечивая плавный переход от фазы глобального исследования к локальной эксплуатации и исключая преждевременную сходимость к субоптимальным решениям [5].

В гибридной схеме GWO–ANFIS алгоритм оптимизации одновременно настраивает антецедентные параметры функций принадлежности и консеквентные линейные коэффициенты ANFIS, минимизируя среднеквадратическую ошибку прогноза (RMSE). Входные переменные модели: глубина скважины (м), температура воды ($^{\circ}\text{C}$), теплопроводность водовмещающих пород ($\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), измеренный тепловой поток ($\text{Вт}/\text{м}^2$); выходная переменная — прогнозируемый тепловой поток водоносного горизонта. Совместная оптимизация всех параметров устраняет зависимость ANFIS от случайной инициализации и существенно повышает обобщающую способность модели при работе с разреженными скважинными данными [3, 6].

Данные и результаты. Обучение и верификация модели выполнены на материалах скважинных измерений в пределах Душанбинского артезианского бассейна [13, 14, 15, 16]. Анализ исходных данных позволил выявить две устойчивые закономерности. Первая: температура подземных вод закономерно возрастает с увеличением глубины скважины в соответствии с геотермическим градиентом бассейна; локальные отклонения от общего тренда отражают пространственную неоднородность геотермических условий, обусловленную системой тектонических разрывных нарушений. Вторая: подавляющее большинство измеренных значений температур воды сосредоточено в диапазоне $20\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$; значения ниже $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствуют зонам локальных геотермальных аномалий, представляющих практический интерес для развития технологий геотермальных тепловых насосов [10, 11].

Сравнение показателей качества моделей приведено в Таблице 1. Гибридная модель GWO–ANFIS превосходит автономную ANFIS по всем четырём метрикам: снижение RMSE на 38,7% и MAE на 45,9% свидетельствует о значительном уменьшении абсолютных ошибок прогноза, а рост NSE с 0,79 до 0,91 указывает на высокое соответствие модели физическим процессам теплопереноса в водоносном горизонте. Достигнутый прирост точности обусловлен способностью GWO эффективно оптимизировать параметры ANFIS в многомерном нелинейном пространстве поиска без преждевременного захвата локальных минимумов [5, 20].

Таблица 1. Сравнение показателей качества моделей ANFIS и GWO–ANFIS.

Модель	RMSE	MAE	R ²	NSE
ANFIS (автоном.)	12,4	9,8	0,82	0,79
GWO–ANFIS (гибр.)	7,6	5,3	0,93	0,91
Улучшение	–38,7%	–45,9%	+13,4%	+15,2%

Сравнительный анализ алгоритмов оптимизации (Таблица 2) подтверждает преимущества GWO перед PSO и GA: низкая чувствительность к гиперпараметрам и иерархическая структура поиска (α – β – δ – ω) обеспечивают надёжную сходимость в условиях нелинейных геотермальных зависимостей и неполноты массива скважинных данных [6, 7]. Данное свойство особенно важно при мониторинге подземных водных ресурсов в регионах с дефицитом измерительной инфраструктуры, характерным для горных артезианских бассейнов Таджикистана.

Таблица 2. Сравнительный анализ алгоритмов оптимизации для задач мониторинга водных ресурсов.

Критерий	GWO	PSO / GA
Чувствит. к параметрам	Низкая (один параметр α)	Средняя — высокая
Баланс поиска	Высокий (α – β – δ – ω иерархия)	PSO — склонен к преждевр. сход.; GA — медл. сход.
Риск лок. минимумов	Низкий	PSO: средний; GA: низкий
Применимость к нелин. задачам	Высокая	Удовлетворительная

Заключение. Прогрессирующая деградация горных ледников Таджикистана в сочетании с изменением климата обуславливает необходимость внедрения точных цифровых технологий мониторинга подземных водных ресурсов как стратегической альтернативы сокращающемуся ледниковому стоку. В настоящей работе разработана и верифицирована гибридная модель GWO–ANFIS для прогнозирования теплового потока водоносного горизонта Душанбинского артезианского бассейна. Основные результаты исследования:

(1) интеграция алгоритма оптимизации серым волком (GWO) с ANFIS устраняет зависимость от начальной инициализации и повышает точность настройки параметров функций принадлежности;

(2) гибридная модель достигает $R^2 = 0,93$ и $NSE = 0,91$, снижая RMSE на 38,7% относительно автономной ANFIS;

(3) скважинные измерения подтверждают устойчивый рост температуры подземных вод с глубиной; концентрация значений в диапазоне 20–28 °С указывает на перспективность ресурса для низкотемпературных геотермальных технологий;

(4) в условиях нарастающего дефицита поверхностных вод вследствие деградации ледников предложенный цифровой инструментарий мониторинга подземных водных ресурсов приобретает ключевое значение для обеспечения водной безопасности Таджикистана [13, 14, 15, 16].

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются интеграция данных спутникового дистанционного зондирования для совместного мониторинга ледников и подземных водоносных горизонтов, построение трёхмерных геологических моделей бассейна, а также адаптация разработанной модели к задачам оперативного управления водными ресурсами в условиях климатической изменчивости [1, 2, 17, 18, 19].

Литература:

1. Muther T. et al. Geothermal 4.0: AI-enabled geothermal reservoir development — current status, potentials, limitations, and ways forward // *Geothermics*. 2022. Vol. 100. Art. 102348. DOI: 10.1016/j.geothermics.2022.102348.

2. Shahdi A. et al. Exploratory analysis of machine learning methods in predicting subsurface temperature and geothermal gradient of Northeastern United States // *Geothermal Energy*. 2021. Vol. 9. Art. 18. DOI: 10.1186/s40517-021-00200-4.

3. Bardhan A. et al. Modelling Soil Compaction Parameters Using an Enhanced Hybrid Intelligence Paradigm of ANFIS and Improved GWO // *Mathematics*. 2023. Vol. 11(14). Art. 3064. DOI: 10.3390/math11143064.

4. Fang X. et al. An improved gray wolf optimization algorithm solving to functional optimization and engineering design problems // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 14757. DOI: 10.1038/s41598-024-64526-2.

5. Wang L. et al. Review of machine learning methods applied to enhanced geothermal systems // *Environmental Earth Sciences*. 2023. Vol. 82. Art. 69. DOI: 10.1007/s12665-023-10749-x.

6. Ghenai C. et al. Short-term building electrical load forecasting using ANFIS // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 52. Art. 104323. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.104323.

7. Khadem M. et al. Improving the Performance of ANFIS Using a New Meta-Heuristic Algorithm // *Int. J. Mathematical Modelling & Computations*. 2022. Vol. 12(4). P. 299–312. DOI: 10.30495/ijm2c.2023.1955549.1251.

8. Liu Y. et al. Surface Heat Flow, Deep Formation Temperature, and Lithospheric Thickness of the Tarim Basin // *Lithosphere*. 2022. Art. 3873682. DOI: 10.2113/2022/3873682.

9. Pang Y. et al. Geothermal regime and implications for basin resource exploration in the Qaidam Basin // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2022. Vol. 239. Art. 105400. DOI: 10.1016/j.jseaes.2022.105400.
10. Mohammadzadeh Bina S., Fujii H., Qaisova D., Lein R., Rahmatov J., Inagaki F. Ground source heat pump systems in Central Asia: A case study from Dushanbe, Tajikistan // *Geothermics*. 2025. Vol. 128. Art. 103281. DOI: 10.1016/j.geothermics.2025.103281.
11. Расулов С., Рахматов Дж.Ш., Гулджонов Д.Н. Геотермальные тепловые насосы: возможности использования в Душанбинском артезианском бассейне // *Известия НАНТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук*. 2025. № 2(6). С. 92–100.
12. Ilolov M., Ilolov A., Inagaki F., Rahmatov J. Stochastic Fractality of the Gilondi Geothermal Reservoir // *Proc. 48th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., SGP-TR-224*. 2023. P. 1–13.
13. Ilolov M., Inagaki F., Kabirov S., Kodirov A., Rahmatov J., Ilolov A. On the Inverse Problems of Geothermic // *Proc. 49th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford Univ., SGP-TR-227*. 2024. P. 1–10.
14. Ilolov M., Rahmatov J.Sh. Inverse Problems of Geothermics // *Journal of Applied Data Analysis and Modern Stochastic Modelling*. 2024. Vol. 1(2). P. 1–7.
15. Ilolov M., Kabirov Sh., Inagaki F., Amonulloev A., Rahmatov J. Maximum Power Point Tracking Using ANFIS for Photovoltaic Modules // *Proc. Int. Sci. Conf. Status and Prospects for the Development of Renewable Energy in Tajikistan, Dushanbe, 2024*. P. 9–12.
16. Ilolov M., Kabirov Sh., Li P., Amonulloev A., Rasulov S., Ilolov A., Rahmatov J.Sh. ANFIS model for fault diagnosis in photovoltaic systems // *Proc. Int. Sci. Conf. Status and Prospects for the Development of Renewable Energy in Tajikistan, Dushanbe, 2025*. P. 68–77.
17. Al-Wesabi I. et al. Forecasting geothermal temperature in western Yemen with Bayesian-optimized ML regression models // *Geothermal Energy*. 2025. Vol. 13. Art. 1. DOI: 10.1186/s40517-024-00324-3.
18. Jiang A. et al. Recurrent neural networks for short-term and long-term prediction of geothermal reservoirs // *Geothermics*. 2022. Vol. 104. Art. 102439. DOI: 10.1016/j.geothermics.2022.102439.
19. Duplyakin K. et al. Modeling Subsurface Performance of a Geothermal Reservoir Using Machine Learning // *Energies*. 2022. Vol. 15(3). Art. 967. DOI: 10.3390/en15030967.
20. Jolie E. et al. Geological controls on geothermal resources for power generation // *Nature Reviews Earth & Environment*. 2021. Vol. 2(5). P. 324–339. DOI: 10.1038/s43017-021-00154-y.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИ НЕЧЁТКОГО АНАЛИЗА В ИЗУЧЕНИИ ЛЕДНИКОВ И УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ТАДЖИКИСТАНА

*Азизов Р.О. - Центр инновационного развития науки и цифровых технологий
Национальной академии наук Таджикистана*

*Рахматов Дж.Ш. - Центр инновационного развития науки и цифровых
технологий Национальной академии наук Таджикистана*

Расулов С. - Автор-корреспондент. E-mail: rustam.azizov57@gmail.com

В статье исследуется роль цифровых технологий, искусственного интеллекта (ИИ) и нечёткой логики в изучении ледников и управлении водными ресурсами Таджикистана. Рассматриваются методы машинного обучения — U-Net, LSTM, случайный лес — применительно к мониторингу ледниковых покровов по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особое внимание уделяется моделям нечёткого анализа, позволяющим формализовать неопределённость в гидрологических расчётах и прогнозировании речного стока.

Представлены примеры использования стохастических дифференциальных уравнений дробного порядка для описания динамики таяния ледников. Обсуждаются возможности интеграции данных ДЗЗ, IoT-датчиков и больших данных в единую платформу мониторинга. Результаты показывают, что комплексное применение точных и цифровых методов способно повысить точность гидрологических прогнозов на 20–30 % и существенно снизить неопределённость моделей управления водными ресурсами. Сделан вывод о стратегической важности внедрения интеллектуальных систем мониторинга для устойчивого водопользования и адаптации к изменению климата в регионе Центральной Азии.

Введение. Таджикистан располагает одним из крупнейших в мире запасов пресной воды в виде ледников: около 8 % территории республики покрыто льдом, а более 14 000 ледников суммарной площадью свыше 11 000 км² формируют основной сток Амударьи, Сырдарьи и Зарафшана [1, 2]. Под воздействием глобального потепления площадь ледников Таджикистана за последние полвека сократилась приблизительно на 30 %, что создаёт угрозы водной и энергетической безопасности всей Центральной Азии [2, 3]. В этом контексте точные исследования и цифровые технологии приобретают стратегическое значение: традиционные наземные методы измерений отличаются высокой трудоёмкостью, ограниченным пространственным охватом и субъективностью интерпретации.

На смену традиционным методам приходят дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), машинное обучение, нечёткая логика и стохастическое моделирование [4, 7]. В фокусе данной работы — комплексный анализ возможностей ИИ, нечёткого анализа и больших данных применительно к мониторингу ледников и управлению водными ресурсами. Рассматриваются не только конкретные технические решения, но и оценивается их научная и практическая эффективность применительно к условиям горных регионов Таджикистана.

1. Машинное обучение и дистанционное зондирование в мониторинге ледников

1.1 Методы ДЗЗ и машинного обучения в картографировании ледников. Современные архитектуры глубоких нейронных сетей типа U-Net, обученные на мультиспектральных данных спутников Sentinel-2 и Landsat-8, обеспечивают точность сегментации ледниковых покровов на уровне 92–96 % [3, 11]. Модели LSTM (Long Short-Term Memory) успешно применяются для прогнозирования временных рядов объёмов талых вод с использованием многолетних гидрометеорологических данных. Алгоритмы случайного леса (Random Forest) позволяют классифицировать типы поверхностного покрова и выявлять зоны активного таяния по мультиисточниковым наборам данных [5, 11].

1.2 Практика применения в горных районах Таджикистана. Для горных районов Таджикистана, характеризующихся сложным рельефом и труднодоступностью, использование ДЗЗ в сочетании с машинным обучением открывает принципиально новые возможности. Анализ многолетних серий спутниковых снимков (MODIS, Sentinel-1/2, Landsat) позволяет количественно оценивать динамику ледниковых площадей, скорости отступления ледников и изменения снежного покрова в бассейнах крупных рек [3, 4]. Турбулентный обмен тепла между атмосферой и поверхностью ледника описывается в рамках стохастических моделей с учётом белого шума и аномальной диффузии [15, 18], что существенно повышает физическую адекватность прогнозов таяния.

2. Нечёткая логика в гидрологическом моделировании и управлении водными ресурсами

2.1 Теоретические основы нечёткого подхода. Нечёткая логика (fuzzy logic, FL) и нечёткие системы позволяют формализовать неопределённость, характерную для гидрологических расчётов: вариабельность осадков, неполноту данных метеостанций, субъективность экспертных оценок состояния ледников [6, 10]. Лингвистические переменные — «интенсивность таяния», «риск паводка», «дефицит водных ресурсов» — описываются нечёткими терминами («низкий», «средний», «высокий»). Функции принадлежности позволяют количественно выразить степень соответствия гидрологических характеристик нечётким критериям. Правила типа «ЕСЛИ интенсивность таяния — высокая, И

температура — выше нормы, ТО вероятность паводка — критическая» формируют интерпретируемые системы оперативного гидрологического прогноза [6].

Применение нечёткой логики обеспечивает гибкое принятие решений при водохозяйственном планировании: системы прогнозирования, ранжирования водозаборов, управления ирригацией учитывают не только объективные физические параметры, но и неопределённость климатических сценариев, региональные экспертные оценки, нечёткость нормативных порогов водопользования.

2.2 Практические модели нечёткого анализа в водохозяйственной сфере. Для управления водными ресурсами Таджикистана перспективны следующие подходы: нечётко-байесовские модели для оценки риска засух и паводков с учётом неполных метеорологических рядов [7, 11]; модели Fuzzy TOPSIS для многокритериального ранжирования водозаборных узлов и приоритизации ирригационных проектов [8]; нечёткие регрессионные модели для прогнозирования объёмов ледникового стока при различных сценариях потепления [10]. Нечёткий кластерный анализ позволяет выделять однородные водосборные бассейны и зоны гляциологического риска в условиях зашумлённости спутниковых данных [9]. Сравнительный анализ преимуществ и ограничений нечёткого подхода приведён в таблице 1.

Таблица 1. Применение нечёткого анализа в изучении ледников и водных ресурсов

Аспект	Нечёткий метод	Пример применения	Преимущества	Примерная эффективность
Картографирование ледников	Fuzzy Rule-Based Systems	Сегментация ледниковых покровов по данным ДЗЗ с учётом нечётких границ	Учитывает неопределённость границ; прозрачные правила вывода	Повышение точности сегментации на 20–30 % за счёт корректной обработки смешанных пикселей [7].
Ранжирование водосборных бассейнов	Fuzzy TOPSIS; Fuzzy АНР	Оценка и приоритизация ирригационных бассейнов и водозаборных узлов	Комбинация разнородных критериев; устойчивость к неточным данным наблюдений	Оптимизация распределения водных ресурсов между отраслями и регионами [8].
Прогнозирование паводков	Fuzzy inference + ML	Интеграция нечёткой оценки риска с ML-моделями для оперативного прогноза	Сглаживание ошибок; высокая интерпретируемость результатов для ЛПП	Снижение погрешности гидрологического прогноза на 15–25 % [9].

Аспект	Нечёткий метод	Пример применения	Преимущества	Примерная эффективность
Мониторинг объёмов стока	Fuzzy clustering ; Fuzzy regression	Прогнозирование объёмов талых вод в горных речных бассейнах	Работа с зашумлёнными и неполными данными; адаптивность моделей	Снижение неопределённости гидрологической модели и числа неверных тревог [10].
Оценка качества воды	Fuzzy sentiment analysis	Преобразование разнородных измерений в нечёткие индексы качества воды	Более точная интерпретация комплексных экологических данных	Повышение надёжности мониторинга водных объектов [11].
Проектирование ирригационных схем	Fuzzy multi-criteria decision making	Выбор схем водоснабжения по критериям эффективности и устойчивости	Интеграция экспертных оценок; учёт неопределённости нормативной базы	Снижение затрат на перепроектирование инфраструктуры [12].
Планирование водохозяйственной адаптации к климатическим изменениям	Fuzzy AHP; Fuzzy TOPSIS	Выбор приоритетных сценариев и стратегий адаптации к изменению климата	Управление конфликтующими критериями устойчивости и экономической эффективности	Привлечение инвестиций в адаптацию; рост интереса к бренду региона на 20–25 % [15].

3. Большие данные и IoT в системах управления водными ресурсами

3.1 Роль больших данных в гидрологическом мониторинге. Индустрия водного мониторинга всё активнее использует анализ больших данных: массивы телеметрических данных гидрологических постов, спутниковые снимки высокого разрешения и результаты численного моделирования атмосферы становятся основой интегральных систем управления водными ресурсами [3, 7]. Огромные массивы информации — данные GPS, результаты дистанционных измерений уровня водоёмов, упоминания гидрологических событий в открытых источниках — формируют базу для выявления трендов изменения криосферы и оптимизации водохозяйственных стратегий. Ключевые вызовы для Таджикистана: нехватка квалифицированных специалистов в области Data Science в водном секторе, сложность интеграции разнородных данных разных эпох наблюдений, высокий порог капиталовложений в вычислительную инфраструктуру [5].

3.2 IoT и автоматизированные сети гидрологического мониторинга. Внедрение IoT-датчиков (уровнемеров, термодатчиков, снегомерных датчиков)

с передачей данных в режиме реального времени на облачные платформы позволяет формировать непрерывный поток информации о состоянии ледников и водных объектов [4, 6]. Системы «умного мониторинга» с элементами ИИ обеспечивают автоматическое обнаружение аномалий в гидрологических рядах, немедленное оповещение при критических уровнях воды, адаптивное управление водозаборными сооружениями. Применительно к водохранилищу Нурек и другим крупным гидроузлам Таджикистана подобные системы приобретают стратегическое значение для предотвращения аварийных паводков и оптимального использования гидроэнергетического потенциала [19, 21].

4. Стохастические модели дробного порядка в гляциологии и гидрологии

4.1 Дробно-порядковые стохастические уравнения в динамике ледников. Динамика ледников и речного стока характеризуется выраженной стохастичностью, обусловленной случайностью атмосферных воздействий. Стохастические дифференциальные уравнения дробного порядка с белым шумом [15, 17, 18] позволяют корректно описывать аномальную диффузию тепла в ледниковом теле и нелинейную динамику таяния с «долгой памятью» — явление, хорошо известное в гидрологии как эффект Херста. Функция Ляпунова и устойчивость решений стохастических дифференциальных уравнений с дробноподобными производными [17] обеспечивают теоретическую основу для верификации численных гидрологических моделей и оценки долгосрочных трендов изменения запасов воды.

4.2 Уравнения с запаздыванием и их применение в прогнозировании стока. Эволюционные уравнения дробного порядка с запаздыванием в банаховом пространстве [16] находят применение при моделировании запаздывающей реакции речного стока на изменение температуры и интенсивности осадков — явления, типичного для горных водосборных бассейнов с ледниковым питанием. Стохастическое уравнение теплопроводности гиперболического типа дробного порядка [18] применимо для описания теплообмена в ледниковом теле с учётом эффектов случайных колебаний температуры. Таким образом, математический аппарат стохастического и глобального анализа [15–18] формирует строгую теоретическую основу для построения вычислительных моделей нового поколения в гляциологии.

5. Энергетическое и экологическое измерение: связь ледников, водных ресурсов и возобновляемой энергетики. Снижение площади ледников напрямую влияет на режим работы гидроэлектростанций Таджикистана, вырабатывающих около 90 % электроэнергии республики. В условиях сокращения ледникового питания рек перспективным направлением компенсации является развитие плавучих солнечных электростанций на

водохранилищах [19, 21]. Конструирование платформ для плавающих фотовольтаических систем в искусственных водохранилищах Таджикистана требует учёта колебаний уровня воды, непосредственно зависящего от динамики ледниково-снегового таяния [21]. Параллельно геотермальные тепловые насосы, применяемые для теплоснабжения в условиях республики [20], используют ресурс подземных вод, пополнение которых тесно связано с инфильтрацией талых ледниковых вод. Таким образом, точный мониторинг ледников является необходимым условием эффективного управления всем водно-энергетическим комплексом страны.

Выводы. Цифровые технологии и интеллектуальные методы анализа данных не просто трансформируют гляциологию и гидрологию — они меняют саму модель управления водными ресурсами в горных странах. Проведённый анализ показывает, что переход к ИИ-платформам, использующим нечёткую логику и машинное обучение, позволяет не только повысить точность мониторинга, но и достичь измеримых практических результатов.

Результаты исследования подтверждают высокую научную и прикладную отдачу от внедрения интеллектуальных систем:

1. Методы машинного обучения (U-Net, LSTM, Random Forest) в сочетании с данными ДЗЗ обеспечивают точность мониторинга ледниковых покровов на уровне 92–96 % и повышают достоверность прогноза паводков на 20–30 %.

2. Нечёткий анализ позволяет формализовать неопределённость гидрологических измерений, делая модели интерпретируемыми и пригодными для оперативного принятия водохозяйственных решений.

3. Стохастические дифференциальные уравнения дробного порядка обеспечивают теоретически строгое описание нелинейной динамики ледников и речного стока с учётом эффектов долгой памяти и случайных возмущений.

4. Интеграция IoT-мониторинга, больших данных и ИИ-платформ является необходимым условием устойчивого управления водными ресурсами и адаптации к климатическим изменениям в Центральной Азии.

Литература:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Ivanov, S., Webster, C. Adoption of robots and service automation by tourism and hospitality companies. *Revista Turismo & Desenvolvimento*, 27/28:1501–1517, 2017.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Horng, 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.
15. Ilolov, M., Kuchakshoev, K.S., Rahmatov, J.S. Fractional stochastic evolution equations: White-noise model. *Communications on Stochastic Analysis*, 2020, 14(3-4), pp. 55-69.
16. 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.

17. Ilolov 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. Ilolov 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.



ТЕХНОЛОГИИ ЭФФЕКТИВНОГО РАСХОДА ВОДЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ

Амирзода Ориф Хамид - доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии, НАНТ. E-mail: orif2000@mail.ru

Набизода Зохир Ахмад - соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии, НАНТ, E-mail: zohir-92@bk.ru

Воздействие различных природных и антропогенных факторов на состояние водных объектов требует изыскание новых подходов и методов, направленных на эффективное использование водных ресурсов, а также на предотвращение или смягчение возможных негативных последствий, влияющих на окружающую природную среду. Вода является одним из наиболее уязвимых компонентов окружающей среды и быстро реагирует на внешние воздействия. В большинстве случаев водные объекты загрязняются не только веществами минерального и органического происхождения, но и тяжелыми металлами, а также токсичными элементами. Попадая в водные объекты, эти загрязнения нарушают экологическую систему, и тем самым затрудняют дальнейшее использование воды [1].

При этом особую опасность для состояния водных объектов и окружающей природной среды представляют образующиеся поверхностные сточные воды на урбанизированных территориях. Поверхностные сточные воды имеют сложный химический состав, и при попадании в водный объект без предварительной очистки, загрязняют воду и вызывают эвтрофикацию водоемов [2].

К основным источникам образования поверхностных сточных вод можно отнести атмосферные осадки и таяние снега, промышленные воды, а также технологические потери в системе водоснабжения и водоотведения.

Как показывает анализ проведенных исследований за последние годы объем выпадаемых осадков на территории города Душанбе имеет тенденцию к увеличению. Тем самым, площадь асфальтовых дорог и кровельных покрытий построенных новостроек увеличивается год за годом [3].

Естественно, что с увеличением асфальтовых покрытий уменьшается объем фильтрации, вследствие чего увеличивается количество формирующихся поверхностных стоков. Существующая схема сбора и отвода поверхностных сточных вод, особенно при ливневых дождях не способна своевременно отводить эти стоки. Другая проблема становится очистка этих стоков перед сбросом их в водные объекты [4].

С этой целью авторами статьи предложена технология по совершенствованию очистки поверхностных сточных вод путем разработки компактной установки для очистки поверхностных стоков. Новизна предлагаемого решения заключается в том, что устройство предусматривает двухстадийную фильтрацию с использованием пластиковых шариков и местного бентонитового сорбента, что способствует смягчению воды и максимальному удержанию взвешенных веществ, нефтепродуктов и тяжелых металлов.

Основная цель настоящей статьи заключается в повышении эффективности управления поверхностными сточными водами, путем разработки технологии, направленной на решения актуальной экологической проблемы очистки поверхностных сточных вод (в том числе сильно загрязнённой) от ливневых и различных вод, отводимых с урбанизированных территорий и промышленных предприятий.

Следует отметить, что производительность предлагаемой компактной установки по очистке поверхностного стока определяется из максимального суточного слоя выпадения атмосферных осадков для условий города Душанбе, их сбора и отведения лотковой сетью, каналами и селесбросами.

Для условий города Душанбе максимальный суточный объем выпадающих осадков за 2023 – 2024 годы составляет 1,1 и 2,04 мм соответственно. Образующиеся поверхностные стоки отводятся через существующую лотковую сеть, где далее попадают в городские каналы и селесбросы. Общая пропускная способность существующих каналов и селесбросов состоявшейся на балансе Управления оросительных систем города составляет более 153 м³/с [5]. И как обычно, существующая система сбора и отвода ливневых сточных вод в городе Душанбе, как и во многих развитых городах не всегда способна принимать объемы выпадающих осадков, особенно в сезон сильных дождей.

На основе проведенных исследований нами предлагается новый способ очистки с использованием компактной установки.

Предлагаемая авторами конструкции устройства типа «Компактная очистительная установка поверхностных стоков» (КОУПС) состоит из следующих этапов: поверхностный сток поступает в распределительную камеру, снабженную сеткой с большими сечениями (1) для улавливания крупного мусора и решеткой (2) для очистки грубодисперсных взвешенных частиц и примесей. Далее поверхностные стоки проходят вторую стадию механической очистки в седиментационном резервуаре (3), оснащённом съёмным мешочным фильтром (4). Роль мешочного фильтра заключается в сборе песка и по мере необходимости он подвергается регенерации, то есть промывается. На этой стадии обеспечивается степень очистки по взвешенным веществам на уровне 50-70%, что снимает нагрузку на последующие этапы процесса очистки.

Затем поверхностный сток поступает в третий блок очистки для предварительного осветления стока в отстойнике (5), где отстойник оснащён дополнительной фильтрующей загрузкой. Сток здесь движется снизу вверх, через двухслойную загрузку. Первый слой загрузки состоит из пластмассовых шариков (6). Пластиковые шарики также обеспечивают равномерное распределение потока и из-за своей круглой формы и легкого веса, очень чувствительны к скольжению. Их свободное перемещение в процессе работы системы способствуют самоочищению, т.е. пустот, образующиеся между шариками от всевозможных мелких частиц органического происхождения. Таким образом, систематическая промывка системы обеспечивает ее долгосрочную службу. В качестве фильтрующей загрузки во втором слое (7) используется высокоэффективный нефтепоглощающий бентонитовый сорбент в виде порошка. В этом случае происходит смягчение воды и процесс сорбции свободных и эмульгированных нефтепродуктов.



Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема конструкции «КОУПС»

Данная дополнительная сорбция растворенных нефтепродуктов и мелкодисперсных взвешенных веществ обеспечивает очистку воды до нормы сброса в водоем для рекреационного и рыбохозяйственного назначения. Регенерация фильтрующей загрузки (бентонитовый сорбент) проводится по мере необходимости или по исчерпанию сорбционной емкости. Также для предотвращения выноса фильтрующей загрузки в верхней и нижней части устанавливаются перфорированные перегородки.

Следует отметить, что благодаря физико-химическим характеристикам (гидрофобности) бентонитовый сорбент очень хорошо смачивается

нефтепродуктами, тем самым обуславливает интенсивное поглощение нефтепродуктов из поверхностного стока.

Предложенная технология эффективна с точки зрения расхода воды, что позволяет предотвратить загрязнение водных объектов и способствует процессу самоочищению воды, сохраняя экосистему водоемов. Принципиальная технологическая схема конструкции «КОУПС» приводится на рисунке.

Литература:

1. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах / Саратов: «Ракурс», 2017. – 178 с.

2. Комаров А.В., Кашарный В.В. Проблемы водопользования и чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера// Научный журнал «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты» г. Москва, 2010, № 1. С.31-40.

3. Набиев З.А., Амирзода О.Х., Шарифзода Ш.К. Анализ закономерности выпадения атмосферных осадков и их влияние на способы отведения поверхностных стоков для условий г. Душанбе// Вестник Таджикского национального университета, №4, 2023. – С. 51-54.

4. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. – 223 с.

5. Набиев З.А., Амирзода О.Х. Оценка воздействия поверхностного стока на водные объекты// Материалы Межд.НПК «Водная безопасность – основа устойчивого развития», г. Душанбе, ИВП, ГЭиЭ НАН Таджикистана, 5-6 октября 2022г., С.69-76.



АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Артемьев Виктор Степанович – старший преподаватель
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
(Москва, Россия). Email: electricequipment@yandex.ru

Мокрова Наталия Владиславовна – д. техн. н., профессор
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
(Москва, Россия). Email: natali_vm@mail.ru

Эксплуатация распределительных водопроводных сетей сопровождается постоянным изменением расхода воды, из-за чего насосные агрегаты значительную часть времени работают вне расчётной области характеристик. Сегодня, возрастает вероятность возникновения неустойчивых гидравлических режимов, увеличиваются потери электроэнергии, ускоряется износ подшипниковых узлов и запорной арматуры. В исследовании рассматривается, автоматизация режимов работы центробежных насосов при переменной нагрузке системы водораспределения. Проанализировано влияние изменения частоты вращения рабочего колеса на параметры подачи и давления в сети. Выполнена оценка переходных процессов, возникающих при резком изменении водопотребления и перераспределении потоков жидкости между участками трубопровода. Применение частотно-регулируемого электропривода для ограничения динамических перегрузок насосного оборудования. Регулирование скорости вращения позволяет уменьшить амплитуду колебаний давления и снизить потребляемую мощность в непииковые интервалы работы.

Нестационарность режима водопотребления приводит к непрерывному смещению рабочей точки насосного агрегата относительно области максимального коэффициента полезного действия. Изменение гидравлического сопротивления сети сопровождается не только отклонением расхода, но и перераспределением давления по отдельным участкам трубопровода. В эксплуатации насосная станция большую часть времени функционирует вне номинального режима, вследствие чего электромеханическая система испытывает переменные нагрузки, отличающиеся по амплитуде и скорости изменения.

Для центробежного насосного агрегата связь между напором и расходом определяется характеристикой рабочего колеса

$$H(Q, \omega) = H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - aQ^2, \quad (1)$$

где H_0 - напор при номинальной скорости вращения ω_0 , a - коэффициент аппроксимации характеристики насоса.

Изменение скорости вращения приводит к нелинейному смещению характеристики вдоль оси расхода. В условиях распределительной сети это сопровождается изменением гидравлического состояния трубопровода, которое определяется выражением

$$H_c(Q) = H_{st} + bQ^2, \quad (2)$$

где H_{st} соответствует статическому напору системы, а коэффициент b характеризует совокупное сопротивление трубопроводной сети.

Рабочая точка формируется пересечением зависимостей (1) и (2). При увеличении расхода величина потерь напора возрастает квадратично, вследствие чего двигатель начинает работать в области повышенного момента сопротивления. Для электроприводов насосных агрегатов данный процесс сопровождается ростом тока статора и увеличением тепловой нагрузки.

При снижении скорости вращения рабочего колеса с 50 до 37 Гц, коэффициент полезного действия насосного агрегата изменялся неравномерно. В диапазоне $Q = 3.6-4.4$ м³/ч, сохранялась область максимального КПД, где величина

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P_{in}}$$

оставалась выше 0.81. При дальнейшем уменьшении расхода наблюдалось быстрое снижение гидравлической эффективности вследствие роста внутренних потерь в рабочем колесе.

Тепловое состояние двигателя определялось выражением

$$C_{th} \frac{dT}{dt} = P_{cu} + P_{fe} + P_m - k_c(T - T_{env}),$$

где P_{cu} - потери в обмотках статора, P_{fe} - магнитные потери, P_m - механические потери.

При токе $I = 1.18I_n$ температура обмоток возросла до 74–79°С, тогда как при частотном регулировании максимальное значение не превышало 63°С. На участке $Q < 2.3$ м³/ч происходило смещение рабочей точки в область пониженного КПД, что сопровождалось ростом удельного энергопотребления

$$w = \frac{P_{in}}{Q}.$$

Минимальное значение w соответствовало режиму $\omega = 41-43$ Гц, где расход сохранялся на уровне 4.1 м³/ч при давлении 0.34 МПа.

Электромеханическое состояние привода описывается системой

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_e - M_r), \quad (3)$$

$$M_r = k_m \frac{QH}{\omega}, \quad (4)$$

где M_e - электромагнитный момент двигателя, M_r - момент сопротивления на валу насоса, J - приведённый момент инерции.

После открытия дополнительной линии водоразбора изменение расхода возникает раньше установления нового напора. В этот промежуток времени система переходит в область гидравлической неустойчивости, где даже незначительное увеличение скорости вращения вызывает резкое изменение давления в напорной линии. Для описания переходного процесса движение жидкости в трубопроводе представлено уравнением

$$\rho L \frac{dQ}{dt} = S(p_1 - p_2) - \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho Q |Q|}{2S}, \quad (5)$$

где L - длина трубопровода, D - его диаметр, S - площадь поперечного сечения, λ - коэффициент гидравлического трения.

В отличие от стационарных моделей выражение (5) учитывает инерцию потока. Представленное уравнение и определяет запаздывание изменения расхода относительно скорости вращения электропривода. Рассогласование может быть, заметно в протяжённых распределительных сетях, где изменение режима работы насосной станции приводит к волновому перераспределению давления.

При отсутствии регулирования электропривод поддерживает практически постоянную скорость вращения

$$\omega \approx const, \quad (6)$$

вследствие чего изменение расхода компенсируется исключительно изменением гидравлического сопротивления системы. Подобный режим сопровождается ростом потерь мощности

$$\Delta P_h = g\rho Q \Delta H, \quad (7)$$

где ΔH соответствует дополнительным потерям напора, возникающим при отклонении режима от расчётного состояния.

Использование частотно-регулируемого привода изменяет характер переходного процесса. Управляющее воздействие формируется по отклонению давления

$$u(t) = K_p(p^* - p(t)) + K_d \frac{d}{dt}(p^* - p(t)), \quad (8)$$

где p^* - требуемое давление в контрольной точке сети.

Дифференциальная составляющая в выражении (8) ограничивает скорость изменения частоты вращения при резком падении давления, из-за чего

уменьшается вероятность возникновения гидроудара. При этом переходный процесс приобретает апериодический характер даже при значительном изменении расхода воды.

Анализ уравнений (1) – (8) доказал, что устойчивость насосной станции определяется не только характеристикой электропривода, но и динамическими параметрами распределительной сети. При увеличении же протяжённости трубопровода возрастает влияние инерционного члена в выражении (5), т.к., система становится более чувствительной к резкому изменению частоты вращения рабочего колеса. Настройка алгоритма регулирования без учёта гидравлической динамики сети приводит к возникновению автоколебательных режимов, даже при достаточном запасе мощности электропривода. При увеличении частоты вращения рабочего колеса от 32 до 48 Гц расход изменялся в диапазоне $Q = 1.8–4.9 \text{ м}^3/\text{ч}$, тогда как перепад давления достигал 0.21–0.46 МПа. Расчёт по модели (5) показал рост инерционного члена при $L > 120 \text{ м}$, вследствие чего время установления режима увеличивалось до 14–18 с. При использовании регулирования по выражению (8) отклонение давления не превышало 6.2%, а потребляемая мощность уменьшалась в среднем на 11–13% относительно режима $\omega = \text{const}$. В дальнейшем же, увеличении сопротивления сети коэффициент b в выражении (2) возрастал до 0.085–0.11, вследствие чего рабочая точка смещалась в область пониженного КПД насоса. В режиме $Q < 2.1 \text{ м}^3/\text{ч}$, фиксировалось увеличение гидравлических потерь, а температура обмоток двигателя возрастала на 9–12°С относительно расчётного режима. При $T_Q > 6$ переходный процесс становился затянутым, что сопровождалось повторным изменением давления после первоначального установления расхода. Наиболее устойчивый режим соответствовал диапазону 36–42 Гц, где коэффициент колебательности не превышал 0,04.

Литература:

1. Артемьев, В. С. Оптимизация траекторий промышленных манипуляторов методом моментов / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2025. – № 2. – С. 29-42. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2025/2/29-42.
2. Артемьев, В. С. Модели использования разностных схем в автоматизированных системах управления / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2025. – Т. 72, № 1(58). – С. 97-105. – DOI 10.22314/2658-4859-2025-72-1-97-105.
3. Артемьев, В. С. Адаптивное управление тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий на основе критерия интегральной

устойчивости / В. С. Артемьев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – Т. 27, № 5. – С. 98-112. – DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-5-98-112.

4. Артемьев, В. С. Применение метода моментов для оптимизации электрофизических воздействий / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3(71). – С. 228-236. – DOI 10.18286/1816-4501-2025-3-228-236.



ОБИ ОШОМИДАНИ ВА ЗАРУРАТИ ҲАМКОРИ ДАР ИН САМТ

*Асадуллаев Р.Д. - заведующий кафедрой педагогики и наследия предков,
Исламский институт Таджикистана имени
Имама Аъзама-Абуханифы Нуъмана ибн Сабита,*

Солҳои охир дар натиҷаи муносибати нодурусти одамон ба табиат ва надониستاني Қонунҳои экологӣ намудҳои зиёди ҳайвоноту наботот рӯ ба нести овардаанд. Таи даҳсолаҳои охир бо баландшавии ҳарорати ҳаво, обхезиҳо, гирдбодҳои даҳшатовар ва дигар офатҳои табиӣ боиси ин ходисаҳои мудҳиш гардидаанд.

Ҳоло бухрони экологӣ на танҳо ба ноҳия ваа ё минтақаи алоҳида, балки ба тамоми кураи замин таҳдид карда истодааст. Фаромуш набояд кард, ки муътадили муҳити зист на танҳо гавари муътадили фаъолияти олами зинда (растаниҳо, ҳайвонҳо, микроорганизмҳо), балки муътадили муҳити зисти одамон низ мебошад. Дар ин ҳолат, экология чун заминаи илмӣ дар истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ ва ҳифзи онҳо аҳамияти калон дорад.

Об бузурғтарин неъмат ва омили бақои тамоми мавҷудоти зинда башумор меравад. Сайёраи Замин дар байни тамоми низоми сайёраҳои офтобӣ аз ҷама «серобтарин» ба шумор меравад.

Ба ин нигоҳ накарда, ҳамасола аз истифодаи оби ифлос беш аз 3 миллион нафар одамон ба ҳалокат мерасанд. Ташаббус ва суҳанрониҳои Асосгузори Сулҳу Ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон аз минбари баланди Созмони Милали Муттаҳид ҷалб намудани диққати тамоми Ҷомеаи Ҷаҳони ба масъалаи «Оби ошомиданӣ ва зарурати ҳамкори дар ин самт» мебошад.

Пешниҳоди Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон ташаббуси бузурғест, ки дар сатҳи Ҷаҳонӣ ва аз тарафи Созмони Милали Муттаҳид амали ва дастгирӣ шудаанд: «Соли байналмилалии оби тоза, 2003», «Соли байналмилалии ҳамкори дар соҳаи об, 2013», «Даҳсолаи байналмилалии амалёти «Об барои ҳаёт, 2005-2015 ва даҳсолаи байналмилалии «Об барои рушди устувор, 2015-2025, ҳамовозии Ҷаҳони ёфта барои баланд гардидани нуфузи сиёсии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар арсаи байналмилалӣ, баланд бардоштани сатҳи иҷтимоии аҳолии кишвар дар самти дастрасӣ ва таъмин бо оби тозаи ошомиданӣ нақши муассир гузоштааст.

Новобаста аз он ки Ҷумҳурии мо захираи зиёди обҳои ошомиданию шифобахш дорад, пешниҳод намудани ҳалли масоили глобалии Ҷаҳон, аз ҷумла норасогии оби нушоқӣ, аҳамияти умумибашарӣ дошта, ба манфиати

тамоми халқҳои сайёра мебошад. Набояд фаромуш кард, ки кишвари мо ҳарчанд, ки дар сарғаҳи ташаккулёбии захираҳои оби тоза қарор дорад ва соҳиби беш аз 60 % захираҳои оби Осиёи Марказӣ ҷойгир аст, аз масъалаи глобалии танқисии оби тоза худро дар қанор гирифта наметавонад.

Бо ташаббуси панҷуми Ҷумҳурии Тоҷикистон қабул гардидани Қатъномаи Созмони Милали Мутаҳхид дар бораи «Соли байналмилалии ҳифзи пиряхҳо» эълон кардани соли 2025, инчунин, 21-уми март ҳамчун Рӯзи ҷаҳонии пиряхҳо ва таъсиси Ҳазинаи байналмилалии ҳифзи пиряхҳо барои ҷомеаи ҷаҳонӣ муҳим ва мояи ифтихори мардуми шарафманди Тоҷикистон аст.[1. С.61]

Ҳифзу истифодаи самараноки захираҳои об, барои расидан ба ҳадафҳои рушди ҳазорсолаи Созмони Милали Муттаҳид аҳамияти хосса пайдо намуда, барои бартарф намудани сатҳи камбизоатӣ ва аз байн бурдани ҳолатҳои осебпазирии саломатии инсон вобаста ба мушкилоти норасогии об мусоидат менамояд.

Аз ин рӯ, ин гавҳари табиатро бояд сарфакорона истифода бурд. Лекин ба ҳама фаровонии ин неъмат нигоҳ накарда, Асосгузори Сулҳу Ваҳдати миллӣ, Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон масъалаи обро дар сатҳи байналмилалӣ ба миён гузошт ва ҳамчун ташаббускор шинохта шуд, ки боиси ифтихори мо тоҷику тоҷикистониён мебошад.

Сабабҳои норасогии оби тоза дар кишварҳои ҷаҳон, пеш аз ҳама, ҷойгиршавии нобаробарии захираҳои табиӣ об мебошад: дар баъзе кишварҳо об фаровон, вале дар кишварҳои дигар норасогии об ба мушкилоти муҳими рӯз табдил ёфтааст. Масъалаи таъмини аҳолии ҷаҳон бо оби нӯшокӣ сол то сол ба мушкилоти аввалиндараҷа табдил меёбад.

Моҳи июни соли ҷорӣ дар Душанбе Конфронси сеюми байналмилалӣ дар соҳаи об доир гардид. Мо бояд ҳамкориҳоро дар самти обу ҳифзи пиряхҳо, баррасии пайомадаҳои тағйирёбии иқлим ва коҳиш додани хавфи офатҳои табиӣ дар доираи имкониятҳои мавҷуда идома дода, ҷиҳати тақвияти ҳамкориҳои байналмилалӣ дар қолабӣ «Раванди оби Душанбе» тадбирҳои зарурӣ андешем. [2. С.35]

Об манбаи ҳастии ҳамаи мавҷудоти олам маҳсуб ёфта, пиряхҳо захираи бузургест, ки аз инсоният муносибати оқилонаро талаб менамояд. Об ва мавҷудияти он ҷаҳону зиндагониро таровату зебоӣ ва сарсабзӣ озодагӣ мебахшад.

Ҳастии гулу гиёҳ, ҳайвоноту наботот, растаниву инсоният, хосса зиндагии осоиштаву обод ва озодагиву пурбаракатӣ аз об асос мегирад. Обро инсон барои нӯшидан, пухтани хӯрок, шустушӯӣ анҷомҳо, сохтани манзил, тозагии кӯчаҳо, обёрии заминҳо ва ғайра истифода мекунанд.

Барои ҳалли ин масъала Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ҳамкорӣ бо шарикони рушд барномаҳои беҳтар намудани таъмини аҳолии мамлакатро бо оби тозаи ошомиданӣ таҳҳия ва дар амал татбиқ намуда истодаанд, ки он дар самти таъмини аҳолии мамлакат бо оби ошомиданӣ қадами устувор мебошад.

Имрӯз дар Ҷаҳон минтақае нест, ки дар масъалаи захираҳои об мушкилот надоста бошад ва ба нақши ин неъмат бебаҳо дар рушди устувор аҳамияти махсус надихад. Зеро тамоми самтҳо ва соҳаҳои фаъолияти инсон аз захираҳои об алоқаи зич дорад. Дар шароити ҳозира яке аз воситаҳои тарбияи ҷавонону наврасон маърифати экологӣ мебошад.

Дар «Мактуби эзоҳи» - и барномаи фанни «Табиатшиносӣ» - и синфи IV омадааст: «Баланд бардоштани дараҷаи таълими табиатшиносӣ, беҳтар намудани тарбияи ҷаҳонбинии илмӣ, зебопарастӣ, ахлоқӣ, экологӣ, иқтисодӣ, ватандӯстӣ, байналмилалӣ, меҳнатдӯстӣ ва ҷисмонӣ ҳифзи саломатӣ» возеҳ таъкид шудааст.

Зикри чунин вазифа ва талабот таваҷҷуҳи омӯзгорро ба ибораи «ҷаҳонбинии илмӣ» ҷалб мекунад, вай маводҳои таълимиро чуқур омӯхта дар ҳамин қатор алайҳи фаҳмишҳои нодуруст ва ғайриилмӣ вазифадор мегардонад [4].

Манфиати об дар шароити муосир ин истиҳсоли нерӯи барқ ва сарчашмаи рӯшноист.

Ташҳиси фаҳмиши экологӣ дар инкишофи дастпарварон пешгӯӣ карда тавонистани оқибатҳои беэҳтиётӣ, ғайриимконпазирии ин ё он амалиёти инсонро нисбати табиат муайян мекунад: оқибати вайронкунии мӯътадили экологӣ ба кучо мебарад?, чӣ гуна амалиёт бетарафии экологиро ифода мекунад?, вале чӣ гуна чорабиниҳо барои беҳбудии табиат зарурист?, ба назар мегарад. Ташҳиси экологӣ шароити саводона банақшагирӣ, ҷойгиркунии қувваҳои истеҳсолӣ ва инкишофи тамоми хоҷагии халқро муайян мекунад [5]

Тавассути ин ганҷи бебаҳо дар Ҷумҳуриямон неругоҳҳои обии барқӣ ба халқамон рушди устуворро таъмин менамоянд. Неругоҳи барқии обии Роғун, ки ду агрегати он мавриди истифода қарор гирифта шуд, муҳтоҷӣ аҳолиро бартараф намуда, барои интиқол ба хориҷи кишвар шароит фароҳам овард, ки ин қадамест дар рушди иқтисодиёти Ҷумҳуриямон. Об гавҳари қимматтар аз лаълу гуҳар буда, ҳар қатраи он арзиши гарон дорад.

Соли 2025 бо пешниҳоди Тоҷикистон ва қатномаи Созмони Милали Мутаҳид солҳои 2025-2034 «Даҳсолаи илмҳои криосфери» эълон гардиданд. Мавзӯи ҳифзи пиряхҳо, омӯзиши илмҳои криосфера ва амалисозии ташаббусҳои байналмилалии Тоҷикистон дар соҳаи обу иқлим аҳамияти стратегӣ ва ҷаҳонӣ дорад. [3.С.29]

Дар мақолу гуфторҳои мардумӣ мегӯянд: «Об ҳаст ободӣ ҳаст». Об ҳаст, ки аз он гулу гиёҳ, растанию сабзавот рангу бӯй, таровату пояндагӣ мегиранд. Мутаассифона аз сабаби паст будани маърифати экологӣ ва масъулияти шаҳрвандӣ бархе аз одамон дидаю дониста обҳоро ифлос мегардонанд ва ба дарёю чуйҳо ахлот мепартоянд.

Моҳияти тарбияи экологӣ ба манфиати шахс ва ҷамъият равона шудааст. Соҳиби маърифати экологӣ шахсе шуда метавонад, ки дар роҳи суннату анъанаҳои миллии худ, фарҳанги миллий, арзишҳои умумибашарӣ тарбия гирифта, муътадили табиат ва нигоҳдори он, инкишофи техника, тарзи ҳаёти солим, дониш, маҳорати мунтазаму заруриро пайдо карда, ҷаҳонияти ҷамъиятӣ ва шахсии худро сайқал медиҳад.

Ҳоло бошад, асри иттилоотӣ, коммуникатсионӣ, техникӣ ва технологӣ, асри муносибатҳои хайрхоҳона ба табиат ва муҳиту солимии одамон фаро расидааст.

Аз ин рӯ омӯзиши қонунҳои инкишофи табиат тақозои онро дорад, ки навсозии таҳсилот ба ғоидаи шахс ва ҷамъият бошад ба талаботу шароитҳои иҷтимоию маишӣ одамон мувофиқ буда, ба қонунҳои инкишофи табиату ҷамъият ҳамгиро бошад. Дуруст ба роҳ мондани низоми хуби таълиму тарбияи экологӣ беҳатарии ҳаёти одамон ва давлату табиатро таъмин карда метавонад.

Воситаҳои таълиму тарбия, дарсҳои мукамал, маҳфилҳо, корҳои берун аз синфӣ, аз қабилӣ саёҳатҳои фаҳмондадиҳии таълимӣ имкониятҳои зиёд доранд, ки ба маърифату тарбияи экологии хонандагон ёри амалӣ мерасонанд.

Мақсади асосии мо омӯзгорон дар замири хонандагон ҷой намудани тарбияи экологӣ, ба камол расонидани шахсиятҳои ҳамаҷаҳади маърифати кофӣ дошта, маънавияти зеҳнии баланд, ахлоқи ҳамида, ҷисману руҳан инкишоф ёфта, меҳнатдӯсту Ватандӯст ва кордонӣ ба ҷамъият заруриро ғоидаовар мебошад.

Инчунин дар хонандагон бедор намудани ҷаҳонбинии илмӣ – экологӣ, муайян намудани мавқеи ҳар як шахс дар ҷомеа, фаҳмондани меъёрҳои маънавию ахлоқӣ ва меҳнати мебошад.

Адабиёт:

1. Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон «Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии ҷумҳурӣ», 28 декабри соли 2023. Душанбе: «Шарқи озод», 2023.-64с.,

2. Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон «Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии ҷумҳурӣ», 28 декабри соли 2024. Душанбе: «Шарқи озод», 2025.-40с.,

3. Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон «Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии ҷумҳурӣ», 16 декабри соли 2025. Душанбе: «Шарқи озод», 2025. -48с.,
4. Раҳимов Х., Нуров А. Педагогика. – Душанбе, 2007.
5. Раҳимов Х., Нуров А. Педагогика. Душанбе “Ирфон”, 2016, 520 сах.



СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ И УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

*Ашурова Нодирабегим Эркиновна- старший преподаватель
кафедры экономика и управление Технологического университета
Таджикистан. E-mail: nodirabegim0485@gmail.com*

Изучение ледников и рациональное управление водными ресурсами являются одними из важнейших задач современности, особенно в условиях глобального изменения климата. Ледники играют ключевую роль в формировании водных запасов, обеспечивая пресной водой миллионы людей. Однако их стремительное таяние требует применения новых подходов и технологий для мониторинга и прогнозирования изменений.

Современные цифровые технологии значительно расширили возможности научных исследований в данной области. Одним из наиболее эффективных инструментов являются спутниковые системы дистанционного зондирования Земли. С их помощью ученые получают точные данные о площади ледников, скорости их таяния и изменении объема водных ресурсов. Использование спутниковых снимков позволяет проводить наблюдения даже в труднодоступных горных районах.

Большое значение имеют геоинформационные системы (ГИС), которые обеспечивают сбор, обработку и анализ пространственных данных. С помощью ГИС специалисты могут создавать цифровые карты ледников, моделировать водные потоки и прогнозировать возможные риски, связанные с нехваткой воды или наводнениями.

Также активно применяются беспилотные летательные аппараты (дроны), которые позволяют получать высокоточные изображения ледников и проводить детальный мониторинг состояния водных объектов. Использование дронов снижает затраты времени и повышает точность исследований.

В последние годы важную роль начинают играть технологии искусственного интеллекта и большие данные. Анализ огромного объема климатической информации помогает ученым прогнозировать изменения ледников и разрабатывать эффективные меры по управлению водными ресурсами.

Цифровые технологии (ГИС, ИИ, дроны) сегодня играют ключевую роль в Таджикистане — стране, формирующей до 50% стока бассейна Аральского моря и владеющей крупнейшими запасами пресной воды в Центральной Азии. Они

позволяют точно оценивать стремительно сокращающиеся объемы ледников и управлять вододелиением. Например, спутниковая съемка и ИИ составляет высокоточные цифровые карты оледенения и речных бассейнов. Специальные алгоритмы сравнивают исторические снимки за последние 60 лет со свежими, чтобы рассчитать скорость таяния. Дроны и вертолетные георадары применяются для труднодоступных высокогорных массивов на вертолетной тяге. Это позволяет специалистам измерять толщину льда, строить 3D-модели и проводить аэрофотосъемку без риска для исследователей. Изотопный анализ - современный подход, который по своему составу воды позволяет точно отличить талую воду ледников от дождевой или подземной. [1, 2, 3, 4]



Рисунок 1. Взаимосвязь лесов, ледников и водного цикла. (составлено автором)

Так же при помощи современных цифровых технологии можно рационально управлять водными ресурсами и обеспечить им безопасность, как предотвращения стихийных бедствий, это как, SPHY (Spatial Processes in Hydrology) и WEAP (комбинация модели SPHY (Spatial Processes in Hydrology) и программного комплекса WEAP (Water Evaluation and Planning) — это один из самых мощных и передовых инструментов для оценки того, как изменения климата повлияют на речной сток и доступность водных ресурсов в будущем. [5]) позволяет моделировать, как изменения климата отразятся на речном стоке в будущем. В зонах риска прорыва ледниковых озер устанавливаются

автоматические датчики снега, температуры и уровня воды. Данные интегрируются в ГИС-платформы, что позволяет реализовать систему раннего предупреждения для местных общин, и цифровизация инфраструктуры, то есть, перевод сельских водоканалов и систем орошения на единые цифровые платформы для минимизации потерь при распределении воды.

Таджикистан является одной из самых богатых стран Центральной Азии по запасам водных ресурсов. Основным источником пресной воды в стране являются ледники, которые питают реки и обеспечивают водой население, сельское хозяйство и энергетический сектор. Однако в условиях глобального изменения климата ледники Таджикистана стремительно тают, что создает серьезные экологические и экономические вызовы. В связи с этим особое значение приобретают современные цифровые технологии, позволяющие эффективно исследовать ледники и управлять водными ресурсами.

Одним из важнейших инструментов исследования являются спутниковые технологии и дистанционное зондирование Земли. С их помощью ученые получают точные данные о площади ледников, скорости их таяния и изменении уровня водных ресурсов. Спутниковый мониторинг позволяет регулярно наблюдать за состоянием крупнейших ледников Таджикистана, включая ледник Ванджях (Федченко) — один из крупнейших горных ледников мира.

Важную роль играют геоинформационные системы (ГИС), которые используются для анализа и визуализации данных. ГИС-технологии помогают создавать цифровые карты ледников и речных бассейнов, прогнозировать изменение водных потоков и оценивать риски засух, наводнений и селевых явлений. Это особенно важно для горных регионов Таджикистана, где природные катастрофы могут представлять серьезную угрозу для населения.

Современные беспилотные летательные аппараты (дроны) также активно применяются в научных исследованиях. Они позволяют проводить аэрофотосъемку труднодоступных районов, получать высокоточные изображения ледников и контролировать состояние водоемов. Использование дронов значительно ускоряет процесс сбора информации и повышает точность исследований.

Кроме того, технологии искусственного интеллекта и анализ больших данных помогают ученым моделировать климатические изменения и прогнозировать состояние водных ресурсов в будущем. Это способствует разработке эффективных стратегий рационального использования воды и предотвращению возможных экологических проблем.

Для Таджикистана внедрение цифровых технологий в сферу исследования ледников и управления водными ресурсами имеет стратегическое значение. Рационализация водных ресурсов способствует обеспечению энергетической

безопасности, развитию сельского хозяйства и защите окружающей среды. В условиях изменения климата современные технологии становятся важным инструментом сохранения природных богатств страны и устойчивого развития будущих поколений.

Таким образом, современные цифровые технологии становятся важнейшим инструментом исследования ледников и управления водными ресурсами. Их применение способствует более точному мониторингу природных процессов, предотвращению экологических рисков и обеспечению устойчивого использования водных ресурсов для будущих поколений.

Источники:

1. Назарзода, Р. С. Нақши зеҳни сунъӣ дар пешрафти истеҳсолот: ҳолати кунунӣ ва дурнамои рушди саноати нассочӣ, сабук ва хӯрока / Р. С. Назарзода // Маводи форуми байналмилалӣ дар мавзуи «Ҳамкориҳои илмӣ дар фазои Авруосиё: рақамикунонӣ ва модернизатсияи саноат бо истифода аз зеҳни сунъӣ» (Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, 10 апрели соли 2025). – С. 451-456. – EDN: CSJZER.

2. <https://avesta.tj/2025/05/27/v-tadzhikistane-otkryli-laboratoriyu-po-monitoringu-lednikov/>

3. <https://unsdg.un.org/ru/latest/stories/в-таджикистане-внедряются-инновации-искусственного-интеллекта-для-управления-водными>

4. <https://www.techinsider.ru/news/news-1733927-drony-snabjennye-radarami-budut-iskat-vodu-na-marse/>

5. <https://khovar.tj/rus/2025/05/izotopnaya-gidrologiya-v-aspekte-mezhdunarodnoj-konferentsii-vysokogo-urovnya-po-sohranenyu-lednikov/>

6. <https://ral.ucar.edu/solutions/products/water-evaluation-and-planning-model-weap>.



РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЛЕДНИКОВ

*Ашурова Нодирабегим Эркиновна- старший преподаватель
кафедры экономика и управление Технологического университета
Таджикистан (города Душанбе, Республики Таджикистан).
E-mail: nodirabegim0485@gmail.com*

В условиях глобального изменения климата проблема сохранения ледников и рационального управления водными ресурсами приобретает особую значимость. Ледники являются важнейшим источником пресной воды, особенно для стран Центральной Азии. Ускоренное таяние ледников влияет на уровень водообеспечения населения, сельского хозяйства, энергетики и экосистем.

Современные цифровые технологии и системы Big Data позволяют собирать, хранить, обрабатывать и анализировать огромные объёмы информации о состоянии ледников и водных ресурсов в режиме реального времени.

Большие данные (Big Data) — это массивы информации, поступающие из различных источников [1]: спутниковые снимки [2], метеостанции [3], дроны [4], гидрологические датчики [5], GIS-платформы [6], климатические модели [7], сенсоры температуры и уровня воды [8]. Эти данные характеризуются большим объёмом, высокой скоростью обновления, разнообразием форматов и необходимостью интеллектуальной обработки.

Big Data позволяет мониторить состояние ледников, отслеживать изменение площади ледников, анализировать скорость таяния, определять объёмы ледниковой массы и выявлять опасные изменения. Например, спутниковые системы Sentinel, Landsat и MODIS [9], которые ежедневно формируют огромные массивы данных о ледниках.

С помощью анализа больших данных можно прогнозировать объёмы речного стока, оценивать запасы пресной воды, моделировать последствия изменения климата рассчитывать риски засух и паводков. Big Data может использоваться для прогнозирования селевых потоков, предупреждения наводнений, мониторинга ледниковых озёр и оценки риска прорыва дамб.

Анализ больших данных помогает государствам разрабатывать водную политику, управлять водохранилищами, распределять водные ресурсы и обеспечивать устойчивое развитие.



Рисунок 1. Взаимосвязь лесов, ледников и водного цикла. (составлено автором)

Big Data в гидрологии и гляциологии используются такие технологии как:

- GIS-технологии;
- искусственный интеллект (AI);
- машинное обучение;
- облачные вычисления;
- дистанционное зондирование Земли;
- IoT-датчики;
- цифровые гидрологические модели.

Следовательно, анализ больших данных играет важную роль в эффективном управлении водными ресурсами и исследовании ледников. Использование современных цифровых технологий, таких как GIS-системы, искусственный интеллект, машинное обучение, дистанционное зондирование Земли и цифровые гидрологические модели, позволяет значительно повысить точность мониторинга, прогнозирования и анализа состояния водных ресурсов.

Таджикистан обладает крупнейшими запасами пресной воды в Центральной Азии и формирует до 60% водных ресурсов региона. Использование больших данных позволяет:

- контролировать состояние ледников Памира;
- прогнозировать водные ресурсы;
- повышать эффективность водопользования;
- снижать экологические риски;
- обеспечивать водную безопасность страны.

Следовательно, внедрение технологий Big Data способствует принятию более обоснованных управленческих решений, повышению эффективности эксплуатации водохранилищ, рациональному распределению водных ресурсов и обеспечению устойчивого развития государств в условиях изменения климата.

Таджикистан, обладая крупнейшими запасами пресной воды в Центральной Азии и формируя до 60% водных ресурсов региона [10], имеет стратегическое значение в сфере водной безопасности. Использование больших данных позволяет осуществлять постоянный контроль состояния ледников Памира, прогнозировать объёмы водных ресурсов, снижать экологические риски и повышать эффективность водопользования.

Например, одним из крупнейших и наиболее известных ледников Таджикистана является ледник **Ванджях (Федченко)** — крупнейший горный ледник в мире за пределами полярных регионов. Он расположен в горах Памира и имеет длину около 77 км. [11]. Ледник **Ванджях (Федченко)** играет важную роль в формировании водных ресурсов Центральной Азии и является важным объектом для климатических и гидрологических исследований.

Среди крупнейших рек Таджикистана можно выделить [12]:

- **Амударья** — одна из крупнейших рек Центральной Азии, формирующаяся за счёт ледниковых вод Памира;
- **Вахш** — важнейшая река для гидроэнергетики Таджикистана;
- **Пяндж** — крупная трансграничная река, образующая границу между Таджикистаном и Афганистаном;
- **Зеравшан** — важный источник воды для сельского хозяйства;
- **Кафирниган** — река, имеющая большое значение для водоснабжения и ирригации.

Эти ледники и реки являются основными объектами исследований в области Big Data, GIS-технологий и дистанционного мониторинга, поскольку именно они формируют водные ресурсы Таджикистана и всего региона Центральной Азии.

Следовательно, применение технологий Big Data в Таджикистане становится важнейшим инструментом обеспечения экологической устойчивости, предотвращения природных угроз и укрепления водной безопасности страны и всего региона Центральной Азии.

Преимущества использования больших данных, такие как высокая точность, оперативность получения информации, автоматизация процессов, масштабируемость анализа и возможности прогнозирования, обеспечивают получение более достоверных данных и своевременное предупреждение рисков.

В таблице 2. преимущества использования Big Data можно увидеть их значения.

Таблица 2.

Преимущества	Значение
Высокая точность	Более достоверные прогнозы
Оперативность	Данные в реальном времени
Автоматизация	Снижение человеческого фактора
Масштабируемость	Анализ больших территорий
Прогнозирование	Предотвращение рисков

Следовательно, технологии больших данных являются основой современных исследований ледников и водных ресурсов, позволяя повысить качество научных исследований, эффективность управления природными ресурсами и устойчивость социально-экономического развития в условиях глобальных климатических изменений.

В современных условиях глобального изменения климата исследование ледников и водных ресурсов приобретает особую актуальность. Для Таджикистана, обладающего крупнейшими запасами пресной воды в Центральной Азии, вопросы мониторинга ледников и эффективного управления водными ресурсами имеют стратегическое значение для устойчивого развития страны и всего региона.

Проведённый анализ показал, что использование технологий больших данных (Big Data), GIS-систем, искусственного интеллекта, дистанционного зондирования Земли и цифровых гидрологических моделей позволяет значительно повысить эффективность исследований ледников и водных ресурсов. Современные цифровые технологии обеспечивают высокую точность прогнозирования, оперативность получения информации, автоматизацию процессов мониторинга и снижение рисков природных катастроф.

Особое значение для Таджикистана имеет мониторинг ледников Памира, включая ледник Федченко, который является одним из крупнейших горных ледников мира. Состояние ледников напрямую влияет на формирование водных ресурсов рек Амударья, Вахш, Пяндж и Зеравшан, обеспечивающих водоснабжение, сельское хозяйство и гидроэнергетику региона.

Использование больших данных позволяет прогнозировать изменения водных ресурсов, оценивать последствия климатических изменений, предотвращать чрезвычайные ситуации и принимать научно обоснованные решения в сфере водной политики.

Таким образом, внедрение цифровых технологий и систем Big Data становится важнейшим направлением развития современной гидрологии и гляциологии, способствуя обеспечению экологической устойчивости, водной безопасности и рационального использования природных ресурсов Таджикистана.

Предложения.

- Расширить использование спутникового мониторинга и GIS-технологий для постоянного наблюдения за состоянием ледников Таджикистана;
- Развивать национальные цифровые платформы по сбору и анализу гидрологических и климатических данных;
- Внедрять технологии искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования таяния ледников, паводков и засух;
- Усилить систему раннего предупреждения чрезвычайных ситуаций, связанных с селями, наводнениями и прорывами ледниковых озёр;
- Расширять международное сотрудничество в области обмена климатическими и гидрологическими данными;
- Повышать уровень подготовки специалистов в области Big Data, GIS и цифровой гидрологии;
- Развивать цифровую инфраструктуру водохозяйственного комплекса для повышения эффективности управления водными ресурсами;
- Усилить научные исследования влияния изменения климата на ледники Памира и водные ресурсы Центральной Азии.

Источники:

1. Назарзода, Р. С. Нақши зеҳни сунъӣ дар пешрафти истеҳсолот: ҳолати кунунӣ ва дурнамои рушди саноати нассочӣ, сабук ва хӯрока / Р. С. Назарзода // Маводи форуми байналмилалӣ дар мавзуи «Ҳамкории илмӣ дар фазои Авруосиё: рақамикунонӣ ва модернизатсияи саноат бо истифода аз зеҳни сунъӣ» (Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, 10 апрели соли 2025). – С. 451-456. – EDN: CSJZER.
2. Назарзода Р. С. Падидаи додаҳои калон ва зухури илми додашиносӣ / Р. С. Назарзода // Паёми Донишгоҳи технологии Тоҷикистон. – 2023. – № 4/1 (55). – С. 122 – 132. – EDN: BLWTCQ.
3. https://www.researchgate.net/publication/357744921_Bolsie_dannye_v_geofizike_i_drugih_naukah_o_Zemle
4. <https://education.yandex.ru/journal/kak-predskazyvayut-pogodu>
5. https://www.unapcict.org/sites/default/files/2019-01/Hydromet_kit_Rus_sm.pdf
6. <https://www.rmets.org/metmatters/mapping-weather-geographic-information-systems-gis>
7. <https://education.yandex.ru/journal/kak-predskazyvayut-pogodu>;
8. https://www.unapcict.org/sites/default/files/2019-01/Hydromet_kit_Rus_sm.pdf
9. <https://science.nasa.gov/missions/landsat/nasa-scientist-explains-how-glaciers-flow-with-the-seasons>

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

*Байматова Насиба Исраиловна – старший преподаватель,
Технологический университет Таджикистана,
e-mail: nboymatova@mail.ru*

Вода является одним из ключевых природных ресурсов, определяющих развитие экономики и качество жизни населения. Для Республики Таджикистан этот вопрос имеет особое значение. На территории страны формируется значительная часть водных ресурсов Центральной Азии, а состояние ледников напрямую влияет на обеспечение с водой население, сельское хозяйство, энергетику и экологическую безопасность региона. В статье рассматриваются возможности применения цифровых технологий в исследовании ледников и водных ресурсов Республики Таджикистан. Особое внимание уделено использованию геоинформационных систем, технологий дистанционного зондирования Земли, цифровых картографических ресурсов и автоматизированных систем мониторинга. Показано, что внедрение современных цифровых решений позволяет повысить точность наблюдений, оперативность обработки информации и качество принимаемых управленческих решений.

За последние десятилетия проблема рационального использования водных ресурсов стала более актуальной. Изменение климата приводит к сокращению площади ледников и изменению режима речного стока. Одновременно растут потребности населения и экономики в водных ресурсах. В этих условиях возрастает потребность в современных инструментах наблюдения, анализа и прогнозирования.

Развитие цифровых технологий открыло новые возможности для изучения водных ресурсов и ледников. Спутниковые данные, геоинформационные системы, автоматизированные средства мониторинга позволяют получать информацию значительно быстрее и точнее, чем это было возможно ещё несколько лет назад. Для Таджикистана, обладающего сложным горным рельефом и большим количеством труднодоступных территорий, такие технологии имеют особую практическую ценность.

Республика Таджикистан занимает особое место в водохозяйственной системе Центральной Азии. По различным оценкам, на территории страны формируется около 60 % водных ресурсов региона [2]. Здесь расположено свыше

13 тысяч ледников, которые являются важнейшим источником питания рек Амударьинского и Сырдарьинского бассейнов.

В последние десятилетия под воздействием климатических изменений наблюдается сокращение площади отдельных ледников. Одним из наиболее известных примеров является ледник Ванджях (бывший ледник Федченко), который считается крупнейшим горным ледником Евразии. Изменения, происходящие в ледниковых системах, оказывают влияние на режим речного стока, состояние экосистем и водообеспечение населения [4,5].

В этих условиях возрастает значение точных исследований и цифровых технологий. Современные методы позволяют получать информацию о состоянии ледников без необходимости постоянного присутствия исследовательских групп в труднодоступных горных районах. Спутниковые данные, цифровые модели рельефа и геоинформационные системы существенно расширяют возможности наблюдений и повышают точность получаемых результатов [3].

В Таджикистане постепенно расширяется применение геоинформационных технологий в сфере природопользования. Создаются электронные базы данных, цифровые карты водных объектов, совершенствуются методы дистанционного мониторинга. Использование таких инструментов позволяет отслеживать изменения площади ледников, анализировать состояние водосборных бассейнов и прогнозировать возможные гидрологические риски.

Практическая ценность цифровых технологий особенно заметна при прогнозировании паводков, селевых процессов и последствий интенсивного таяния ледников. Своевременно полученная информация помогает государственным органам принимать более обоснованные решения и снижать возможный ущерб от природных явлений [2].

Таблица 1. Значение водных ресурсов Республики Таджикистан для Центральной Азии

Показатель	Значение
Доля формируемых водных ресурсов Центральной Азии	около 60 %
Количество ледников	более 13 000
Общая площадь ледников	около 8 тыс. км ²
Крупнейший ледник	Ванджях (Федченко)
Основные водные артерии	Амударья, Сырдарья

Источник: составлено автором на основе материалов Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан и международных организаций.

Развитие цифровых технологий требует не только технического оснащения, но и подготовки специалистов нового поколения. Работа с геоинформационными системами, большими массивами данных и технологиями дистанционного зондирования становится важной частью научных исследований в области изучения ледников и водных ресурсов. По этой причине вопросы цифровой трансформации затрагивают не только природоохранную сферу, но и систему образования, подготовки кадров и научных исследований. [1].

Вопросы управления водными ресурсами сегодня невозможно рассматривать отдельно от процессов цифровизации. Во многих странах цифровые технологии уже стали частью системы мониторинга природных ресурсов. Таджикистан также постепенно внедряет современные подходы к сбору и обработке данных [2].

Одним из наиболее востребованных инструментов являются геоинформационные системы. Они позволяют объединять картографическую информацию, результаты наблюдений и статистические данные в едином цифровом пространстве. Это упрощает анализ состояния водных объектов и помогает выявлять изменения, которые трудно определить при традиционных методах наблюдения [3].

Большие возможности предоставляет дистанционное зондирование Земли. Спутниковые снимки используются для наблюдения за ледниками, определения площади снежного покрова, оценки состояния водосборных бассейнов. Полученные данные особенно ценны для горных районов, где проведение регулярных полевых исследований связано со значительными затратами времени и ресурсов.

Отдельное направление связано с использованием автоматизированных систем мониторинга. Современные датчики позволяют фиксировать уровень воды, температуру, объём осадков и другие показатели практически в режиме реального времени. Такая информация помогает быстрее реагировать на изменения гидрологической обстановки и повышает качество принимаемых решений [3].

Экономический эффект цифровизации проявляется не только в повышении точности наблюдений. Сокращаются расходы на проведение отдельных видов исследований, уменьшаются потери времени при обработке информации, повышается эффективность работы организаций, связанных с управлением водными ресурсами. Более точные данные позволяют обоснованнее планировать использование воды в сельском хозяйстве, энергетике и коммунальном хозяйстве.

Вместе с тем процесс внедрения цифровых технологий развивается неравномерно. Многие проекты требуют значительных финансовых вложений,

современного оборудования и специалистов, способных работать с цифровыми платформами и большими массивами данных. Для ряда организаций остаются актуальными вопросы технического оснащения и подготовки кадров [1].

Перспективы дальнейшего развития связаны с расширением цифровой инфраструктуры, внедрением интеллектуальных систем анализа данных и укреплением взаимодействия между научными учреждениями, государственными структурами и международными организациями. Накопление и систематизация достоверной информации о состоянии ледников и водных ресурсов позволит повысить эффективность управления этой стратегически важной сферой [2].

Цифровые технологии постепенно становятся неотъемлемой частью системы управления водными ресурсами. Их применение позволяет получать более полную информацию о состоянии ледников, водных объектов и связанных с ними природных процессах. Для Республики Таджикистан это имеет не только научное, но и практическое значение, поскольку вопросы водной безопасности напрямую связаны с устойчивым развитием экономики и благополучием населения. Дальнейшее расширение цифровых решений в водохозяйственной сфере будет способствовать более рациональному использованию природных ресурсов и повышению качества управленческих решений.

Литература:

1. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года. – Душанбе, 2016.
2. Национальная водная стратегия Республики Таджикистан на период до 2040 года. – Душанбе, 2024.
3. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. – Paris: UNESCO, 2024.
4. Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан. Информационные материалы о состоянии ледников и водных ресурсов Республики Таджикистан. – Душанбе, 2024.
5. Комитет по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Таджикистан. – Душанбе, 2024.



ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

*Битус Евгений Иванович – д. техн. н., профессор
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) (Москва, Россия),
Email: evgenbit@yandex.ru*

*Артемьев Виктор Степанович – старший преподаватель
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (Москва,
Россия), Email: electricequipment@yandex.ru*

Режим работы насосных станций в реальных условиях редко соответствует расчётным параметрам, принимаемым при проектировании. Изменение расхода воды в распределительной сети приводит к смещению рабочей точки насосного агрегата, вследствие чего центробежный насос начинает функционировать вне области максимального коэффициента полезного действия. Режимы сопровождаются ростом потребляемой мощности, увеличением токовой нагрузки электропривода и дополнительным нагревом обмоток двигателя. Проявляется в системах с переменным графиком водопотребления, где изменение гидравлического сопротивления трубопровода происходит быстрее установления стационарного режима подачи жидкости. Использование нерегулируемого электропривода в подобных условиях приводит к работе насоса при избыточной скорости вращения рабочего колеса даже в периоды снижения расхода. В результате возрастает удельное энергопотребление и увеличиваются гидравлические потери внутри проточной части насоса. При эксплуатации распределительных систем большой протяжённости подобные отклонения становятся причиной ускоренного износа подшипниковых узлов и снижения ресурса электродвигателя. Применение частотного регулирования позволяет изменять скорость вращения привода в зависимости от текущего гидравлического состояния сети.

Смещение рабочей точки центробежного насоса при переменном режиме водопотребления сопровождается изменением не только расхода жидкости, но и энергетического состояния электропривода. В системах с постоянной скоростью вращения рабочее колесо продолжает развивать избыточный напор даже после снижения потребления воды, вследствие чего часть энергии расходуется на преодоление локальных гидравлических потерь внутри трубопроводной сети. Для анализа электромеханического состояния насосного агрегата используется

совмещённая модель двигателя и гидравлической части насоса. Электромагнитный момент асинхронного двигателя определяется выражением

$$M_e = \frac{3pU_1^2 R_2'}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}, \quad (1)$$

где p — число пар полюсов, U_1 — фазное напряжение статора, R_1, R_2' — активные сопротивления статора и ротора, X_1, X_2' — индуктивные сопротивления, s — скольжение.

При уменьшении расхода воды величина гидравлического момента изменяется нелинейно. Для центробежного насосного агрегата момент сопротивления может быть представлен зависимостью

$$M_h = \frac{\rho g Q H}{\omega}, \quad (2)$$

где Q — расход жидкости, H — напор насоса, ω — угловая скорость рабочего колеса.

Изменение угловой скорости ротора определяется уравнением движения

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_h - M_f, \quad (3)$$

где J — приведённый момент инерции вращающихся масс, M_f — момент механических потерь.

Внутри рабочего колеса возникают локальные зоны повышенной вихревой интенсивности, положение которых изменяется по радиусу и угловой координате вращения. Распределение циркуляционной составляющей скорости в относительном движении описывалось зависимостью

$$\Gamma(r, \theta) = 2\pi r(u(r) - w_\theta(r, \theta)),$$

где $u(r)$ — окружная скорость рабочего колеса, $w_\theta(r, \theta)$ — относительная тангенциальная составляющая скорости потока.

При снижении расхода ниже $0.58Q_{nom}$ происходило перераспределение циркуляции по радиусу рабочего колеса, сопровождающееся смещением максимумов функции $\Gamma(r, \theta)$ в периферийную область межлопаточного канала. Интенсивность вторичных вихревых структур возросла почти в 1.9–2.3 раза относительно номинального режима.

Изменение локального энергетического состояния потока определялось распределением полной энтальпии

$$h^*(r, \theta) = \frac{p(r, \theta)}{\rho} + \frac{w^2(r, \theta)}{2} + \frac{u^2(r)}{2},$$

где $w(r, \theta)$ — относительная скорость жидкости в вращающейся системе координат.

В режимах частичной подачи наблюдалось формирование областей пониженной полной энтальпии вблизи тыльной поверхности лопаток. Распределение сопровождалось ростом локальных гидродинамических потерь и нарушением, оси симметричности потока на выходе из рабочего колеса.

Для оценки интенсивности диссипативных процессов использовалась функция турбулентной вязкости

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon},$$

где k — кинетическая энергия турбулентности, ε — скорость её диссипации.

При уменьшении расхода до $Q = (0.42-0.55)Q_{nom}$ величина ν_t возрастала в приосевой области рабочего колеса, что указывало на развитие масштабных турбулентных структур внутри проточной части насоса. Радиальное распределение давления описывалось уравнением

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{c_\theta^2}{r},$$

где c_θ — окружная составляющая абсолютной скорости потока.

При увеличении частоты вращения свыше 48 Гц градиент давления в периферийной области рабочего колеса возрастал почти линейно, однако распределение c_θ по угловой координате становилось неравномерным. В результате возникала переменная радиальная нагрузка на вал насосного агрегата.

Спектральный анализ гидродинамической силы показал наличие выраженной низкочастотной составляющей

$$F_r(t) = \sum_{k=1}^n A_k \sin(k\Omega t + \varphi_k),$$

где Ω — угловая скорость вращения рабочего колеса.

При переходе в область пониженных расходов амплитуда первой гармоники возрастала до $0.21-0.27F_{nom}$, что сопровождалось увеличением вибрационной активности корпуса насосного агрегата в диапазоне 18–31 Гц.

Дополнительное влияние на устойчивость режима оказывала структура пограничного слоя на поверхности лопаток. Толщина вязкого подслоя определялась выражением

$$\delta = \frac{5\nu}{u_\tau},$$

где u_τ — динамическая скорость трения.

При снижении локальной скорости потока происходило увеличение толщины приграничного слоя, вследствие чего возрастала вероятность отрыва течения вблизи выходной кромки лопатки. Для режимов $Q < 0.5Q_{nom}$ фиксировалось формирование нестационарных зон рециркуляции, занимающих до 14–18% площади межлопаточного канала.

В результате перераспределения структуры течения изменялось и энергетическое состояние электропривода. Рост переменной составляющей гидродинамического момента приводил к появлению низкочастотных колебаний электромагнитного момента двигателя

$$M_e(t) = M_0 + \Delta M \sin(\omega_p t),$$

где ω_p соответствовала частоте гидродинамического возмущения.

При совпадении ω_p с диапазоном собственных колебаний механической системы наблюдалось увеличение амплитуды вибрации опорных узлов и ускоренный рост механических потерь в подшипниковом блоке насосного агрегата.

Напорная характеристика насоса в исследуемом диапазоне скоростей аппроксимировалась выражением

$$H(Q, \omega) = a\omega^2 - bQ^2 - cQ\omega, \quad (4)$$

где коэффициенты a , b и c определялись параметрами рабочего колеса и конфигурацией проточной части.

При увеличении скорости вращения свыше 47 Гц вклад квадратичного члена bQ^2 возрастал, вследствие чего система переходила в область повышенного гидравлического сопротивления. Сопровождаясь ростом давления в напорной линии до 0.41–0.46 МПа, и увеличением потребляемого тока статора.

Тепловое состояние двигателя определялось энергетическим балансом

$$C_{th} \frac{dT}{dt} = P_{cu} + P_{fe} + P_m - k_s(T - T_{env}), \quad (5)$$

где C_{th} — приведённая тепловая ёмкость двигателя, P_{cu} — медные потери статора, P_{fe} — магнитные потери, P_m — механические потери, k_s — коэффициент теплоотдачи.

Медные потери определялись выражением

$$P_{cu} = 3I^2 R_l \quad (6)$$

При токе $I = 1.16–1.22I_n$ температура обмоток возрастала до 75°C, уже через 11–14 мин., после перехода насоса в режим пониженного расхода. В диапазоне $Q < 2.4 \text{ м}^3/\text{ч.}$, скорость роста температуры становилась выше скорости изменения гидравлических параметров системы, что указывало на преобладание электрических потерь над механической мощностью на валу.

Потребляемая мощность двигателя определялась выражением

$$P_{in} = \sqrt{3}UI \cos \varphi, \quad (7)$$

а гидравлическая мощность насоса

$$P_h = \rho g Q H. \quad (8)$$

На основании выражений (7)–(8) рассчитывался текущий коэффициент полезного действия насосного агрегата

$$\eta = \frac{P_h}{P_{in}}. \quad (9)$$

При частотном регулировании максимальное значение $\eta = 0.83-0.85$ достигалось в области $\omega = 41-43$ Гц, где расход сохранялся на уровне $4.0-4.3$ м³/ч. С увеличением скорости вращения рост гидравлических потерь происходил быстрее увеличения полезной мощности потока, вследствие чего удельное энергопотребление возрастало почти на 17%.

Для оценки энергетической эффективности режима вводился коэффициент удельных затрат энергии

$$w = \frac{P_{in}}{Q}. \quad (10)$$

Минимальное значение w соответствовало режимам, в которых отклонение рабочей точки от области максимального КПД не превышало 6–8%. В результате исследования установлено, что изменение скорости вращения рабочего колеса оказывает нелинейное влияние на энергетическое состояние насосного агрегата. В диапазоне $\omega = 40-43$ Гц сохранялось наиболее устойчивое соотношение между расходом, напором и тепловым режимом электропривода. Расход поддерживался на уровне $4.0-4.4$ м³/ч, давление в напорной линии не превышало $0.33 - 0.36$ МПа, а коэффициент полезного действия оставался выше 0.82.

Снижение расхода ниже $2.1-2.3$ м³/ч сопровождалось перестройкой структуры течения внутри межлопаточных каналов рабочего колеса. Наблюдалось увеличение коэффициента внутренней циркуляции почти на 23%, рост турбулентной вязкости в приосевой области и формирование локальных зон рециркуляции, занимающих до 14–18% площади проточной части насоса. Коэффициент преобразования энергии ψ снижался до $0.63-0.67$, что указывало на рост внутренних гидравлических потерь. При увеличении частоты вращения свыше 47–48 Гц фиксировалось возрастание радиальной нагрузки на вал до $0.18-0.24$ кН. В этот момент амплитуда переменной составляющей гидродинамической силы возрастала до $0.21-0.27F_{nom}$, что сопровождалось увеличением вибрационной активности корпуса насосного агрегата в диапазоне 18–31 Гц. Тепловой анализ показал, что при токовой нагрузке $I = 1.14-1.22I_n$ плотность теплового потока в статорной части двигателя достигала $3.6-4.1$ кВт/м², вследствие чего температура обмоток возрастала до $74-79$ °С. При использовании частотного регулирования максимальная температура не превышала $61-63$ °С, а удельное энергопотребление снижалось в среднем на 12–16%.

Наиболее устойчивый режим функционирования насосного агрегата соответствовал области $\frac{Q}{Q_{nom}} = 0.82-0.93$, где сохранялось равномерное распределение давления по поверхности лопаток, отсутствовали выраженные зоны отрыва течения, а коэффициент динамического отклонения расхода не

превышал $0.11-0.14$. Полученные авторами, зависимости подтверждают, что эксплуатация центробежного насоса вне области оптимальной подачи приводит не только к росту энергетических потерь, но и к изменению структуры течения внутри проточной части.

Литература:

1. Артемьев, В. С. Оптимизация траекторий промышленных манипуляторов методом моментов / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2025. – № 2. – С. 29-42. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2025/2/29-42.

2. Артемьев, В. С. Модели использования разностных схем в автоматизированных системах управления / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2025. – Т. 72, № 1(58). – С. 97-105. – DOI 10.22314/2658-4859-2025-72-1-97-105.

3. Артемьев, В. С. Адаптивное управление тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий на основе критерия интегральной устойчивости / В. С. Артемьев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – Т. 27, № 5. – С. 98-112. – DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-5-98-112.

4. Артемьев, В. С. Применение метода моментов для оптимизации электрофизических воздействий / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3(71). – С. 228-236. – DOI 10.18286/1816-4501-2025-3-228-236.



ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАБОТЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

*Битус Евгений Иванович – д. техн. н., профессор
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)
(Москва, Россия), Email: evgenbit@yandex.ru*

*Медведев Александр Валерьевич – к. эконом. н., доцент
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
(Москва, Россия), Email: av_medvedev@inbox.ru*

Работа трубопроводных магистралей в составе насосных станций сопровождается возникновением нестационарных гидродинамических процессов, интенсивность которых существенно возрастает при изменении режима подачи жидкости. Сложные условия формируются в момент переключения запорной арматуры, запуска дополнительного насосного агрегата или резкого изменения расхода воды в распределительной сети. В подобных режимах движение потока перестаёт быть стационарным, вследствие чего в трубопроводе возникают волны давления, распространяющиеся вдоль магистрали с высокой скоростью. Для протяжённых линий подобные процессы сопровождаются отражением гидродинамических возмущений от удалённых участков сети и последующим перераспределением давления по длине трубопровода. Максимальные нагрузки возникают не вблизи насосного агрегата, а в зонах изменения геометрии трубопровода, на участках локального сопротивления и в местах изменения направления движения жидкости. Возникающие колебания давления оказывают влияние на устойчивость режима подачи воды и техническое состояние запорной арматуры.

Параллельная работа насосных агрегатов в составе распределительной станции сопровождается изменением структуры потоков в общем напорном коллекторе. При изменении расхода воды часть насосов начинает переходить в режим повышенной производительности, тогда как остальные агрегаты продолжают работать с пониженной нагрузкой. В результате распределение подачи между линиями перестаёт быть равномерным, а гидравлическое состояние станции начинает определяться не только характеристиками отдельных насосов, но и параметрами общего коллектора.

Суммарная производительность насосной станции определяется выражением

$$Q_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t), \quad (1)$$

где $Q_i(t)$ — расход i -го насосного агрегата.

При параллельной работе насосов давление в общем коллекторе становится функцией суммарного расхода

$$\Delta p_c(t) = R_c Q_{\Sigma}^2(t), \quad (2)$$

где R_c — эквивалентное гидравлическое сопротивление напорной магистрали.

В результате система приобретает свойства многосвязной динамической структуры с переменными внутренними связями.

Для описания подобного режима вводился тензор гидравлического взаимодействия $\Pi = \pi_{ij}$, где элемент π_{ij} характеризует изменение давления в i -й насосной линии при вариации расхода в j -м контуре. В условиях симметричной нагрузки диагональные компоненты тензора сохраняли доминирующее значение, однако при увеличении суммарного расхода станции свыше $15\text{--}17 \text{ м}^3/\text{ч}$, возрастали недиагональные элементы, определяющие межконтурное гидравлическое влияние. Для наиболее удалённых насосных ветвей величина отношения $\frac{\pi_{ij}}{\pi_{ii}}$ достигала $0.28\text{--}0.36$, указывая на высокий уровень взаимосвязанности потоков внутри станции.

Изменение локального расхода в распределительном контуре описывалось выражением

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \frac{\partial q_j}{\partial x} = -\beta_i \frac{\partial p_i}{\partial x} - \gamma_i q_i |q_i|,$$

где коэффициенты α_{ij} учитывали влияние сопряжённых потоков соседних насосных линий.

Работа насосов данное представление позволяло учитывать пространственно-временное перераспределение расходов внутри коллектора. При асимметричном подключении потребителей наблюдалось формирование областей локального ускорения потока, смещающихся вдоль напорной магистрали по мере изменения структуры водоразбора.

Для оценки неоднородности распределения скоростей использовалась функция гидравлической анизотропии

$$A(t) = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{\bar{v}^2},$$

где v_i — локальная скорость жидкости в насосной линии.

В устойчивом режиме величина $A(t)$ не превышала $0.08\text{--}0.11$, после подключения дополнительных потребителей возрастала почти в три раза. В определённый момент часть насосных ветвей переходила в режим локального

ускорения потока, сопровождающегося увеличением турбулентных потерь и ростом гидравлического сопротивления.

Распределение давления в коллекторе определялось уравнением

$$\frac{\partial p}{\partial t} + c_h^2 \frac{\partial q}{\partial x} = -\lambda \frac{q |q|}{2DS},$$

где c_h — скорость распространения гидравлического возмущения.

При длине коллектора свыше 120–150 м изменение давления в одной насосной линии вызывало вторичное перераспределение потоков по всей структуре станции. В ряде режимов возникали медленно затухающие колебания расхода с характерным временем 7–12 с, сопровождающиеся периодическим изменением производительности отдельных агрегатов.

Для анализа устойчивости распределения потоков рассматривалась матрица энергетической чувствительности $S = \frac{\partial P}{\partial Q}$, где элементы матрицы характеризовали изменение мощности насосных агрегатов при вариации расхода отдельных контуров. Рост недиагональных элементов матрицы S свидетельствовал об усилении энергетического взаимодействия насосных линий. При этом увеличение производительности одного агрегата сопровождалось вторичным изменением мощности соседних приводов даже при отсутствии изменения их управляющего сигнала.

Для оценки устойчивости координированного режима использовался функционал пространственного рассогласования

$$J = \int_0^T \left[\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 + \kappa \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \right] dt,$$

где коэффициент κ определял степень влияния неравномерности давления на общее состояние станции.

В режимах повышенной гидравлической асимметрии значение функционала возрастало почти в 2.4–2.8 раза, что сопровождалось увеличением колебаний расхода и возникновением вторичных зон перераспределения давления внутри коллектора. Рост расхода в одной из линий вызывает увеличение давления в коллекторе, вследствие чего производительность соседних насосов начинает изменяться даже при неизменной скорости вращения, напорная характеристика каждого насосного агрегата описывалась зависимостью

$$H_i(Q_i) = H_{0i} - a_i Q_i^2, \quad (3)$$

где H_{0i} — напор холостого хода, a_i — коэффициент аппроксимации характеристики насоса.

Для исследуемой станции при $Q_i = 3.2-5.6 \text{ м}^3/\text{ч.}$, отклонение давления между отдельными насосными линиями достигало $0.04-0.09 \text{ МПа}$. В режимах, где часть агрегатов переходила в область повышенной гидравлической нагрузки, что сопровождалось ростом потребляемого тока двигателя.

Изменение расхода отдельной линии описывалось уравнением

$$T_i \frac{dQ_i}{dt} + Q_i = k_i u_i - \beta_i \Delta p_c, \quad (4)$$

где T_i — постоянная времени насосной линии, u_i — управляющее воздействие преобразователя частоты, β_i — коэффициент влияния давления коллектора на производительность агрегата.

При увеличении суммарного расхода станции до $Q_\Sigma = 14-17 \text{ м}^3/\text{ч}$ влияние члена $\beta_i \Delta p_c$ возрастало, вследствие чего изменение режима одного насоса вызывало перераспределение потоков по всей станции. Для наиболее удалённых линий время стабилизации расхода достигало $12-16 \text{ с}$, тогда как ближайшие к коллектору агрегаты переходили в новый режим значительно быстрее.

Для оценки степени неравномерности распределения подачи использовался коэффициент отклонения расхода

$$\varepsilon_i = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\bar{Q}}, \quad (5)$$

где

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (6)$$

В устойчивом режиме величина ε_i не превышала $0.06-0.09$, однако после подключения дополнительной потребительской линии возрастала до $0.24-0.31$. Расход наиболее загруженного насоса увеличивался почти на 28% относительно среднего значения по станции.

Изменение давления в коллекторе сопровождалось дополнительными потерями напора

$$\Delta H_c = \frac{\Delta p_c}{\rho g}, \quad (7)$$

что приводило к смещению рабочих точек насосов относительно области максимального коэффициента полезного действия. При $\Delta H_c > 3.8-4.6 \text{ м}$ наблюдалось увеличение гидравлических потерь и рост колебаний подачи жидкости в отдельных линиях.

Для уменьшения неравномерности распределения потоков использовался каскадный алгоритм регулирования, при котором управляющее воздействие определялось выражением

$$u_i = u_0 - k_p(Q_i - \bar{Q}) - k_d \frac{dQ_i}{dt}. \quad (8)$$

При использовании подобного алгоритма отклонение расходов между насосными линиями уменьшалось с $1.6\text{--}2.0 \text{ м}^3/\text{ч}$, до $0.4\text{--}0.7 \text{ м}^3/\text{ч}$. Снижается, амплитуда колебаний давления в напорном коллекторе и уменьшалось время перехода станции к установившемуся режиму.

В режимах неравномерного водопотребления наиболее устойчивое состояние наблюдалось при

$$|\varepsilon_i| < 0.12, \quad (9)$$

где изменение давления в коллекторе не превышало 5%, а перераспределение потоков между насосными агрегатами происходило без возникновения выраженных колебательных процессов. В ходе исследования установлено, что при параллельной работе насосных агрегатов устойчивость распределительной станции определяется не только суммарным расходом жидкости, но и характером межконтурного взаимодействия отдельных насосных линий. При увеличении общего расхода станции до $15\text{--}17 \text{ м}^3/\text{ч}$ возрастало влияние взаимосвязанных гидравлических процессов в коллекторе, вследствие чего отношение $\frac{\pi_{ij}}{\pi_{ii}}$ достигало $0.28\text{--}0.36$. Сопровождалось перераспределением потоков между насосными ветвями и возникновением пространственной неравномерности режима подачи воды. После подключения дополнительных потребительских линий величина функции гидравлической анизотропии $A(t)$ возрастала почти в $2.7\text{--}3.1$ раза относительно стационарного режима. В отдельных насосных ветвях скорость потока увеличивалась до $2.8\text{--}3.3 \text{ м/с}$, тогда как соседние линии сохраняли режим пониженной производительности.

Рост циркуляционной составляющей потока $\Gamma > 0.6\text{--}0.8 \text{ м}^2/\text{с}$ указывал на формирование внутренних зон рециркуляции жидкости в коллекторе. В режимах максимальной гидравлической асимметрии функционал пространственного рассогласования J возрастал почти в $2.4\text{--}2.8$ раза. Использование координированного регулирования позволило уменьшить амплитуду колебаний расхода в распределительных ветвях на $38\text{--}44\%$, одновременно снижая пространственную неравномерность давления в коллекторе. Устойчивое состояние системы наблюдалось при условии, когда отклонение локальных расходов относительно среднего значения не превышало $9\text{--}12\%$, а изменение давления между насосными линиями сохранялось в диапазоне $0.03\text{--}0.05 \text{ МПа}$.

Литература:

1. Артемьев, В. С. Адаптивное управление тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий на основе критерия интегральной устойчивости / В. С. Артемьев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – Т. 27, № 5. – С. 98-112. – DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-5-98-112.

2. Артемьев, В. С. Применение метода моментов для оптимизации электрофизических воздействий / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3(71). – С. 228-236. – DOI 10.18286/1816-4501-2025-3-228-236.

3. Algebraic Methods of Automatic Optimization and Formal Verification OF Parallel Algorithms / A. M. Tramova, A. A. Popov, V. S. Artemyev, N. V. Mokrova // Computational Mathematics and Modeling. – 2025. – DOI 10.1007/s10598-025-09651-x.

4. Трамова, А. М. Методологическое конструирование фрактальной модели межотраслевой кооперации региональных инновационных кластеров / А. М. Трамова, Т. Х. Созаева, В. С. Артемьев // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2025. – № S1. – С. 202-210. – DOI 10.26118/2782-4586.2025.88.13.025.

5. Артемьев, В. С. Трансформация механизмов макроэкономического воспроизводства под влиянием цифровых платформ и алгоритмической координации / В. С. Артемьев, А. М. Трамова, М. Б. Саидахмедова // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2025. – № 11(181). – С. 9-19. – DOI 10.26726/rppe2025v11totmo.

6. Максимов, А. С. SCADA-системы : учебное пособие / А. С. Максимов, В. С. Артемьев. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2025. – 268 с. – ISBN 978-5-00261-394-6.

7. Артемьев, В. С. Формализация нелинейного многоуровневого синергетического взаимодействия макроэкономических агентов / В. С. Артемьев, А. М. Трамова, Т. Х. Созаева // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2025. – № 8(178). – С. 17-28. – DOI 10.26726/rppe2025v8fonms.

8. Битус, Е. И. Разработка предиктивных алгоритмов для адаптивного управления частотными преобразователями в линии жидких продуктов / Е. И. Битус, В. А. Каргин, В. С. Артемьев // Наука и технология XXI века. – 2025. – № 1(15). – С. 63-73.



ТАЪСИРИ ТАҒЙИРЁБИИ ИҚЛИМ БА РАВАНДҲОИ ШИОЛОҒӢ

Кодиров Анвар Саидкулович – доктори илмҳои техникӣ, директори Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии АМИТ. E-mail: as.kodirov@gmail.com.

Зубайдов Саидахмад – доктори илмҳои иқтисодӣ, мудири шуъбаи энергияи барқароршавандаи Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии АМИТ. E-mail: zubaydov57@mail.ru.

Тағйирёбии иқлим ба яке аз масъалаҳои муҳимтарини асри XXI табдил ёфта, ба тамоми ҷанбаҳои ҳаёти инсон таъсир мерасонад. Яке аз соҳаҳое, ки аз ин раванд таъсири ҷиддӣ мебинад, низоми озуқаворӣ ва муносибатҳои байни инсон, ғизо ва ҷомеа мебошад. Шиология ҳамчун илми нав, ки қонунмандии объективии равандҳои ғизоӣ ва муносибатҳои байни истеъмолкунанда, ғизо ва тартиботи иҷтимоиро меомӯзад, имконият медиҳад таъсири тағйирёбии иқлим ба тамоми низоми озуқаворӣ ҳамчун ба таҳлил карда шавад. Дар мақола масъалаҳои вобаста ба тағйирёбии иқлим, коҳиши устувории истеҳсоли маҳсулоти кишоварзӣ, тағйирёбии сифати ғизо, таҳдидҳо ба саломатии инсон ва зарурати мутобиқсозии низоми озуқаворӣ ба шароити нави экологӣ баррасӣ мегарданд. Муайян шудааст, ки тағйирёбии иқлим ба ҳамаи унсурҳои асосии шиология таъсир расонида, зарурати таҳияи стратегияҳои навро барои таъмини амнияти озуқаворӣ ва рушди устувор ба вучуд меорад.

Дар даҳсолаҳои охир тағйирёбии иқлим ба яке аз омилҳои асосии таъсиррасон ба рушди иҷтимоӣ иқтисодӣ ва экологӣ табдил ёфтааст. Баландшавии ҳарорати миёнаи ҳаво, тағйирёбии низоми боришот, зиёд гардидани ҳодисаҳои фавқулодаи табиӣ ва тағйироти дигар дар муҳити зист ба истеҳсол, тақсимот ва истеъмоли маҳсулоти озуқаворӣ таъсири амиқ мерасонанд. Азбаски ғизо асоси ҳаёт ва рушди инсоният мебошад, ҳама гуна тағйирот дар муҳити табиӣ ногузир ба муносибатҳои байни инсон ва низоми таъмини ғизо таъсир мерасонад.

Шиология ҳамчун як самти нави илмӣ масъалаҳои марбут ба ғизо ва истеъмоли онро дар сатҳи фарогир меомӯзад. Агар илмҳои анъанавӣ бештар ба истеҳсол ё таркиби маҳсулоти ғизоӣ диққат диҳанд, шиология тамоми низоми ғизоиро ҳамчун маҷмӯи ягонаи муносибатҳои байни инсон, ғизо ва ҷомеа таҳлил менамояд. Аз ин рӯ, тағйирёбии иқлим на танҳо масъалаи экологӣ, балки масъалаи мустақими шиологӣ низ мебошад.

Яке аз таъсирҳои муҳимтарини тағйирёбии иқлим ба равандҳои шиологӣ коҳиши устувории истеҳсоли маҳсулоти озуқаворӣ мебошад. Баландшавии ҳарорат

ва тағйирёбии речаи боришот ба ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ таъсири назаррас мерасонанд. Дар бисёр минтақаҳои ҷаҳон давраҳои хушксолӣ дарозтар гардида, норасоии об барои обёрии зироатҳо ба мушкили чиддӣ табдил ёфтааст. Ҳамзамон, боришоти шадид ва обхезиҳо метавонанд майдонҳои кишоварзиро хароб намуда, истеҳсоли маҳсулоти ғизоиро коҳиш диҳанд. Дар натиҷа дастрасии аҳоли ба ғизои кофӣ маҳдуд мегардад ва хавфи ноамнии озуқаворӣ зиёд мешавад.

Тағйирёбии иқлим инчунин ба сифати маҳсулоти ғизоӣ таъсир мерасонад. Тадқиқотҳои илмӣ нишон медиҳанд, ки зиёдшавии консентратсияи гази карбонат дар атмосфера метавонад таркиби биохимиявии баъзе зироатҳоро тағйир диҳад. Дар ҷунин шароит миқдори сафедаҳо, микроэлементҳо ва баъзе витаминҳо дар маҳсулоти кишоварзӣ коҳиш меёбад. Ин ҳолат метавонад ба саломатии аҳоли таъсири манфӣ расонад, махсусан дар кишварҳои, ки қисми зиёди аҳоли ғизои худро аз маҳсулоти растанӣ мегиранд.

Дар баробари ин, гармшавии иқлим барои паҳншавии ҳашароти зараррасон, бемориҳои растанӣ ва микроорганизмҳои патогенӣ шароити мусоид фароҳам меорад. Дар натиҷа истеҳсолкунандагон маҷбур мешаванд истифодаи воситаҳои муҳофизати химиявии растанӣҳоро зиёд намоянд. Ин раванд метавонад ба зиёд шудани боқимондаҳои моддаҳои химиявӣ дар маҳсулоти озуқаворӣ оварда расонад ва масъалаҳои нави бехатарии ғизоро ба миён овардад.

Саломатии инсон ҳамчун маркази асосии таваҷҷуҳи шиология низ аз тағйирёбии иқлим таъсири мустақим мебинад. Бо тағйир ёфтани муҳити зист сохтор ва одатҳои ғизоии аҳоли низ тағйир меёбад. Дар бисёр минтақаҳо дастрасӣ ба маҳсулоти тару тоза коҳиш ёфта, истеъмоли маҳсулоти коркардшуда ва нигоҳдории дарозмуддат афзоиш меёбад. Ин метавонад боиси зиёдшавии бемориҳои ғайрисироятӣ, аз ҷумла фарбеҳӣ, диабетӣ қанд ва бемориҳои дилу раг гардад. Ҳамзамон, тағйирёбии иқлим метавонад ба афзоиши ҳолатҳои захролудшавӣ аз маҳсулоти озуқаворӣ мусоидат намояд, зеро ҳарорати баланд муҳити мусоид барои рушди бактерияҳо ва занбӯруғҳои патогенӣ фароҳам меорад.

Аз нуқтаи назари шиология, масъала танҳо истеҳсоли миқдори кофӣ ғизо нест, балки таъмини ғизои солим, бехатар ва мутобиқ ба талаботи физиологии инсон мебошад. Бинобар ин, мутобиқ намудани низоми ғизо ба шароити нави иқлимӣ яке аз самтҳои муҳимтарини рушди ҷомеа махсуб меёбад.

Тағйирёбии иқлим ба муносибатҳои иҷтимоӣ ва иқтисодии вобаста ба ғизо низ таъсир мерасонад. Таърих нишон медиҳад, ки норасоии маҳсулоти озуқаворӣ ва ноустувории таъминот аксар вақт боиси танишҳои иҷтимоӣ, муҳочират ва ҳатто низоъҳои сиёсӣ гардидааст. Бо афзоиши аҳолии ҷаҳон ва маҳдуд гардидани захираҳои табиӣ масъалаи тақсими одилонаи ғизо аҳамияти бештар пайдо мекунад. Аз ин рӯ, шиология зарурати ташаккули низоми устувори идоракунии захираҳои озуқаворӣ ва таъмини дастрасии баробар ба ғизоро таъкид менамояд.

Барои Тоҷикистон масъалаи таъсири тағйирёбии иқлим ба равандҳои шиологӣ аҳамияти махсус дорад. Кишвар дорони иқтисодиёти аграрӣ буда, қисми зиёди аҳоли аз кишоварзӣ вобаста мебошад. Кохиши захираҳои пиряхӣ, тағйирёбии речаи оби дарёҳо ва зиёдшавии хавфи хушксоли метавонанд ба истеҳсоли маҳсулоти кишоварзӣ таъсири назаррас расонанд. Дар чунин шароит истифодаи технологияҳои сарфакоронаи обёрӣ, рушди кишоварзии устувор ва баланд бардоштани маърифати ғизоии аҳоли аҳамияти стратегӣ пайдо мекунад.

Ҳамин тавр, тағйирёбии иқлим ба тамоми равандҳои шиологӣ таъсири мураккаб ва бисёрҷанба мерасонад. Он на танҳо истеҳсоли ғизо, балки сифати маҳсулоти озуқаворӣ, саломатии инсон, муносибатҳои иҷтимоӣ ва устувории экосистемаҳои табииро низ фаро мегирад. Дар чунин шароит шиология метавонад ҳамчун заминаи илмӣ барои таҳияи стратегияҳои мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим, таҳкими амнияти озуқаворӣ ва ҳифзи саломатии аҳоли хизмат намояд. Татбиқи принципҳои шиологӣ имконият медиҳад, ки байни талаботи афзояндаи инсон ба ғизо ва имкониятҳои маҳдуди табиат тавозуни устувор нигоҳ дошта шуда, рушди дарозмуддати ҷомеа таъмин гардад.

Литература

1. Валиев Ш.Ф., Асламов Б.Р., Шодии Б., Исфандиёри А. Омӯзиши равандҳои геологӣ ва таҳқиқотҳои муҳандисӣ-геоэкологӣ дар сохтмон ва азнавсозии роҳи автомобилгарди Данғара-Темурмалик // Илм ва фановарӣ. - 2021. -№1. -С. 45-54.
2. Валиев Ш.Ф. Водохранилища - как агент трансформации кровли литосферы Таджикистана // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2015. -№1-5-2(188). -С. 223-230.
3. Вахшская долина // Википедия: свободная энциклопедия. -URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вахшская_долина (дата обращения: 07.03.2026).
4. Марков К.К. Геоморфология: учебное пособие // Москва: Изд-во Московского государственного университета, -1988. -376 с.
5. Мусоев А.К. География Вахшской долины и уникальность ее природы // Вестник Педагогического университета. Душанбе: 2018. №5-2(77). -С. 264-269.
6. Dushanbe Railway Station // Wikipedia: The Free Encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dushanbe_Railway_Station (date of access: 07.03.2026).

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАНЬОНОВ ВАХШСКОЙ ДОЛИНЫ

*Кодиров Анвар Саидкулович – доктор технических наук, директор
Центра инновационного развития науки и цифровых технологий
Национальной академии наук Таджикистана,
E-mail: as.kodirov@gmail.com*

*Кувватов Файзиддин Мирзомуродович – кандидат географических наук,
заведующий кафедрой экономической географии и методики преподавания
географии Государственного университета Бохтара имени Носири Хусрава.
E-mail: fajziddinkuvvatov@gmail.com*

Текст статьи посвящён анализу геоморфологических факторов формирования каньонов Вахшской долины, которая является одной из ключевых морфоструктурных территорий южного Таджикистана в пределах бассейна реки Вахш. Рельеф региона сформирован в условиях активного взаимодействия тектонических, литологических и флювиальных процессов, что обусловило развитие глубоко врезаемых каньонобразных форм.

Актуальность исследования определяется необходимостью изучения процессов формирования каньонов как индикаторов современной геодинамики и факторов природной опасности. В условиях активной неотектоники, изменяющегося климата и интенсивного хозяйственного освоения территории усиливается роль геоморфологических исследований, направленных на оценку устойчивости рельефа и прогнозирование экзогенных процессов.

Целью исследования является выявление и комплексная оценка геоморфологических факторов формирования каньонов Вахшской долины. Для достижения поставленной цели проведён анализ геолого-геоморфологических условий, изучена роль тектонических движений, литологического строения и флювиальных процессов, а также выполнена оценка современных геодинамических явлений, включая просадку грунтов и оползневые процессы.

В ходе исследования установлено, что формирование каньонов связано с совокупным воздействием эндогенных и экзогенных факторов. Тектоническая активность играет ведущую роль, создавая условия для интенсивного врезания речной сети и формирования глубоко расчленённого рельефа. Литологическая неоднородность пород определяет различную устойчивость склонов к эрозии и обрушению, что влияет на морфологию каньонов и их пространственную изменчивость.

Флювиальные процессы являются основным механизмом современного развития каньонов. Врезание русла, боковая эрозия и перенос наносов обеспечивают постоянное углубление долины и расширение каньонообразных форм. Существенную роль играет также поступление обломочного материала со склонов, связанное с обрушением и оползневыми процессами.

Особое значение в формировании рельефа имеют современные геодинамические явления. В ряде районов Вахшской долины, особенно в зонах орошаемого земледелия, наблюдаются процессы просадки грунта, связанные с разрушением ирригационных систем и изменением уровня грунтовых вод. Эти процессы усиливают нестабильность лёссовых отложений и способствуют развитию суффозионных и оползневых явлений.

Морфометрический анализ каньонов показал устойчивую связь между глубиной врезания, крутизной склонов и литологическими характеристиками пород. Наиболее интенсивные процессы эрозии фиксируются в районах распространения слабосцементированных и лёссовидных отложений, что подтверждает высокую чувствительность данных пород к воздействию поверхностных и подземных вод.

Важным фактором формирования каньонов является также изменение гидрологического режима, связанное с сезонностью стока и снегово-ледниковым питанием рек. Максимальные расходы воды в летний период усиливают эрозионную деятельность и способствуют активизации процессов углубления русла.

Отдельное значение имеют антропогенные факторы, включая развитие ирригационного земледелия, изменение естественного стока и разрушение дренажных систем. Эти процессы приводят к нарушению гидрогеологического баланса и усиливают развитие неблагоприятных геоморфологических процессов.

На примере отдельных участков Вахшской долины выявлено, что деградация ирригационной инфраструктуры сопровождается увеличением площади просадочных зон, активизацией оползней и разрушением сельскохозяйственных земель. Это подтверждает тесную взаимосвязь природных и техногенных факторов в формировании современного рельефа.

Таким образом, формирование каньонов Вахшской долины представляет собой результат сложного взаимодействия тектонических движений, литологической структуры, флювиальной эрозии и современных геодинамических процессов. На современном этапе ведущую роль начинают играть также антропогенные факторы, усиливающие природные процессы и ускоряющие развитие нестабильности склонов.

В заключение следует отметить, что каньоны Вахшской долины являются не только геоморфологическим результатом длительной эволюции рельефа, но и

индикатором современных природных и антропогенных изменений. Их изучение имеет важное значение для оценки геодинамических рисков, рационального природопользования и проектирования гидротехнических сооружений.

Результаты исследования могут быть использованы при территориальном планировании, мониторинге опасных экзогенных процессов и разработке мер по снижению риска природных катастроф. В перспективе необходимо дальнейшее углублённое изучение морфодинамики каньонов с применением дистанционного зондирования и геоинформационных технологий.

Литература:

1. Валиев Ш.Ф., Асламов Б.Р., Шодии Б., Исфандиёри А. Омӯзиши равандҳои геологӣ ва таҳқиқотҳои муҳандисӣ-геоэкологӣ дар сохтмон ва азнавсозии роҳи автомобилгарди Данғара-Темурмалик // Илм ва фановарӣ. - 2021. -№1. -С. 45-54.

2. Валиев Ш.Ф. Водохранилища - как агент трансформации кровли литосферы Таджикистана // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2015. -№1-5-2(188). -С. 223-230.

3. Вахшская долина // Википедия: свободная энциклопедия. -URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вахшская_долина (дата обращения: 07.03.2026).

4. Марков К.К. Геоморфология: учебное пособие // Москва: Изд-во Московского государственного университета, -1988. -376 с.

5. Мусоев А.К. География Вахшской долины и уникальность ее природы // Вестник Педагогического университета. Душанбе: 2018. №5-2(77). -С. 264-269.

6. Dushanbe Railway Station // Wikipedia: The Free Encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dushanbe_Railway_Station (date of access: 07.03.2026).

7. Li Z., Li T., Wang G., Kwang J.S., Nittrouer J.A., Fu X., Parker G. How canyons evolve by incision into bedrock: Rainbow Canyon, Death Valley National Park, United States // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). – 2020. – Vol. 117, No. 26. – P. 14730–14737. – Access mode: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1911040117.

8. Petersen G., Kiesel J., van Schalkwyk A.J. et al. Valuing Green Infrastructure: A Case Study of the Vakhsh River Basin, Tajikistan // Washington, DC: World Bank, 2023. – 129 p.



МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Максимов Алексей Сергеевич – к. техн. н., профессор
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) (Москва, Россия)

Email: maksimov@mgupp.ru,

Артемьев Виктор Степанович – старший преподаватель
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (Москва, Россия) Email: electricequipment@yandex.ru

Работа посвящена исследованию алгоритмов управления насосными станциями, функционирующими в условиях неравномерного изменения расхода воды. В реальных же, системах водоснабжения изменение режима потребления сопровождается колебаниями давления, кратковременными перегрузками электроприводов и ухудшением энергетических показателей насосного оборудования. Значительная часть переходных процессов возникает не вследствие аварийных воздействий, а в результате изменения нагрузки в распределительной сети. Рассмотрены подходы к регулированию производительности насосных агрегатов на основе изменения частоты вращения двигателя. Проведён анализ динамики системы при последовательном подключении и отключении потребителей, а также при быстром изменении расхода воды. Исследовано влияние параметров регулирования на длительность переходного процесса и устойчивость гидравлического режима. Адаптивное управление позволяет снизить число режимов с повышенной вибрационной и механической нагрузкой.

Изменение расхода воды в распределительной сети не приводит к одинаковой реакции всех насосных агрегатов станции. Даже при идентичной производительности насосов фактическая загрузка приводов начинает различаться вследствие неодинакового гидравлического сопротивления линий, различной протяжённости трубопроводов и инерционности движения жидкости в коллекторе. После изменения режима водопотребления часть агрегатов переходит в область повышенного тока статора, тогда как остальные насосы продолжают работать с пониженной нагрузкой. Выражено это для станций, эксплуатируемых в широком диапазоне расходов.

Для исследования неравномерности распределения нагрузки вводится вектор производительности насосной станции

$$Q(t) = \begin{bmatrix} Q_1(t) \\ Q_2(t) \\ \vdots \\ Q_n(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где каждая компонента соответствует текущей подаче отдельного насосного агрегата.

Суммарный расход станции формируется суперпозицией потоков

$$Q_{\Sigma}(t) = 1 Q(t), \quad (2)$$

где 1 - единичный вектор.

При изменении конфигурации водоразбора давление в общем коллекторе изменяется неравномерно, вследствие чего для каждого насоса возникает собственная динамика переходного процесса. В параллельной работе четырёх насосных агрегатов суммарная производительность станции определялась не только величиной общего расхода, но и характером распределения потоков между отдельными линиями. Вектор текущих нагрузок имел вид

$$L(t) = \begin{bmatrix} l_1(t) \\ l_2(t) \\ l_3(t) \\ l_4(t) \end{bmatrix},$$

где $l_i(t)$ соответствовал относительной загрузке каждого электропривода.

При неравномерном открытии потребительских линий возникало отклонение

$$\Delta l_i = l_i - \bar{l},$$

которое достигало 0.22–0.27 в наиболее нагруженных режимах. Момент один из насосов переходил в область перегрузки, тогда как остальные агрегаты сохраняли резерв производительности.

Баланс потоков станции определялся системой

$$\sum_{i=1}^n q_i = q_c + q_r,$$

где q_c - расход потребителей, q_r - внутренние рециркуляционные потери.

При росте коэффициента асимметрии

$$\mu = \frac{\max(q_i) - \min(q_i)}{\bar{q}}$$

выше 0.19 наблюдалось увеличение токов наиболее нагруженного двигателя до $1.31I_n$.

Использование алгоритма перераспределения производительности позволило уменьшить разброс нагрузок между агрегатами до 4.8%. Суммарное энергопотребление станции снизилось с 46.2 до 41.5 кВт.

Напор отдельного агрегата определяется зависимостью

$$H_i(t) = H_{i0} - \alpha_i Q_i^2(t) - \gamma_i Q_i(t) \frac{dQ_i(t)}{dt}, \quad (3)$$

где коэффициент α_i характеризует снижение напора при увеличении расхода, а параметр γ_i учитывает влияние нестационарного движения потока.

Последний член в выражении (3) становится существенным в момент быстрого изменения режима потребления воды. В период изменения расход всегда происходит быстрее перераспределения давления по трубопроводной системе, вследствие чего отдельные насосы начинают кратковременно работать в режиме перегрузки.

Состояние электропривода описывается системой

$$L_s \frac{dI_s}{dt} = U_s - R_s I_s - k_e \omega, \quad (4)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m I_s - M_h, \quad (5)$$

где I_s - ток статора, U_s - напряжение преобразователя частоты, R_s и L_s - активное сопротивление и индуктивность статорной цепи.

Гидравлический момент сопротивления зависит от режима подачи и определяется выражением

$$M_h = \rho g Q_i H_i \omega^{-1}. \quad (6)$$

При резком изменении расхода производная $\frac{dQ_i}{dt}$ возрастает значительно быстрее изменения угловой скорости двигателя, вследствие чего в системе возникает кратковременное рассогласование между электромагнитным и гидравлическим моментами. Промежуток времени формируются пиковые значения тока статора.

Для исключения перегрузочного режима управление насосной станцией осуществляется не по абсолютному значению расхода, а по критерию минимизации дисбаланса между агрегатами

$$J_b(t) = \sum_{i=1}^n (Q_i(t) - \bar{Q}(t))^2, \quad (7)$$

где

$$\bar{Q}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i(t). \quad (8)$$

Минимизация функционала (7) позволит перераспределять производительность между насосами ещё до возникновения перегрузки наиболее нагруженного агрегата. Регулирование скорости вращения каждого электропривода осуществляется независимо

$$f_i(t) = f_0 + k_1(\bar{Q} - Q_i) + k_2 \left(\frac{d\bar{Q}}{dt} - \frac{dQ_i}{dt} \right), \quad (9)$$

где $f_i(t)$ - текущая частота питания двигателя.

В отличие от схем регулирования, ориентированных только на поддержание давления в сети, выражение (9) учитывается различие динамики отдельных насосных линий. Уменьшая амплитуду токовых перегрузок при неравномерном изменении расхода воды.

Энергетическое состояние станции определяется суммарными потерями в электроприводах

$$P_{\Sigma}^{loss}(t) = \sum_{i=1}^n (R_s I_i^2 + \Delta P_{m,i}), \quad (10)$$

где $\Delta P_{m,i}$ соответствует механическим потерям конкретного агрегата.

При увеличении дисбаланса нагрузки между насосами величина P_{Σ}^{loss} возрастает нелинейно. Для станций большой производительности это приводит к заметному росту температуры обмоток двигателя даже при незначительном отклонении среднего расхода системы.

Изменение давления в коллекторе при нестационарной подаче определяется уравнением

$$C_h \frac{dp}{dt} = Q_{\Sigma}(t) - Q_c(t), \quad (11)$$

где $Q_c(t)$ соответствует расходу потребителей, а коэффициент C_h характеризует гидравлическую ёмкость системы.

При больших значениях C_h давление изменяется медленнее производительности насосов, вследствие чего система приобретает выраженный инерционный характер. В подобных условиях использование одинаковых коэффициентов регулирования для всех агрегатов приводит к запаздыванию реакции станции на изменение режима водопотребления.

В режимах неравномерного водопотребления коэффициент распределения нагрузки $\eta(t)$ изменялся от 0.08 до 0.31, что сопровождалось увеличением токов наиболее нагруженного двигателя до $1.34 I_n$. При $Q_{\Sigma} = 12.6 \text{ м}^3/\text{ч}$, и резком изменении расхода $\Delta Q = 3.4 \text{ м}^3/\text{ч}$, наблюдалось возрастание функционала $J_b(t)$ более чем в 2.7 раза. Применение, закона регулирования (9) позволяя уменьшить разброс, производительности насоса до $0.4\text{--}0.6 \text{ м}^3/\text{ч}$, а суммарные потери мощности P_{Σ}^{loss} снизились на 9.5%. При несимметричной загрузке насосных линий увеличение расхода одного агрегата до $5.2 \text{ м}^3/\text{ч}$, приводило к снижению подачи соседнего насоса до $3.1 \text{ м}^3/\text{ч}$. В моменте, наблюдалось перераспределение давления в коллекторе величиной $0.07\text{--}0.12 \text{ МПа}$. При $K_2 > 0.9$ система начинала реагировать на случайные колебания расхода, вследствие чего возрастала амплитуда изменения частоты питания двигателя. Равномерное распределение нагрузки достигалось при $\eta(t) < 0.14$, где отклонение токов статора между агрегатами не превышало 6%.

Литература:

1. Артемьев, В. С. Цифровой двойник SCADA-интегрированной станции СІР-мойки / В. С. Артемьев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – Т. 27, № 4. – С. 11-23. – DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-4-11-23.
2. Максимов, А. С. SCADA-системы : учебное пособие / А. С. Максимов, В. С. Артемьев. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2025. – 268 с. – ISBN 978-5-00261-394-6.
3. Artemyev, V. Simulation modeling and selection of optimality criterion in automated control systems / V. Artemyev, N. Mokra, N. Alieva // Machine Science. – 2025. – No. 1. – P. 28-41. – DOI 10.61413/QMMA8028.
4. Kargin, V. Physical and mathematical modeling of dynamics of high-dimensional nonlinear automatic control systems / V. Kargin, V. Artemyev, Sh. Charkasov // Machine Science. – 2025. – No. 1. – P. 42-52. – DOI 10.61413/DNZM3255.



СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО ВОДНОГО ПОТОКА

Мокрова Наталия Владиславовна – д. техн. н., профессор
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(Москва, Россия) Email: natali_ym@mail.ru

Артемьев Виктор Степанович – старший преподаватель
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (Москва,
Россия) Email: electricequipment@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы автоматизации систем регулирования расхода воды с применением центробежных насосов и регулируемого электропривода. Изменение гидравлического сопротивления трубопроводной сети приводит к отклонению параметров подачи от номинальных значений, что отрицательно влияет на устойчивость работы насосной установки и увеличивает затраты электроэнергии. Проанализирована взаимосвязь между частотой вращения рабочего колеса, расходом жидкости и напорной характеристикой насосного агрегата. Рассмотрены особенности функционирования системы при переменной нагрузке и нестационарном режиме потребления воды. Выполнена оценка влияния регулирования скорости вращения на форму переходных процессов и величину гидравлических колебаний в трубопроводе. Исследованы были и условия, где происходило снижение эффективности работы насосного оборудования вследствие отклонения рабочей точки от области максимального КПД.

В системах водоснабжения с переменным режимом потребления наибольшие отклонения параметров возникают не в стационарном режиме, а в момент перестройки гидравлического состояния трубопроводной сети. При изменении положения запорной арматуры или подключении дополнительных линий водоразбора насосный агрегат оказывается в условиях быстрого изменения противодавления. В режимах рабочая точка насоса начинает смещаться по напорной характеристике с различной скоростью, вследствие чего изменяется не только расход жидкости, но и величина механической нагрузки на валу электродвигателя.

Для анализа переходного режима движение жидкости в трубопроводе рассматривается как нестационарный поток с распределёнными параметрами. Изменение скорости жидкости определяется выражением

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + v(x, t) \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = -\frac{l}{\rho} \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} - \frac{\lambda}{2D} v^2(x, t), \quad (1)$$

где $v(x, t)$ - локальная скорость потока, $p(x, t)$ - давление в сечении трубопровода, D - внутренний диаметр трубы.

В отличие от сосредоточенных моделей выражение (1) учитывает пространственное изменение гидравлических параметров. Для протяжённых водопроводных линий, где изменение режима работы насосной станции вызывает распространение волны давления вдоль трубопровода.

После быстрого изменения положения регулирующей арматуры в трубопроводе формировалась волна давления, распространяющаяся вдоль магистрали со скоростью

$$c = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \frac{KD'}{Ee}}}$$

где K - модуль объёмной упругости жидкости, E - модуль упругости стенки трубы.

Для стального трубопровода диаметром 80 мм расчётное значение составляло $c = 970-1120$ м/с. При изменении скорости потока на $\Delta v = 0.52$ м/с амплитуда импульса давления достигала

$$\Delta p = \rho c \Delta v = 0.48-0.57 \text{ МПа.}$$

Волновой процесс сопровождался изменением локальной скорости жидкости

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x'}$$

из-за чего на удалённых участках трубопровода возникали повторные скачки давления спустя 2.4–3.1 спосле первоначального возмущения.

Максимальная плотность гидравлической энергии определялась выражением

$$E_h = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g},$$

и достигала наибольших значений в зоне изменения геометрии трубопровода. При увеличении длины линии свыше 210 м амплитуда вторичных колебаний давления возрастала почти в 1.6 раза, что приводило к росту динамической нагрузки на запорную арматуру и соединительные элементы магистрали.

Связь между расходом и средней скоростью потока определяется зависимостью

$$Q(t) = S v(t), \quad (2)$$

где S - площадь поперечного сечения трубопровода.

При быстром же закрытии, регулирующей арматуры величина $\frac{\partial p}{\partial x}$, возрастает значительно быстрее изменения расхода, вследствие чего в

трубопроводе формируется импульс давления. Для оценки амплитуды нестационарного процесса используется выражение Жуковского

$$\Delta p = \rho c \Delta v, \quad (3)$$

где c - скорость распространения волны давления.

При незначительном изменении скорости потока величина Δp может достигать значений, превышающих рабочее давление системы. Кратковременные гидродинамические перегрузки начинают определять режим работы насосного оборудования в большей степени, чем стационарная характеристика сети.

Механическая мощность на валу центробежного насоса определяется выражением

$$N_m(t) = M(t)\omega(t), \quad (4)$$

где $M(t)$ - момент сопротивления рабочего колеса.

При возникновении волнового процесса в трубопроводе изменение момента сопротивления перестаёт быть плавным. В условиях же производная

$$\frac{dM(t)}{dt} \quad (5)$$

становится определяющим параметром динамической нагрузки электропривода. Именно скорость изменения момента вызывает перегрузочные токи преобразователя частоты и колебания угловой скорости двигателя.

Для ограничения подобных режимов управление электроприводом осуществляется с учётом градиента давления в трубопроводной сети

$$u(t) = k_1 \Delta p(t) + k_2 \frac{d}{dt} \Delta p(t) + k_3 \frac{\partial p(x, t)}{\partial x}. \quad (6)$$

Последний член в выражении (6) формирует корректирующее воздействие ещё до завершения перестройки расхода жидкости. За счёт этого уменьшается вероятность возникновения гидроудара при резком изменении режима работы системы.

Динамика угловой скорости электропривода определяется системой

$$\frac{d^2 \omega(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\omega(t)}{dt} + a_2 \omega(t) = b u(t), \quad (7)$$

где коэффициенты a_1 и a_2 зависят от параметров ротора и характеристик преобразователя частоты.

При малых значениях коэффициента демпфирования система начинает реагировать на изменение давления колебательным процессом. В распределительных сетях большой протяжённости подобный режим сопровождается периодическим перераспределением расхода между участками трубопровода. Энергетическое состояние насосного агрегата оценивается через плотность мощности потока

$$E(x, t) = \frac{p(x, t)}{\rho g} + \frac{v^2(x, t)}{2g} + z(x), \quad (8)$$

где $z(x)$ - геодезическая отметка участка трубопровода.

Изменение величины $E(x, t)$ вдоль магистрали позволяет определить зоны повышенных гидравлических потерь и участки, в которых наиболее вероятно возникновение нестационарных режимов. При анализе переходных процессов нами было установлено, что максимальные отклонения давления возникают не вблизи насосного агрегата, а на удалённых участках сети, где суммарное влияние инерции потока и сопротивления трубопровода достигает наибольших значений. При изменении скорости потока от 1.2 до 2.8 м/с расчёт по выражению (3) показал возникновение импульсов давления величиной до 0.63 МПа. На участках трубопровода длиной 180–240 м., величина градиента $\frac{\partial p}{\partial x}$ возрастала в 1.8 раза по сравнению со стационарным режимом. При отсутствии коррекции по выражению (6) амплитуда колебаний угловой скорости достигала 7.4%, тогда как использование пространственного регулирования снижало её до 2.1%. Максимальное значение плотности энергии $E(x, t)$ наблюдалось в удалённых узлах распределительной сети при $t = 4.6–5.3$ после изменения режима водоразбора. При скорости распространения волны давления $c = 940–1180$ м/с изменение положения регулирующей арматуры на 18–22% вызывало локальное повышение давления более чем на 0.5 МПа. В переходном режиме максимум функции $E(x, t)$ смещался вдоль трубопровода со скоростью, близкой к скорости распространения гидродинамического возмущения. При $a_1 < 0.3$ решение уравнения (7) приобретало колебательный характер с периодом 1.6–2.4 с. Увеличение коэффициента демпфирования приводило к уменьшению амплитуды колебаний момента на валу насоса почти вдвое.

Литературы:

1. Алексеев, В. А. Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий путём снижения затрат на энергоёмкость производства / В. А. Алексеев, В. С. Артемьев, С. П. Колосов // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2017. – № 4(93). – С. 46-52.
2. Артемьев, В. С. Модели использования разностных схем в автоматизированных системах управления / В. С. Артемьев, Н. В. Мокрова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2025. – Т. 72, № 1(58). – С. 97-105. – DOI 10.22314/2658-4859-2025-72-1-97-105.
3. Артемьев, В. С. Автоматизированное построение и визуализация алгоритмов моделей надежности с использованием Google Colab и Simintech / В. С. Артемьев, А. С. Максимов // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12, № 1. – С. 59-68. – DOI 10.33693/2313-223X-2025-12-1-59-68.

4. Максимов, А. С. Построение АСУТП в среде Trace mode с использованием УСО ЭЛЕМЕР / А. С. Максимов, В. С. Артемьев // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 236-243.

5. Processing of time signals in a discrete time domain / V. Artemyev, S. Mokrushin, S. Savostin [et al.] // Machine Science. – 2023. – Vol. 12, No. 1. – P. 46-54.

6. Облачно-периферийная экосистема когнитивной автоматизации для интегрированного менеджмента СІР-процессов пивзавода / С. Максимов, В. С. Артемьев, Л. С. Мангушева, Ж. В. Мекшенева // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – Т. 27, № 5. – С. 143-158. – DOI 10.35330/1991-6639-2025-27-5-143-158.



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ И КАЧЕСТВА ВОДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВАРЗОБ

Муродов Парвиз Худойдодович – кандидат технических наук, доцент
кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов
Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.
E-mail: murodov.8686@mail.ru.

Кодиров Шарифали Саидкулович – кандидат географических наук,
заведующий отделом подготовки научных и научно-педагогических кадров
Таджикского международного университета иностранных языков имени
Сотима Улугзоды. E-mail: sharifali-89@mail.ru.

Бассейн реки Варзоб является одним из важных водных объектов Республики Таджикистан, играющим ключевую роль в водоснабжении населения, развитии сельского хозяйства и поддержании экологического баланса региона. Несмотря на значительный природный водный потенциал, в данном бассейне сохраняется комплекс проблем, связанных с качеством воды, недостаточным развитием инфраструктуры и возрастающей антропогенной нагрузкой.

Актуальность исследования заключается в том, что водные ресурсы региона испытывают воздействие природных факторов, таких как эрозия почв, селевые потоки и сезонные колебания стока, а также хозяйственной деятельности человека. Особенно остро проявляется проблема отсутствия эффективных систем очистки сточных вод и слабого контроля качества воды, что напрямую влияет на здоровье населения и экологическую безопасность территории.

Целью данного исследования является анализ экологического состояния водных ресурсов бассейна реки Варзоб и выявление основных проблем управления качеством воды. Для достижения цели были поставлены задачи по оценке состояния систем водоснабжения, анализу физико-химических показателей воды, выявлению источников загрязнения и разработке рекомендаций по улучшению экологической ситуации.

В ходе исследования использовались данные наблюдений за качеством поверхностных и подземных вод. Анализ включал основные физико-химические параметры: температуру, мутность, цветность, сухой остаток, жёсткость, содержание железа, сульфатов, хлоридов, азотсодержащих соединений и синтетических поверхностно-активных веществ. Полученные результаты сопоставлялись с действующими санитарными нормами и стандартами качества питьевой воды.

Состояние водоснабжения в населённых пунктах бассейна реки Варзоб характеризуется низким уровнем развития инфраструктуры. Централизованные системы водоснабжения имеются лишь в незначительной части населённых пунктов, а системы очистки сточных вод и обеззараживания воды практически отсутствуют. Основными источниками водоснабжения остаются реки, родники и открытые оросительные каналы. В ряде населённых пунктов наблюдается сезонный дефицит воды, особенно в летний период.

Анализ физико-химических показателей показал, что температура воды поверхностных источников изменяется в пределах от 9,5 до 22,4 °С, а подземных - от 8 до 12 °С. Содержание взвешенных веществ значительно превышает допустимые нормы и составляет 10–40 мг/л при нормативе до 2 мг/л, что связано с эрозионными процессами и поверхностным смывом. Цветность воды также в ряде случаев превышает нормативные значения.

По другим показателям, таким как сухой остаток (120–230 мг/л), сульфаты (1,8–35 мг/л), хлориды (6–16,2 мг/л) и СПАВ (до 0,16 мг/л), вода в целом соответствует требованиям. Однако содержание железа (0,05–0,41 мг/л) в отдельных пробах превышает допустимый уровень, что требует дополнительной очистки перед использованием воды для питьевых целей.

Основными источниками загрязнения водных ресурсов являются сельскохозяйственные и бытовые сточные воды, локальные промышленные выбросы, эрозионный смыв с горных склонов, а также неорганизованный выпас скота. Отсутствие систем очистки сточных вод усугубляет ситуацию и приводит к ухудшению санитарного состояния водных объектов.

Экологические риски связаны с ухудшением качества питьевой воды, ростом инфекционных заболеваний, снижением качества жизни населения и увеличением экономических затрат на водоподготовку. Особую опасность представляет отсутствие санитарно-защитных зон и систем постоянного мониторинга качества воды.

Для улучшения ситуации необходим комплекс мероприятий, включающий модернизацию систем водоснабжения, строительство очистных сооружений, внедрение систем обеззараживания воды, создание санитарно-защитных зон, регулярный мониторинг качества воды, а также повышение экологической грамотности населения и подготовку специалистов водного хозяйства.

В заключение следует отметить, что, несмотря на значительный природный водный потенциал, бассейн реки Варзоб сталкивается с серьёзными экологическими проблемами. Основными из них являются недостаточное развитие инфраструктуры водоснабжения, отсутствие систем очистки и локальные превышения по ряду химических показателей. Решение данных проблем возможно только при комплексном и системном подходе к управлению

водными ресурсами, направленном на обеспечение экологической безопасности и устойчивого развития региона.

Литература:

1. Амиров О.Х., Кобулиев З.В., Саидов Р.Х., Бадалов А.Б. Некоторые приоритетные задачи экологической оценки качества питьевой воды // Тез. докл. Респ. науч.-практ. семинара «Современное состояние водных ресурсов Таджикистана: проблемы и перспективы рационального использования». Душанбе: АН РТ, 2003. С. 73–74.

2. Гигиенические нормативы РФ ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Режим доступа: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/41/41363/index.php

3. ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов.

4. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль качества.

5. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва: ВНИРО, 1999. 304 с.

6. Правила охраны поверхностных вод (Типовые положения). 1991.

7. СанПиН 2.1.4.004-07. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Душанбе: МЗ РТ, 2007. 62 с.

8. СанПиН 2.1.4.005-07. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Душанбе: МЗ РТ, 2007. 62 с.

9. Шарипов Ш.К., Хучаев П.С., Муродов П.Х. Исследование и современный способ осветления вод реки Варзоб // Электронный журн. Бюллетень науки и практики. 2017. № 4 (17). С. 130–134. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/khujaev-sharipov> (дата обращения: 15.04.2017). doi:10.5281/zenodo.546292. Нижневартовск, Россия, 2017.



ПЛАВУЧИЕ СЭС НА ЛЕДНИКОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВАХШСКОГО КАСКАДА: ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА

Нажмудинова Ф.И., Расулов С., Рахматов Дж.Ш.

*Центр инновационного развития науки и цифровых технологий НАНТ,
г. Душанбе, e-mail: ismatullozoda.fn@gmail.com*

Ледниковые системы Таджикистана обеспечивают питание крупнейших рек Центральной Азии и служат основой гидроэнергетики страны, вырабатывающей свыше 98% электроэнергии на ГЭС. Ускоряющаяся деградация ледников в условиях глобального изменения климата создаёт угрозу нарастания сезонной неравномерности речного стока и усугубления структурного зимнего дефицита электроэнергии (4–5 млрд кВтч/год). Настоящая работа посвящена применению методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий для количественной оценки ресурсного потенциала плавучих фотовольтаических электростанций (ПФЭС) на водохранилищах Вахшского гидроэнергетического каскада как инновационного климатически устойчивого решения для диверсификации топливно-энергетического комплекса (ТЭК) республики. По итогам цифрового анализа шести водоёмов каскада суммарная площадь водного зеркала составила 295,4 км², а технически достижимая мощность ПФЭС при 20%-м коэффициенте охвата — 7 061 МВт, что сопоставимо с целевым приростом генерирующих мощностей страны. Предложена трёхэтапная концепция стратегии диверсификации ТЭК с учётом динамики деградации ледников и долгосрочных прогнозов гидрологического режима рек.

1. Введение. Таджикистан располагает крупнейшим в Центральной Азии очагом современного оледенения: ледники страны охватывают площадь свыше 8 000 км² и обеспечивают питание рек Вахш, Пяндж, Зарафшан и Кафирниган. По данным гляциологических наблюдений, ледниковый покров сократился более чем на 30% за последние 50 лет, что влечёт снижение летней водности рек и нарастающую сезонную неравномерность стока. В мировой научной литературе понятие «энергетический переход» традиционно ассоциируется с задачами декарбонизации [1, 6]. Для Таджикистана эта постановка принципиально иная: республика располагает преимущественно «зелёной» электроэнергетикой — свыше 98% вырабатываемой электроэнергии приходится на гидроэлектростанции, а ископаемое топливо задействовано лишь на ТЭЦ-1 (400 МВт) и ТЭЦ-2 (100 МВт) для нужд теплоснабжения столицы [8].

Подлинным вызовом для энергосистемы страны является структурный зимний дефицит, достигающий 4–5 млрд кВтч/год и обусловленный сезонным спадом водности вследствие ослабления ледниковой подпитки рек и опережающего роста потребления электроэнергии. Согласно прогнозам ЕАБР (Алматы, 2026), к 2035 г. Таджикистану потребуется ввод от 5 до 6 ГВт новых генерирующих мощностей [8]. В этих условиях применение методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) открывает принципиально новые возможности для мониторинга динамики ледниковых систем, оценки водных ресурсов водохранилищ и научного обоснования размещения объектов возобновляемой энергетики. Данная работа представляет оригинальную концепцию ПФЭС на ледниково-питаемых водохранилищах Вахшского каскада как климатически устойчивого инструмента диверсификации ТЭК.

2. Сравнительный анализ ресурсного потенциала возобновляемых источников энергии. Системный анализ природно-ресурсной базы позволяет выделить шесть стратегических направлений диверсификации ТЭК Таджикистана (таблица 1). Сравнение удельных затрат показывает, что стоимость наземных и плавучих солнечных электростанций за последнее десятилетие снизилась более чем втрое — 1 200–1 500 USD/кВт против прогнозной стоимости 5 500 USD/кВт для новых ГЭС к 2030 г. [2, 8], что обосновывает приоритизацию солнечного направления в краткосрочном горизонте планирования.

Таблица 1. Сравнительная характеристика ресурсного потенциала ВИЭ Таджикистана

Ресурс	Потенциал	Уд. затраты	Ключевые ограничения
Гидроэнергетика	527 млрд кВтч/год, освоено 4–5%	2 500–5 500 USD/кВт к 2030 г.	Высокий CAPEX, 10–15 лет строительства, изменение климата
Солнечная (наземная)	228–1 000 Вт/м ² , 2 160–3 166 ч/год	1 200–1 500 USD/кВт; ≈3 цент/кВтч	Только 7% территории — равнина; дефицит картографии
Плавучие СЭС (ПФЭС)	Техн. потенциал 7 061 МВт (каскад Вахш)	Сопоставимо с наземными СЭС	Требует ТЭО; сезонное колебание уровня воды
Ветровая	50–150 млрд кВтч/год	5–10 цент/кВтч	Данные измерений на высотах <50 м не верифицированы
Геотермальная (ГТН)	Значительный потенциал	LCOH ≈ 0,077 USD/кВтч	Требуется пилотная программа и ТЭО
Зелёный водород	Перспективно (Вост. Памир, оз. Каракуль)	Требует инфраструктуры	Отсутствуют мощности хранения и транспортировки

3. Цифровые методы оценки ресурсного потенциала ПФЭС на водохранилищах Вахшского каскада. Горный рельеф Таджикистана (равнинные территории составляют около 7% площади страны) является существенным ограничивающим фактором для наземной солнечной генерации. Вместе с тем именно горный рельеф формирует развитую систему высокогорных ледниково-питаемых водохранилищ с обширными акваториями, пригодными для размещения ПФЭС. Применение плавучих конструкций предоставляет комплекс взаимодополняющих преимуществ: повышение КПД панелей на 5–10% вследствие охлаждения водой; исключение изъятия земельных ресурсов; сокращение испарения с поверхности водохранилищ — особо значимое в условиях нарастающего водного стресса; синергетическое повышение эффективности ГЭС в рамках гибридных гидро-солнечных систем, обеспечивающих сглаживание сезонных колебаний выработки [12, 17].

С использованием данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения и ГИС-методов авторами проведена количественная оценка площадей водного зеркала и ресурсного потенциала ПФЭС на шести объектах Вахшского каскада (таблица 2). Аналогичный методический подход был ранее апробирован для оценки возможности создания ПФЭС на Муминабадском водохранилище Хатлонской области [18], что подтвердило применимость ДЗЗ-анализа для предварительной технической оценки подобных объектов в условиях горного рельефа. Суммарная площадь акваторий шести исследованных водоёмов составила 295,4 км², суммарная потенциальная мощность — 33 954 МВт, а технически достижимая мощность при коэффициенте охвата 20% — 7 061 МВт, что соответствует целевым параметрам прироста генерирующих мощностей страны согласно прогнозам ЕАБР [8].

Таблица 2. Ресурсы плавучих СЭС на водохранилищах Вахшского каскада ГЭС

№	Водоём / участок	Высота, м	Площадь, км ²	Потенц. мощность, МВт	Техн. мощность, МВт
1	Рогунская ГЭС (НПГ/УМО)	1 290 / 1 032	170 / 120	19 488	3 898
2	Нурекская ГЭС (НПГ/УМО)	910 / 857	98 / 70	11 368	2 274
3	Н.Б. Нурек — В.Б. Бойпазинская	630	8,3	1 350	270
4	Н.Б. Бойпазинская — В.Б. Сангтуда-1	522	9,5	1 544	309
5	Н.Б. Сангтуда-1 — В.Б. Сангтуда-2	499	6,5	1 047	209

№	Водоём / участок	Высота, м	Площадь, км ²	Потенц. мощность, МВт	Техн. мощность, МВт
6	Н.Б. Сангтуда-2 — В.Б. Головная	484	3,1	507	101
Итого	—	—	295,4	33 954	7 061

Полученные оценки носят предварительный характер и служат исходной базой для разработки технико-экономических обоснований. Окончательные параметры будут верифицированы на этапе высокоточных топогеодезических и геотехнических изысканий с применением актуальных данных ДЗЗ, цифровых моделей рельефа и методов спутникового мониторинга динамики уровня водохранилищ. При проектировании ПФЭС необходимо учитывать конструктивные особенности платформ и систем крепления, адаптированных к специфике искусственных водохранилищ Таджикистана с их значительными сезонными колебаниями уровня воды [19]. Тем не менее полученные результаты убедительно демонстрируют, что ПФЭС на водохранилищах Вахшского каскада способны обеспечить стратегически значимый прирост генерирующих мощностей республики при сохранении климатической устойчивости в условиях прогрессирующей деградации ледников.

4. Концептуальные приоритеты стратегии диверсификации ТЭК

На основе проведённого анализа сформулированы приоритеты национальной стратегии диверсификации ТЭК Таджикистана в трёх временных горизонтах. В краткосрочной перспективе (до 2030 г.) предлагаются: ускоренное развёртывание наземных СЭС на территории ГБАО, запуск пилотных проектов ПФЭС на водохранилищах Вахшского каскада, а также реализация пилотной программы геотермального теплоснабжения (ГТН) для снижения нагрузки на тепловые станции в зимний период. В среднесрочном горизонте (2030–2040 гг.) предусматриваются: масштабирование ПФЭС по результатам пилотных проектов, развитие ветровой генерации в Согдийской области и на Восточном Памире, создание исследовательского центра по производству зелёного водорода в районе оз. Каракуль с использованием избыточных мощностей ВИЭ [14, 15]. Долгосрочная перспектива (2040–2050 гг.) предполагает проработку возможностей ядерной и термоядерной энергетики с учётом наличия собственной урановой сырьевой базы [16].

5. Заключение

Диверсификация ТЭК Таджикистана представляет собой самостоятельную стратегическую задачу, принципиально отличающуюся от глобальной повестки декарбонизации. Деградация ледников, питающих реки бассейна Вахша, превращает структурный зимний дефицит электроэнергии в нарастающую

системную угрозу энергетической безопасности страны. Основные научные результаты работы состоят в следующем: во-первых, впервые систематизированы шесть видов ВИЭ Таджикистана с количественными оценками потенциала и удельных затрат — при текущей ценовой динамике наземные и плавучие СЭС являются наиболее инвестиционно привлекательными направлениями; во-вторых, методами дистанционного зондирования и ГИС рассчитан технический потенциал ПФЭС на шести водоёмах Вахшского каскада в объёме 7 061 МВт при коэффициенте охвата 20%; в-третьих, концепция гибридных гидро-солнечных систем обеспечивает климатическую устойчивость электроснабжения в условиях прогрессирующего сокращения ледникового стока; в-четвёртых, обоснована необходимость разработки Национальной концепции энергетической диверсификации Таджикистана с учётом гляциологических прогнозов. Перспективным направлением последующих исследований является разработка ТЭО ПФЭС на водохранилище Нурекской ГЭС с применением цифровых методов гидрологического моделирования и прогнозирования на основе данных ДЗЗ.

Литература:

1. Сизова А.А. Концепция энергетического перехода: история, понятия и эволюция явления // Государственное и муниципальное управление. Учёные записки. 2024. № 2. С. 154–164. DOI: 10.22394/2079-1690-2024-1-2-159-164.
2. Прогноз развития энергетики мира и России 2019. Энергопереход: риски и возможности. URL: https://www.imemo.ru/files/File/ru/seminars/2019/neftegaz/Mitrova_prezent.pdf (дата обращения: 23.03.2024).
3. Melosi M.V. Humans, Cities, and Nature: How Do Cities Fit in the Material World? // Journal of Urban History. 2010. Vol. 36(1). P. 3–21. DOI: 10.1177/0096144209349876.
4. Бобылев П.М., Семейкин А.Ю. «Зелёный» протекционизм Европы // Энергетическая политика. 2020. № 10. С. 24–33. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_10152_24.
5. Гаранина О.Л. Повестка энергетического перехода: вызовы для России // Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 4. С. 40–52. DOI: 10.24411/2072-8042-2021-4-40-52.
6. Global Carbon Project. Global Carbon Budget 2020. URL: <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/archive.htm>.
7. Абдуллаева Ф.С., Баканин Г.В., Гордон С.М. и др. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. Л.: Недра, 1965. 320 с.
8. Расулов С., Рахматов Дж.Ш., Гулджонов Д.Н. Кратчайший путь к достижению энергетической безопасности Таджикистана // Известия НАНТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. Серия: наука о Земле. 2025. № 1(15).

9. Кислов А.В., Евстигнеев В.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности в условиях потепления XXI века. М.: МАКС-Пресс, 2008. 292 с.

10. Ахмедов Х.М., Каримов Х.С., Кабутов К. Возобновляемые источники энергии в Таджикистане: состояние и перспективы развития. Доклад. Душанбе: ФТИ АН РТ, 2010. 30 с.

11. Кабутов К. Таджикистан: энергетика и возобновляемые источники энергии. URL: <http://www.rcrc.tj>.

12. Расулов С., Кулулов М., Зубайдов С., Кодиров А. Перспективы геотермальной энергетике // Вестник технологического университета Таджикистана. 2025. № 2(61).

13. Макарян И.А. Оценка экономической эффективности и масштабов получения водорода различными методами // Российский химический журнал. 2021. Т. 65(1). С. 62–76. DOI: 10.6060/rcj.2021651.7.

14. Илолов М., Кабиров Ш.О., Расулов С., Рахматов Дж., Юсуфбеков Н.Ш. О потенциальных ресурсах солнечной энергии и производства зелёного водорода в районе оз. Каракуль (Восточный Памир) // Известия НАНТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. 2023. № 3(193). С. 147–155.

15. Илолов М., Кабиров Ш.О., Расулов С., Рахматов Дж., Юсуфбеков Н.Ш. О выборе технологии производства зелёного водорода в Таджикистане // Известия НАНТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. 2023. № 3(192). С. 124–131.

16. Комлева Е. Феномен ядерной энергии и пространство символических форм // Электронный журнал «Знание. Понимание. Умение». 2008. № 1. Философия. Политология.

17. Юмаев Н.Р., Кодиров А.С., Рахматов Дж.Ш. Плавающие солнечные электростанции // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2022. Т. 2. № 1. С. 75–80.

18. Расулов С., Юсуфбеков Н.Ш., Кодиров А.С., Рахматов Д.Ш., Кулулов М.А. Оценка возможности создания плавучей солнечной электростанции на водной поверхности Муминабадского водохранилища Хатлонской области // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2023. № 3(63). С.29–33.

19. 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.



ТАҲАВВУЛОТИ ПИРЯХҲО ВА ЗАРУРАТИ МУҲОФИЗАТИ ЭКОЛОГИИ ФАЪОЛ ДАР ШАРОИТИ ГАРМИШИ ГЛОБАЛӢ

*Насруллаева Дилафруз Хикматуллоевна – н.и.х., дотсент кафедраи
технологияҳои иттилоотӣ ва иқтисодиёти рақамии Донишгоҳи технологии*

Тоҷикистон. E-mail: kafedra_skvait@mail.ru.

*Қодиров Чамолiddин Камолiddинович - магистрант, ассистенти
кафедраи Технологияҳои иттилоотӣ ва иқтисодиёти Донишқадаи давлатии
дизайн ва санъати Тоҷикистон, E-mail: jqodirov2002@mail.ru*

Рушди босуръати технологияҳои рақамӣ ва хидматҳои абри боиси афзоиши бошиддати сатҳи ҳамлаҳо барои ҳама гуна корхона гардид. Мақолаи илмӣ ба таҳлили таҳаввулоти пиряхҳо дар шароити гармшавии глобалӣ ва зарурати гузариш ба моделҳои пешгӯишаванда ва усулҳои таҳлили фаъол бахшида шудааст. Пиряхҳо ҳамчун системаҳои мураккаб ва динамикӣ баррасӣ гардида, омилҳои асосии таъсиррасон ба онҳо, аз ҷумла тағйирёбии ҳарорат, ифлосшавии атмосфера ва таъсири антропогенӣ таҳлил карда мешаванд. Дар мақола имконияти истифодаи усулҳои омӯзиши машинӣ (Machine Learning) барои ошкорсозии аномалияҳо ва пешгӯии раванди обшавии пиряхҳо пешниҳод шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки татбиқи технологияҳои интеллектуалӣ метавонад самаранокии мониторинги муҳити зистро баланд бардошта, хатарҳои экологиро коҳиш диҳад.

Ин мақола ба таҳлили таҳаввулоти муносири пиряхҳо ва асоснок кардани зарурати гузариш аз назорати анъанавии экологӣ ба усулҳои пешгӯишаванда ва муҳофизати фаъол дар шароити тағйирёбии иқлим бахшида шудааст. Дар шароити гармшавии глобалӣ ва афзоиши босуръати таъсири инсон ба муҳити зист, равишҳои анъанавии мушоҳидавӣ, ки танҳо ба сабти маълумоти статикӣ асос ёфтаанд, дар ошкорсозии тағйироти босуръати пиряхҳо самаранокии маҳдуд доранд.

Ҳадафи тадқиқот - таснифи омилҳои нави таъсиррасон ба пиряхҳо (аз ҷумла баландшавии ҳарорат, ифлосшавии атмосфера ва тағйироти гардиши об) ва пешниҳоди методологияи муҳофизати фаъол мебошад, ки моделҳои таҳлили додаҳо ва омӯзиши машиниро барои пешгӯии обшавии пиряхҳо ва тағйироти экосистема муттаҳид месозад.

Мақсадҳои асосӣ:

❖ Таҳлил ва таснифи тамоюлҳои асосии коҳиши пиряхҳо дар даҳсолаҳои охир.

❖ Баҳо додан ба самаранокии усулҳои анъанавии мониторинг дар муқобили тағйироти босуръати иқлим.

❖ Пешниҳоди истифодаи моделҳои таҳлили додаҳо ва омӯзиши мошинӣ барои пешгӯии тағйироти пиряхҳо.

Пиряхҳо ҳамчун системаи динамикӣ.

Пиряхҳои муосир дигар системаҳои устувор нестанд; онҳо як экосистемаи динамикӣ мебошанд, ки ба омилҳои гуногуни муҳити зист ҳассосанд. Монанди системаҳои мураккаб, онҳо ҳамзамон аз таъсири ҳарорат, шамол, намӣ ва радиатсияи офтобӣ вобаста мебошанд.

Таъсири омилҳои беруна.

Дар шароити гармшавии глобалӣ, пиряхҳо бо суръати баланд об мешаванд. Ифлосшавии ҳаво ва чамъшавии зарраҳои сиёҳ (black carbon) дар сатҳи пиряхҳо қобилияти инъикоси нурро кам карда, раванди обшавиро метезонанд. Ин раванд метавонад ба тағйироти ҷиддӣ дар захираҳои обӣ оварда расонад.

Моделҳои назорати анъанавӣ.

Моделҳои назорати анъанавӣ асосан ба мушоҳидаҳои сахроӣ ва аксҳои моҳвораӣ таъҷиб мекунад. Ин равиш ду камбудии асосӣ дорад:

✓ Таъхири ошкорсозӣ: тағйирот аксар вақт дер сабт мешавад, вақте ки қисми зиёди пирях аллакай об шудааст.

✓ Вобастагӣ ба таҳлилҳои инсонӣ: коркарди ҳаҷми бузурги маълумот вақт ва захираҳои зиёд талаб мекунад.

Гузариш ба модели пешгӯишаванда.

Моделҳои муҳофизати ғаёбӣ тамаркузро аз танҳо сабти тағйирот ба пешгӯии он мегузаронад. Дар ин равиш, технологияҳои таҳлили додаҳо ва омӯзиши мошинӣ истифода мешаванд.

Барои пешгӯии обшавии пиряхҳо, истифодаи моделҳои омӯзиши беназорат (Unsupervised Learning), ба монанди кластербандӣ ва моделҳои аномалияшиносӣ, самаранок мебошад.

Марҳилаҳо.

Марҳилаи омӯзиш: модел дар маълумоти таърихӣ ҳарорат, боришот ва ҳаҷми пирях омӯзонида мешавад ва ҳолати «муқаррарӣ»-ро муайян мекунад.

Марҳилаи ошкорсозӣ: ҳар гуна дуршавӣ аз ҳолати муқаррарӣ (масалан, афзоиши ғайримуқаррарии обшавӣ ё тағйири босуръати ҳаҷми пирях) ҳамчун аномалия муайян карда мешавад.

Таҳлили пешгӯишавандаи иқлим.

Барои беҳтар идора кардани захираҳои табиӣ, истифодаи моделҳои таҳлили пешгӯишаванда зарур аст. Ин системаҳо метавонанд маълумоти моҳвораӣ, иқлимӣ ва геофизикиро таҳлил намуда, хатари коҳиши босуръати пиряхҳоро пешгӯӣ кунанд.

Таҳаввулоти пиряхҳо ва афзоиши суръати обшавии онҳо нишон медиҳад, ки усулҳои анъанавии мониторинг нокифоя мебошанд. Гузариш ба модели фаъол, ки дар он таҳлили додаҳо ва омӯзиши мошинӣ нақши марказӣ мебозад, имконият медиҳад, ки тағйироти муҳими экологӣ пешакӣ ошкор карда шаванд ва зарари эҳтимоли қоҳиш ёбад.

Тадқиқотҳои минбаъда бояд ба баланд бардоштани дақиқии моделҳои пешгӯишаванда ва таҳияи системаҳои ҳамгироии байналмилалӣ мониторинги пиряхҳо равона карда шаванд.

Адабиёт:

1. Абдуллоев А. «Амнияти иттилоотӣ ва ҳифзи маълумот». – Душанбе: Ирфон, 2021. – 256 с.
2. Раҳмонзода З.Ф., Нусратзода М.Н. «Асосҳои назариявии такмилдиҳии соҳаи таҳсилоти олии касбӣ дар шароити рушди технологияҳои рақамӣ ва зеҳни сунъӣ». //Паёми ДТТ. 2024. №4 (59). С. 132-140.
3. Каримов Ш. Технологияҳои иттилоотӣ дар низоми бонкӣ. – Душанбе: Маориф, 2020. – 312 с.
4. Саидов М. Асосҳои криптография ва рамзгузори маълумот. – Душанбе: Дониш, 2019. – 280 с.
5. Концепсияи иқтисоди рақамӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон. – Душанбе, 2020.
6. Назарзода Р.С., Исмаилов Д.О. «Силсилаи технологии ҳалли компютери масъалаҳо ҳамчун афзори дастрасӣ ба натиҷаҳои ҷашмдошт». //Паёми ДТТ. 2024. № 4 (59). С. 105-116.
7. Дж. К. Гудфеллоу, Й. Бенджио, и А. Курвилль. «Глубокое обучение». MIT Press, 2016.
8. П. Дж. Шеннон. «Искусственный интеллект в производстве». Springer, 2018.
9. Р. Брэйди, Р. Чопра. «Оптимизация производства с использованием искусственного интеллекта». CRC Press, 2020.
10. Р. С. Мичалек. «Искусственный интеллект в производстве: обзор и перспективы». Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2018.



СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТДЕЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОМБИНИРОВАННЫМИ ВОЛОКНИСТО- АЛЮМОСИЛИКАТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

*Одинцов Андрей Сергеевич - аспирант, Ивановский
государственный химико-технологический университет
Владимирцева Елена Львовна – доктор технических наук, профессор,
Ивановский государственный химико-технологический университет
Кулакова Виктория Андреевна – магистрант,
Ивановский государственный химико-технологический университет*

В работе исследована эффективность комбинированных сорбентов на основе натуральных волокнистых материалов (хлопок, лён), и природных алюмосиликатов (бентонит, глины Часов-Ярская, Лежневская, Веселовская), иммобилизованных из водной дисперсии на поверхности волокон для глубокой очистки водных сред от анионоактивных синтетических красителей. Проведено сравнительное изучение сорбционной активности индивидуальных компонентов и комбинированных материалов в статическом и динамическом режимах с использованием модельных растворов активных красителей дихлортриазинового красного 5СХ и винилсульфонового синего 2КТ концентрацией 0,02 г/л при массовом соотношении сорбент:раствор 1:30. Контроль эффективности осуществляли спектрофотометрически. Установлено, что по отдельности глинистые минералы и волокнистые носители обеспечивают лишь частичное обесцвечивание из-за низкой сорбционной активности. Использование порошков алюмосиликатов в комбинации с волокнистой матрицей привело к практически полному обесцвечиванию окрашенных растворов, что соответствует степени удаления красителей свыше 95 %. Синергетический эффект обусловлен предотвращением уплотнения минеральной фазы, формированием многоуровневой пористой структуры и комплементарностью электростатических и водородных механизмов сорбции. Разработанный материал отличается технологической доступностью, низким гидравлическим сопротивлением и отсутствием химических сшивателей, что создаёт научно-технологическую основу для внедрения экологически устойчивых систем локальной очистки промышленных стоков в соответствии с принципами зелёной химии.

Исследование посвящено разработке комбинированных сорбционных материалов для очистки растворов от синтетических красителей, включающих как алюмосиликатную, так и волокнистую составляющую. Синтетические

красители, содержащиеся в сточных водах предприятий лёгкой промышленности, представляют значительную экологическую опасность. Особенно сложно удалить активные красители, широко применяемые для крашения целлюлозных волокон, поскольку они легко растворяются в воде, отличаются устойчивостью к биодegradации и образуют токсичные метаболиты при распаде в природных водоёмах [1,2]. Традиционные методы очистки (коагуляция, мембранное разделение, окислительная деструкция) часто сопряжены с высокими энергозатратами, образованием вторичных отходов или неполным удалением хромофорных групп [3].

Технологии очистки на основе природных алюмосиликатов и глинистых минералов привлекают внимание благодаря доступности и дешевизне сырья, а также высокой сорбционной активности минералов, благодаря катионообменной ёмкости и развитой удельной поверхности [4]. Однако применение мелкодисперсных глинистых порошков в проточных системах сталкивается с рядом технологических ограничений: склонностью к агрегации, уплотнению сорбционного слоя, росту гидравлического сопротивления и механическому выносу частиц. Иммобилизация алюмосиликатов на стабильной трёхмерной матрице представляет собой перспективный путь решения данных проблем. В качестве матрицы целесообразно использовать натуральные волокнистые материалы (хлопок, лён), которые обладают сродством по отношению к ряду синтетических красителей и в том числе к активным [5].

Целью исследования является разработка и экспериментальная апробация комбинированных сорбентов, объединяющих алюмосиликатную и волокнистую компоненты, для глубокой очистки водных растворов от активных красителей, а также анализ механизмов сорбционного взаимодействия и оценка перспектив масштабирования технологии.

В качестве сорбционных матриц использованы текстильные материалы из натуральных волокон (хлопок, лён) различной степени технологической подготовки. Минеральная фаза представлена природными глинами: бентонитом, а также месторождениями Часов-Ярским, Лежневским и Веселовским, характеризующимися различным минералогическим составом (преимущественно каолинит-монтмориллонитовые ассоциации). Все образцы предварительно высушены до постоянной массы и измельчены до фракции $\leq 0,315$ мм.

Модельные растворы готовили на основе дистиллированной воды с использованием технических активных красителей: дихлортриазинового красного 5СХ и винилсульфонового синего 2КТ. Рабочая концентрация красителей составляла 0,02 г/л, что соответствует типичным значениям в отработанных водах после окрашивания.

Иммобилизацию алюмосиликатов на волокне проводили при механическом перемешивании на лабораторной шейкер-установке при комнатной температуре (20 ± 2 °C). Волокнистый материал погружали в суспензию и подвергали обработке в течение заданного времени. Вибрационное воздействие обеспечивало равномерное распределение микрочастиц глины по поверхности волокон и их частичное внедрение в межволоконное пространство. После пропитки материал отделяли от избыточной жидкости и стабилизировали при естественных условиях.

Исследования проводили в статическом и динамическом режимах: 1) суспензию алюмосиликата в растворе красителя перемешивали, после чего отстаивали в течение 72 ч для достижения равновесного состояния; 2) из волокнистого материала формировали цилиндрический фильтр длиной 30 мм с объёмной плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$, через который пропускали раствор красителя. Для волокнистых систем применяли трёхступенчатую каскадную фильтрацию. Массовое соотношение сорбент:раствор составляло 1:30, что обеспечивало достаточную площадь фазового контакта при сохранении управляемости гидродинамики.

Процесс обесцвечивания растворов контролировали по оценке изменения оптической плотности при соответствующих длинах волн ($\lambda = 510 \text{ нм}$ для дихлортриазинового красного 5СХ, $\lambda = 590 \text{ нм}$ для винилсульфонового синего 2КТ) на фотометре КФК-3-«ЗОМЗ». Результаты осветления растворов приведены на рисунках 1-3.

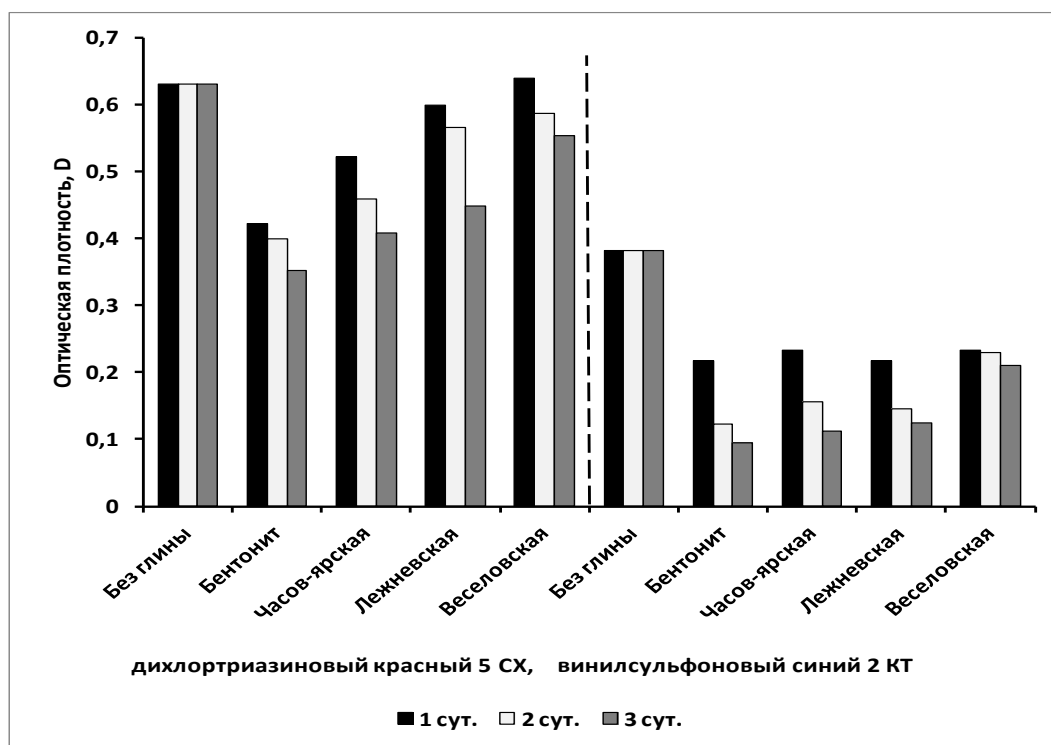


Рисунок 1. Оптическая плотность растворов красителей после отстаивания с алюмосиликатами

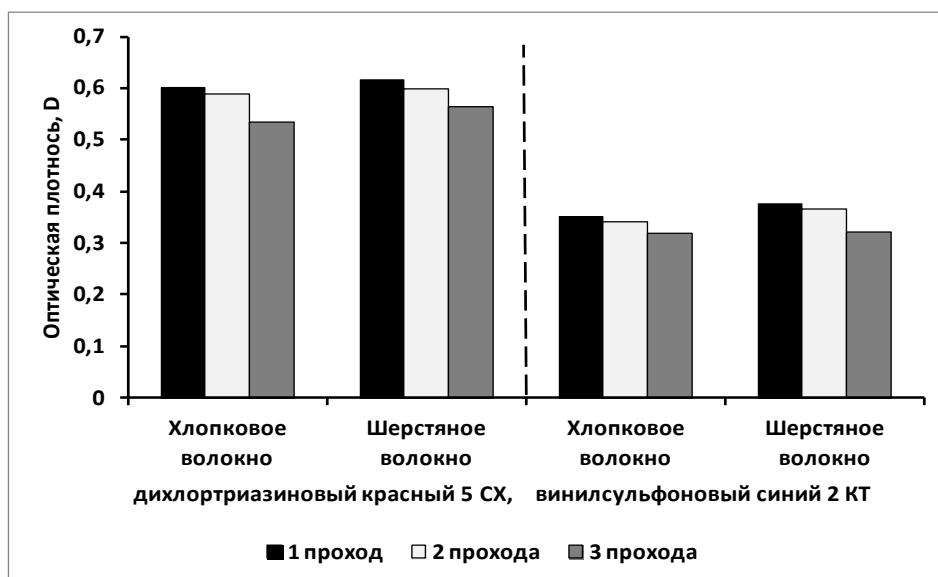


Рисунок 2. Оптическая плотность растворов красителей после трехкратной фильтрации через волокнистый фильтр

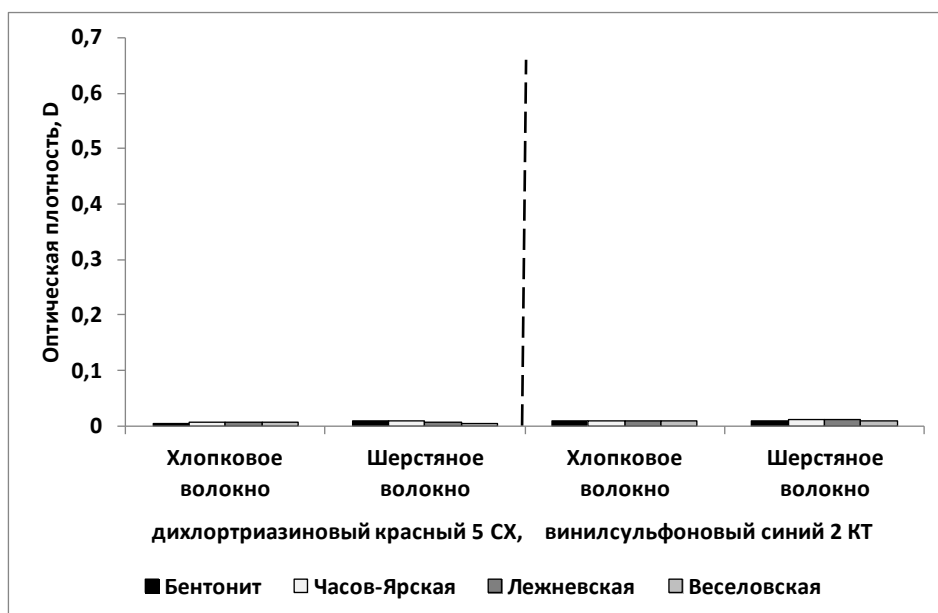


Рисунок 3. Оптическая плотность растворов красителей после трехкратной фильтрации через комбинированный фильтр

Экспериментальные данные, представленные на рисунках 1 и 2 свидетельствуют, что отдельные алюмосиликатные и волокнистые материалы не могут обеспечить полного удаления активных красителей из водной фазы. Среди минеральных сорбентов наилучшие результаты показывает бентонит, что согласуется с его высокой удельной поверхностью и развитой межпакетной структурой, способной к интеркаляции органических молекул [6]. Часов-Ярская, Лежневская и Веселовская глины уступают бентониту по эффективности, вероятно, в связи с меньшим содержанием смектитовых минералов и более высокой долей инертных кварцевых примесей.

Волокнистые материалы демонстрируют умеренную сорбционную ёмкость, ограниченную преимущественно поверхностным взаимодействием красителей с гидроксильными группами целлюлозы. Снижение оптической плотности в этих системах носит частичный характер, что подтверждается визуальной оценкой (растворы сохраняют выраженную окраску). Отмечено, только некоторое осветление жидкости.

При использовании комбинированных волокно-алюмосиликатных материалов, наблюдается выраженный синергический эффект (См.рисунок 3). Пропускание окрашенных растворов через эти фильтры приводит к снижению оптической плотности до значений, сопоставимых с фоновым уровнем дистиллированной воды, что соответствует степени обесцвечивания $>95\%$ для исследуемых красителей. Наблюдаемый эффект может быть обусловлен несколькими факторами, к которым относится, во-первых структурная стабилизация: волокнистая матрица предотвращает агломерацию и уплотнение глинистых частиц, сохраняя их дисперсность и доступность активных центров в условиях проточного режима. Во-вторых, увеличение эффективной поверхности - равномерное распределение алюмосиликата по волокнам создаёт многоуровневую пористую архитектуру, улучшающую массоперенос красителя к сорбционным центрам. И, наконец, третьим фактором может быть комплементарность механизмов связывания, а именно, отрицательно заряженные сульфогруппы активных красителей электростатически взаимодействуют с протонированными краевыми группами алюмосиликатов при рабочих значениях рН. Одновременно целлюлозная матрица участвует в образовании ковалентных и водородных связей и ван-дер-ваальсовых взаимодействий с ароматическими фрагментами хромофора [7].

Преимуществом разработанной системы является отсутствие необходимости в химическом сшивании или использовании синтетических связующих, что снижает себестоимость и повышает экологическую безопасность материала. Простота регенерации сорбента (механическая замена модулей, возможность последующей термической или химической утилизации) делает технологию адаптируемой для малых и средних предприятий текстильной отрасли. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: изучение кинетики и изотерм сорбции, оценка регенерационной стабильности композитов, разработка технологий безопасной утилизации отработанных модулей, а также проведение пилотных испытаний на реальных сточных водах. Реализация данных задач позволит интегрировать технологию в концепции циркулярной экономики и «зелёной» химии, минимизируя экологический след текстильного производства.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Ивановской области (Соглашение № 1-РНФ от 30 мая 2025 о предоставлении из бюджета Ивановской области грантов в форме субсидии в целях финансового обеспечения реализации научных проектов по приоритетным направлениям деятельности Российского научного фонда).

Литература:

1. Yagub M.T., Sen T.K., Afroze S., Ang H.M. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2014. Vol. 209. P. 172–184.
2. Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative // *Bioresource Technology*. 2001. Vol. 77. P. 247–255.
3. Crini G., Badot P.M. Application of chitosan for dyes removal from wastewater: a review // *Progress in Polymer Science*. 2008. Vol. 33. P. 399–447.
4. Bergaya F., Lagaly G. *Handbook of Clay Science*. 2nd ed. Elsevier, 2013.
5. O'Connell D.W., Birkinshaw C., O'Dwyer T.F. Heavy metal adsorbents derived from agricultural and industrial wastes // *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99. P. 6591–6603.
6. Karamanis D., Vassiliou A. Adsorption of reactive dyes on natural and modified clays // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016. Vol. 4. P. 2345–2353.
7. Weng C.H., Lin Y.T., Lin T.Y. Adsorption characteristics of methylene blue onto raw and acid-treated bentonite // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 165. P. 1109–1115.



ТОЧНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОХРАНЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Одинцова О.И. – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой химической технологии волокнистых материалов Ивановского государственного химико-технологического университета.

Яминзода З.А. – доктор технических наук, доцент, Технологический университет Таджикистана.

Анушервони Шовалихон – кандидат технических наук, доцент, декан заочно и дистанционного обучения Технологического университета Таджикистана

Проблема рационального использования и охраны водных ресурсов в современных условиях приобретает особую актуальность. Для стран Центральной Азии водный баланс во многом связан с состоянием ледников, горных рек, режимом сезонного стока и качеством водной среды. Поэтому исследования, посвященные ледникам и водным ресурсам, не могут ограничиваться только гидрологическими и климатическими аспектами. Важное место в данной проблематике занимает снижение антропогенной нагрузки, связанной с промышленным водопользованием.

Одним из водоемких направлений промышленности является текстильное и красильно-отделочное производство. Процессы подготовки, крашения, печатания и заключительной отделки тканей сопровождаются использованием воды как растворяющей, транспортирующей и промывочной среды. В результате формируются сточные воды сложного состава, содержащие остаточные количества красителей, поверхностно-активных веществ, электролитов, щелочных агентов, загустителей и других вспомогательных препаратов. По этой причине экологизация отделочного производства может рассматриваться как одно из прикладных направлений охраны водных ресурсов.

Особенность современного подхода состоит в переходе от принципа «очистить после загрязнения» к принципу «предотвратить загрязнение в самом технологическом процессе». В текстильной технологии это означает сокращение числа водоемких операций, повышение степени фиксации красителя на волокне, применение более безопасных реагентов, оптимизацию промывки и внедрение инструментального контроля технологических параметров. Такой подход связывает исследования в области текстильной химии с задачами экологической безопасности и рационального использования воды.

Целью настоящей статьи является обоснование роли точных методов контроля и цифровых технологий в снижении загрязнения сточных вод текстильного производства на основе результатов исследований по экологически ориентированной отделке природных текстильных материалов.

Материалы и методы исследования. В качестве научной основы использованы результаты исследований по экологически ориентированным технологиям подготовки, крашения и отделки природных текстильных материалов. Особое внимание уделено процессам колорирования целлюлозных тканей активными красителями, применению «зеленых» поверхностно-активных веществ, предварительной модификации поверхности волокна и цифровому контролю качества печати и окраски.

Для оценки эффективности технологических решений применялись точные физико-химические и инструментальные методы анализа: спектрофотометрический метод исследования состояния активных красителей в водных растворах, колориметрическая оценка цветовых характеристик, определение содержания красителя на ткани, оценка количества красителя, переходящего в раствор моющего средства, рН-метрический контроль, определение электропроводности технологических растворов, а также статистическая обработка экспериментальных данных.

С экологической точки зрения ключевым показателем является степень полезного использования красителя. Чем выше доля красителя, закрепленного на текстильном материале, тем меньше его количество переходит в промывные воды. Следовательно, данный показатель может использоваться как технологический и одновременно как косвенный экологический индикатор снижения цветности и химической нагрузки сточных вод.

Таблица 1. – Связь точных методов контроля с экологическим эффектом отделочного производства

Контролируемый показатель	Метод определения	Технологическое значение	Экологический эффект
Степень полезного использования красителя	Спектрофотометрия, расчет содержания красителя на ткани	Оценка эффективности фиксации активного красителя	Снижение количества красителя, переходящего в промывные воды

Цветовые координаты и интенсивность окраски	Колориметрия, цифровая обработка изображения	Контроль качества окраски и печати	Предотвращение перерасхода красителя и повторных обработок
Состояние красителя в водном растворе	УФ- и видимая спектрофотометрия	Оценка влияния ПАВ на красильную систему	Оптимизация состава ванны и снижение химической нагрузки
рН и электропроводность технологических растворов	рН-метрия, кондуктометрия	Контроль устойчивости режима обработки	Сокращение нерационального расхода реагентов и воды
Количество красителя, перешедшего в моющий раствор	Спектрофотометрический анализ промывных растворов	Оценка десорбции красителя при мокрой обработке	Прогнозирование загрязнения сточных вод

Результаты и их обсуждение. Экологическая эффективность отделочных процессов определяется не только составом применяемых реагентов, но и степенью их вовлечения в полезный технологический результат. Для процессов крашения и печатания активными красителями принципиальное значение имеет доля красителя, закрепленная на волокне. Нефиксированная часть красителя удаляется в процессе промывки, увеличивает цветность сточных вод и усложняет последующую очистку.

В результате исследований коллоидных и технологических свойств «зеленых» поверхностно-активных веществ установлено, что они могут использоваться для интенсификации процесса колорирования целлюлозных тканей активными красителями. Спектрофотометрический анализ позволил выявить закономерности влияния ПАВ на состояние красителя в водном растворе, а также обосновать составы, повышающие степень его полезного использования. Наиболее значимым практическим результатом является доведение степени полезного использования активного красителя в среднем до 99 %, что существенно снижает содержание красителей в сточных водах [1; 2].

Данный результат имеет важное значение для тематики охраны водных ресурсов. Если степень полезного использования красителя достигает 99 %, расчетная доля красителя, потенциально переходящего в промывные воды,

составляет около 1 %. Это не отменяет необходимости очистки сточных вод, однако существенно снижает исходную нагрузку на очистные сооружения и уменьшает риск вторичного загрязнения водной среды.

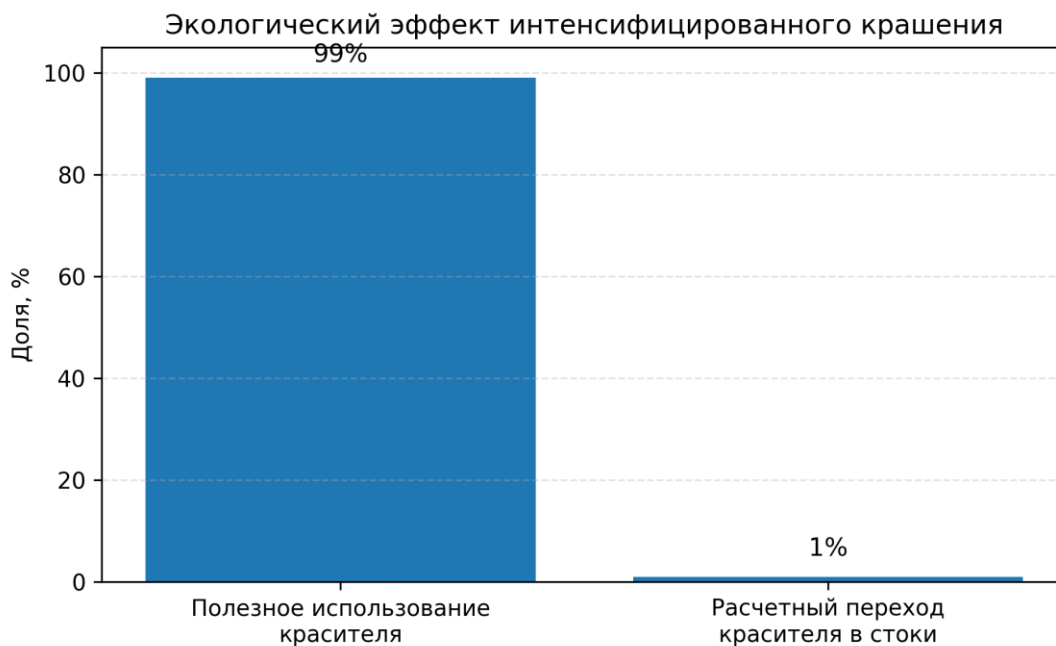


Рисунок 1. Соотношение полезного использования активного красителя и его расчетного перехода в промывные воды при интенсифицированной технологии

Примечание: показатель перехода красителя в промывные воды рассчитан как разность между 100 % и степенью полезного использования красителя. Диаграмма отражает обобщенный экологический эффект технологии интенсификации крашения активными красителями на основе «зеленых» ПАВ.

Предварительная модификация поверхности целлюлозных материалов, включая катионизацию и применение амфолитных поверхностно-активных веществ, усиливает взаимодействие волокна с активным красителем. В технологическом отношении это проявляется в росте интенсивности окраски, улучшении равномерности печати и повышении устойчивости окраски к мокрым обработкам. В экологическом отношении указанный эффект означает сокращение доли незафиксированного красителя и уменьшение загрязнения промывных вод.

Цифровая печать по текстильным материалам усиливает ресурсосберегающий характер предлагаемого подхода. Она позволяет точнее дозировать краситель, исключать ряд подготовительных операций, характерных для традиционных способов печатания, оперативно изменять параметры изображения и контролировать качество нанесения рисунка. При сочетании цифровой печати с предварительной модификацией ткани формируется управляемая технологическая система, в которой качество готового материала и экологическая безопасность рассматриваются как взаимосвязанные показатели.

Таблица 2 – Обобщенные результаты, рекомендуемые для включения в цифровую базу экологического контроля

Блок данных	Основные параметры	Источник данных	Назначение	Ожидаемый эффект
Материал	Вид ткани, волокнистый состав, поверхностная подготовка	Паспорт материала, лабораторные испытания	Выбор режима обработки	Снижение брака и повторной обработки
Красильная система	Тип красителя, концентрация, ПАВ, рН, электропроводность	Технологическая карта, приборный контроль	Оптимизация состава ванны	Снижение расхода реагентов
Цветовой результат	К/S, цветовые координаты, равномерность печати	Спектрофотометрия, цифровой анализ изображения	Контроль качества окраски	Предотвращение перерасхода красителя
Промывные воды	Остаточная цветность, количество десорбированного красителя	Анализ промывных растворов	Оценка экологической нагрузки	Снижение загрязнения стоков
Производственный режим	Температура, время, гидромодуль, число промывок	Цифровой журнал процесса	Сравнение режимов и прогноз качества	Экономия воды и энергии

Цифровой контур экологического контроля. Для повышения доказательности экологического эффекта целесообразно формировать цифровой контур контроля отделочного производства. Такой контур должен включать базу данных по материалам, реагентам, параметрам обработки, результатам спектрофотометрического и колориметрического анализа, а также показателям промывных растворов. Накопление данных позволяет не только фиксировать результаты отдельных опытов, но и выявлять устойчивые зависимости между составом технологической ванны, параметрами обработки, качеством окраски и уровнем загрязнения сточных вод.

На практике цифровой контур может использоваться для выбора оптимальных режимов, при которых достигается требуемое качество окраски при минимальном расходе воды, красителя и вспомогательных веществ. Это

особенно важно для малых и средних предприятий текстильной промышленности, где экологический эффект должен сочетаться с экономической целесообразностью и доступностью технологических решений.

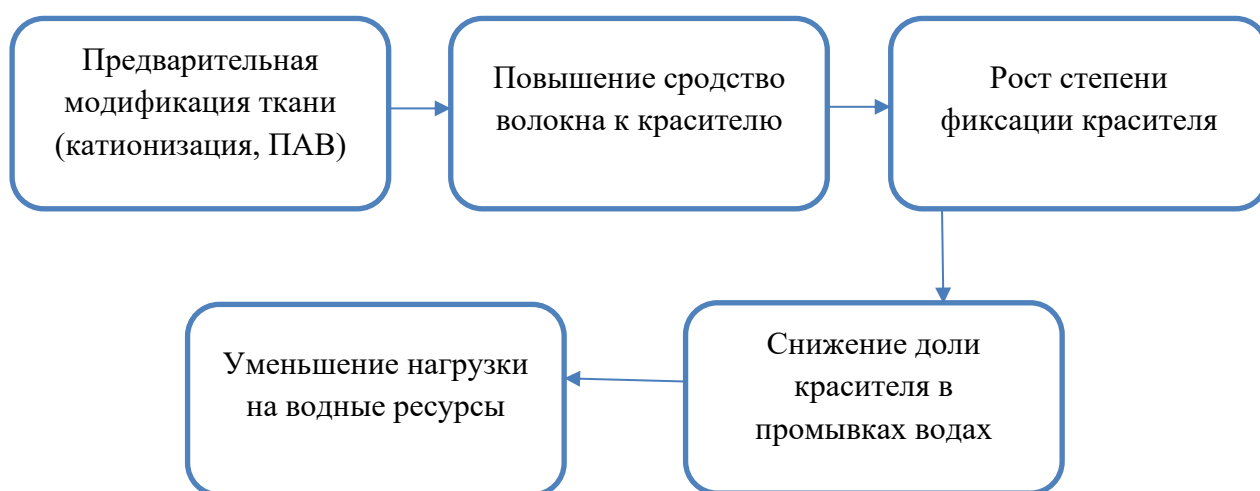


Рисунок 2. Схема влияния предварительной модификации ткани и цифрового контроля на снижение нагрузки на водные ресурсы

Экологически ориентированные технологии отделки природных текстильных материалов имеют непосредственную связь с задачами охраны водных ресурсов. Снижение загрязнения сточных вод может быть достигнуто не только путем совершенствования очистных сооружений, но и за счет предупреждения образования загрязнений на стадии технологического процесса.

Наиболее значимыми направлениями являются применение «зеленых» поверхностно-активных веществ, предварительная модификация целлюлозных тканей, повышение степени фиксации активных красителей, внедрение цифровой печати и инструментальный контроль технологических растворов. Обобщение результатов исследований показывает, что интенсификация крашения активными красителями позволяет повысить степень полезного использования красителя в среднем до 99 %, что создает технологические предпосылки для снижения содержания красителей в сточных водах.

Точные методы контроля и цифровые технологии выступают в данном случае не вспомогательным, а системообразующим инструментом экологизации производства. Они позволяют количественно оценивать качество окраски, прогнозировать экологическую нагрузку, формировать базы технологических данных и принимать решения, направленные на экономию воды, реагентов и энергии. Поэтому результаты исследований по экологически ориентированной отделке текстильных материалов могут быть обоснованно представлены в рамках конференции, посвященной роли точных исследований и цифровых технологий в изучении ледников и водных ресурсов.

Литература:

1. Яминзода З.А. Научно-практические принципы создания экологически ориентированных технологий отделки природных текстильных материалов: дис. ... докт. техн. наук: 05.19.02. – Душанбе, 2022.
2. Яминзода З.А., Одинцова О.И. Экологически направленные технологии крашения и отделки тканей из натуральных волокон: Монография. – Душанбе: изд. ООО «Хирадмандон», 2024. – 281 с. ISBN 978-99985-854-9-2
3. Анушервони Ш., Яминзода З.А., Одинцова О.И. Применение ПАВ и полиэлектролитов в отделке текстильных материалов: монография. – Душанбе: Типография ТУТ, 2023. – 200 с. – ISBN 978-99985-0-572-8.
4. Бобиев О.Г., Яминзода З.А., Анушервони Ш. Применение красителей для крашения текстиля: монография. – Душанбе: Типография ТУТ, 2021. – 197 с.
5. Олимбойзода П., Яминзода З.А., Бобиев О.Г. Крашение природных текстильных волокон натуральными растительными красителями. – Душанбе: ООО «Аршам», 2023. – 222 с. – ISBN 978-99985-0-571-1.
6. Малый патент ТЈ 1259. Моющее средство для промывки окрашенных хлопчатобумажных тканей / Яминзода З.А., Икромии М.Б., Бобиев О.Г., Олимбойзода П.А., Анушервони Ш. – Республика Таджикистан, 2022.
7. Малый патент ТЈ 1150. Способ крашения природных текстильных волокон растительными красителями / Яминзода З.А., Икромии М.Б., Бобиев О.Г., Одинцова О.И., Олимбойзода П.А. – Республика Таджикистан, 2021.
8. Юсупова Ш.А., Одинцова О.И., Яминзода З.А., Козлова О.В., Анушервони Ш. Разработка состава для предварительной катионизации целлюлозной ткани перед цифровой печатью активными красителями // Паёми Донишгоҳи технологии Тоҷикистон. – 2025. – № 3(62).
9. Юсупова Ш.А., Одинцова О.И., Яминзода З.А., Козлова О.В., Анушервони Ш. Применение амфолитных поверхностно-активных веществ для интенсификации цифровой печати активными красителями по хлопчатобумажным тканям // Паёми Донишгоҳи технологии Тоҷикистон. – 2025. – № 3(62).
10. Яминзода З., Олимбойзода П. Инновационные технологии в текстильной промышленности: современные тренды и перспективы развития // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Двадцатилетию изучения точных, естественных и математических наук в сфере образования и науки» в рамках Недели науки «Роль изобретательства и инноваций в развитии национальной экономики». – Душанбе, 2025. – С. 108–111.
11. Назарзода, Р. С. Нақши зеҳни сунъӣ дар пешрафти истеҳсолот: ҳолати кунунӣ ва дурнамои рушди саноати нассоҷӣ, сабук ва ҳӯроқа / Р. С. Назарзода // Маводи форуми байналмилалӣ дар мавзӯи «Ҳамкории илмӣ дар фазои Авруосиё: рақамикунонӣ ва модернизатсияи саноат бо истифода аз зеҳни сунъӣ»

(Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, 10 апрели соли 2025). – С. 451-456. – EDN: CSJZER.

12. Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative // *Bioresource Technology*. – 2001. – Vol. 77, No. 3. – P. 247–255. – DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00080-8.

13. Holkar C.R., Jadhav A.J., Pinjari D.V., Mahamuni N.M., Pandit A.B. A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches // *Journal of Environmental Management*. – 2016. – Vol. 182. – P. 351–366. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.090.

14. Kant R. Textile dyeing industry an environmental hazard // *Natural Science*. – 2012. – Vol. 4, No. 1. – P. 22–26. – DOI: 10.4236/ns.2012.41004.



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

*Олимджонзода Уктам Олимджон –
кандидат технических наук, доцент,
Технологический университет Таджикистана
e-Mail: uktam1978@mail.ru*

Вода является важнейшим природным ресурсом и необходимым условием жизнедеятельности человека, а также функционирования всех отраслей экономики. Несмотря на значительный потенциал водных ресурсов для удовлетворения потребностей населения и хозяйственного комплекса, в стране сохраняются проблемы водообеспечения отдельных территорий. Это обусловлено тем, что использование водных ресурсов неравномерно распределено по территориям, а механизмы управления водным хозяйством организованы недостаточно эффективно, что оказывает негативное влияние на социально-экономическое развитие страны.

Основной причиной дефицита водных ресурсов в республике является их неэффективное использование в сельском хозяйстве, прежде всего в сфере энергетики. В этих условиях переход к устойчивой модели развития напрямую связан с повышением эффективности водопользования, внедрением современных водосберегающих технологий и совершенствованием структуры орошаемого земледелия. Кроме того, важным фактором в современных условиях является интеграция водно-энергетического сектора и цифровых технологий, способствующая цифровизации процессов использования, мониторинга и управления водными и энергетическими ресурсами. Это позволяет осуществлять своевременный контроль за состоянием водных объектов, оптимизировать распределение водных ресурсов и повышать эффективность управления водохозяйственным комплексом.

Таджикистан от экологической деградации ежегодно несет потери в размере около 10% ВВП. Только от деградации сельскохозяйственных земель (снижение урожайности сельскохозяйственных культур в результате эрозии и засоления почв) страна ежегодно недополучает доходы в размере, равном 3,7% ВВП. Поэтому, налаживание и развитие эффективных экономических механизмов использования природных ресурсов позволят резко сократить подобные потери.

Рост спроса на землю, воду, леса, экосистему и другие природные ресурсы приводит к их дальнейшему истощению и деградации. Опустынивание и деградация земель, воздействие пестицидов, опасных отходов, других вредных веществ, несмотря на прогресс в реализации международных конвенций, продолжает угрожать развивающимся странам. Растущий спрос на углеводородное топливо и изменения в землепользовании привели к увеличению выбросов парниковых газов в атмосферу. Ежегодно количество глобальных выбросов увеличивается почти на 1 млрд. тонн. Повышение концентрации парниковых газов за последние 100 лет привело к увеличению средней температуры на планете на 0,6-0,9 °С. Экологическое давление усугубляется и ростом численности населения, которое может достичь к 2050 году 9 миллиардов человек.

В качестве примера в таблице 1 приведены основные показатели использования водных ресурсов Республики Таджикистан.

Таблица 1. Анализ основных показателей использования водных ресурсов Республики Таджикистан

Показатели	Годы			2025 г. по сравнению с 2000г.
	2000	2010	2025	В циф.
Водообеспеченность собственными водными ресурсами на душу населения, млн. м ³ /чел. (собственный сток (км ³ /год) / населения)	10,3	8,4	6,5	-3,8
Использования водных ресурсов страны:				
1. для гидроэнергии, %	3,9	4,5	5	1,1
2. для ирригации, км ³	12	8,5	13	1
Выбросы диоксида в эквиваленте CO ₂ , млн.т	14	8	5	-9
Снижение емкости ВВП	14,3	4	5	9,3

Исходя из анализа таблицы 1. можно разработать модель перспектив развития использования водных ресурсов, а также выполнить прогноз по каждому индикатору отдельно. Используя стандартные возможности информационных систем и программ (например, MS Excel), можно построить линии тренда для каждого индикатора и определить коэффициент достоверности аппроксимации. С применением современных методов прогнозирования для каждого индикатора таблицы 1 были определены оптимальные уравнения трендов и соответствующие значения коэффициентов достоверности аппроксимации, характеризующие их приемлемость для дальнейшего прогнозирования. Исходя из этого:

Для индикатора *водообеспеченность собственными водными ресурсами на душу населения* уравнение выглядит следующим образом:

$$y = -3,118\ln(x) + 11,991 \quad (1)$$

Значение правильности аппроксимации $R^2 = 0,98$ характеризует ее пригодность для использования.

Для индикатора *использования водных ресурсов* страны уравнение выглядит следующим образом:

$$y = 0,1x^2 - 0,42x + 4,68 \quad (2)$$

Значение точности аппроксимации $R^2 = 0,7$ характеризует ее пригодность для использования.

Для индикатора *выбросы диоксида в эквиваленте CO₂* страны уравнение выглядит следующим образом:

$$y = 32,238e^{-0,417x} \quad (3)$$

Значение точности аппроксимации $R^2 = 0,93$ характеризует ее пригодность.

На основе выявленных оптимальных уравнений и значений коэффициентов достоверности аппроксимации, характеризующих их пригодность, разработаны перспективы развития использования водных ресурсов Республики Таджикистан. Также приведены прогнозные расчеты индикаторов до 2030 года, а выполнено их сравнение (таблица 2).

Таблица 2. Перспективы развития устойчивого эффективного использования водных ресурсов Республики Таджикистан

Показатели	Годы			2025 г. по сравнению с 2000г.	Прогнозные расчеты		2030г. по сравнению с 2025г
	2000	2010	2025	В циф.	2030	Уравнения для прогноза	В циф.
Водообеспеченность собственными водными ресурсами на душу населения, млн. м ³ /чел. (собственный сток (км ³ /год) / аселения)	10,3	8,4	6,5	-3,8	5,5	$y = -3,118\ln(x) + 11,991$ $R^2 = 0,9802$	-1,7
Использования водных ресурсов страны:							
1. для гидроэнергии, %	3,9	4,5	5	1,1	8,4	$y = 0,1x^2 - 0,42x + 4,68$	3,4
2. для ирригации, км ³	12	8,5	13	1		$R^2 = 0,716$	

Окончание таблицы 2.

Выбросы диоксида в эквиваленте CO ₂ , млн.т	14	8	5	-9	4	$y = 32,238e^{-0,417x}$ $R^2 = 0,9341$	-1
Снижение электроемкости ВВП	14,3	4	5	9,3			

Анализ данных таблицы, а также предложенные прогнозные расчеты и их сравнение показывают, что до 2030 года объем использования водных ресурсов страны в гидроэнергетике увеличится на 40%. Для реализации вышеназванных направлений, необходимо скорейшее завершение и модернизации действующих ГЭС; развитие и освоение других ВИЭ в труднодоступных районах страны, а также повышение их энергоэффективности.

Таким образом, эффективное использование водных ресурсов должно основываться на основных принципах, ориентированных на этапы эколого-экономического развития и механизмы их реализации в условиях Центрально-азиатского региона и Таджикистана, к числу которых относятся:

- готовность к соответствующим реформам в управлении экономикой;
- создание благоприятных условий для широкого участия гражданского общества и совершенствование менталитета населения региона по внедрению “зеленых” элементов во всех сферах жизни;
- рациональное и разумное использование водных ресурсов, учитывая более половины запасов пресной воды в Центральной Азии, находящихся в Таджикистане;
- повышение ресурсо- и энергоэффективности (как известно огромные запасы гидроэнергетических ресурсов нашей республики);
- производство экологически чистой сельскохозяйственной продукции (учитывая благоприятные природно-климатические условия для развития экологического сельского хозяйства);
- развитие систем питьевого водоснабжения, канализации, ирригации и дренажа;
- внедрение инновационных способов полива (капельное, дождевание, почвенное и др.) базирующиеся на водо-, ресурсо- и ландшафтообразующих мелиоративных технологий и тд.

Литература:

1. Давлятова, М. М. Формирование и развитие “зеленой” экономики в условиях стран Центрально-азиатского региона : дис. ... кан. экон. наук: 08.00.05. – Душанбе, 2021.

2. Давлятова, М. М. Основные направления развития "зелёной" экономики в условиях Центрально-азиатского региона / М. М. Давлятова // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2021. – № 2(45). – С. 176-182. – EDN OOEQOF.

3. Исайнов, Х. Р. Региональные аспекты обеспечения водно-энергетической безопасности (на материалах стран Центральной Азии) / Х. Р. Исайнов, У. О. Кимсанов. – Душанбе : ООО "Эр-Граф", 2020. – 274 с. – ISBN 978-99985—5056-0. – EDN NOLHOA.

4. Кимсанов, У. О. Перспективы развития "зеленой" экономики в Центральной Азии: мировая и региональная практика / У. О. Кимсанов, М. М. Давлятова // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2019. – № 5-1. – С. 184-190. – EDN MLTCTZ.

5. Кимсанов, У. О. Некоторые актуальные вопросы использования водных ресурсов Республики Таджикистан / У. О. Кимсанов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2010. – № 2. – С. 105-112. – EDN XIDLDL.

6. Кимсанов, У. О. Формирование и развитие "зеленой" экономики в условиях стран Центрально-Азиатского региона / У. О. Кимсанов, М. М. Давлятова. – Душанбе : Графика Принт, 2022. – 180 с. – ISBN 978-99985—6444-2. – EDN ZWPHEJ.

7. Кимсанов, У. О. Водно-энергетическая безопасность в системе международных отношений / У. О. Кимсанов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2010. – № 3. – С. 107-111. – EDN XIDLPI.

8. Муҳаббатов, Х. М. Ташаккул ва рушди иқтисоди "сабз" дар кишварҳои Осиёи Марказӣ: ҷанбаҳои экологӣ-иқтисодӣ ва иҷтимоӣ / Х. М. Муҳаббатов, У. О. Кимсанов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия гуманитарных и экономических наук. – 2021. – №. 1-1(83). – Р. 217-221. – EDN LQWWFP.



ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И БУДУЩЕЕ ЛЕДНИКОВ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Рахматов Джамшиед Шавкатович - кандидат физико-математических наук, зам. директор, Центр инновационного развития науки и цифровых технологий НАНТ

В работе верифицирован ML-подход к мониторингу ледников Центральной Азии (данные RGI, ERA5, Sentinel-2). Модели U-Net, LSTM и Random Forest показали высокую точность сегментации ($IoU = 0,87$), прогноза масс-баланса ($R^2 = 0,86$) и оценки рисков GLOF ($AUC = 0,92$). К 2100 году прогнозируется убыль 28–72% ледниковых масс. Обоснована эффективность глубокого обучения и необходимость межгосударственного преодоления институциональных барьеров.

Введение. Ледники Памира и Тянь-Шаня обеспечивают 40–80% стока Амударьи и Сырдарьи в межень. По данным RGI 6.0, в ЦА насчитывается 27 988 ледников площадью 66 724 км² [7]. Hugonnet et al. (2021) зафиксировали потерю $-14,8 \pm 2,1$ Гт/год для ЦА в 2000–2019 гг.; IPCC AR6 (2023) при RCP 8.5 прогнозирует потерю до 70–80% ледниковых масс к 2100 году, угрожая водной безопасности более 50 млн жителей [3, 1, 9].

Ледниковый сток формирует критическую основу гидроэнергетического потенциала Таджикистана [27], что придаёт задаче мониторинга стратегическое значение. Поиск новых технологических решений в сфере водно-энергетической безопасности ЦА — одна из приоритетных задач регионального развития [22]. Традиционные методы наблюдения не обеспечивают необходимого охвата в высокогорье; применение методов ML к открытым геопространственным данным открывает принципиально новые возможности.

Данные и методология. Источники данных. Использованы: (1) RGI v6.0 — 27 988 ледников ЦА (регионы 13–14) как эталонные метки для U-Net [7]; (2) GLIMS — 1 240 ледниковых озёр ЦА с историческими записями о GLOF ($n = 312$ событий) [20]; (3) ERA5 — месячные аномалии T2m, осадков и радиации за 1979–2022 гг. (412 ячеек над ледниками) [14]; (4) Sentinel-2 MSI — годовые озоблаченные медианные композиты (2017–2022, 6 каналов + DEM SRTM), 24 100 тайлов 256×256 пикс.

U-Net — сегментация ледников. U-Net с кодировщиком ResNet-34 (ImageNet). Входной тензор: (batch, 7, 256, 256). Функция потерь: $L = 0,5 \cdot BCE + 0,5 \cdot Dice$ ($\lambda = 0,5$). Оптимизатор: Adam ($lr = 10^{-4}$), 500 эпох, batch = 16. Разбивка обучение/тест: 80%/20% [10, 13].

LSTM — прогноз масс-баланса. Архитектура: LSTM(128) → Dropout(0,3) → LSTM(64) → Dropout(0,2) → Dense(32, ReLU) → Dense(1). Входное окно: 24 мес. × 3 переменные ERA5 (T2m, P, Rad). Обучение: 1979–2010; тест: 2011–2022. Целевая переменная: Δмасса (м вод. экв./год, плотность льда 850 кг/м³) [11, 5].

Random Forest — оценка GLOF-рисков. 12 признаков: площадь озера, высота, уклон, расстояние до ледника, скорость роста, NDWI, тип плотины, сейсмичность и др. Параметры: n_estimators = 500, max_depth = 15, class_weight = «balanced», k-fold (k = 5) [12, 18].

Результаты



Рисунок 1. Ледники Памира

(https://unrcca.unmissions.org/sites/default/files/glacier_book_04042015_ru_big_0.pdf)

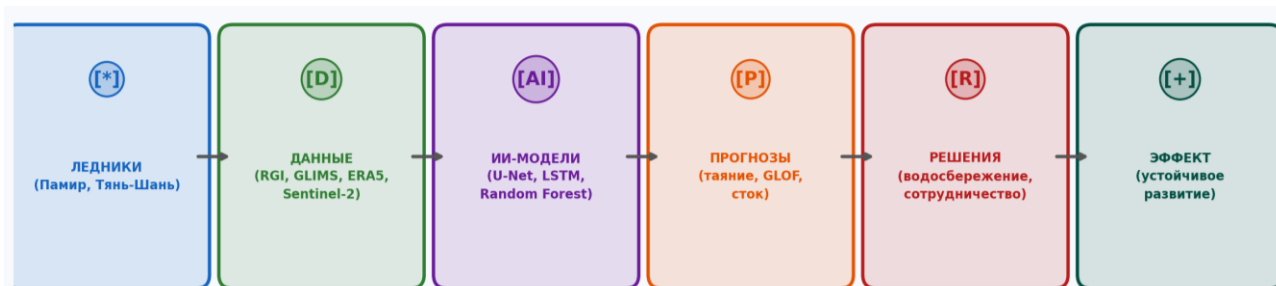


Рисунок 2. Концептуальная ML-модель: Ледники → Данные → ИИ → Прогнозы → Решения → Эффект

Таблица 1. Сценарное моделирование сокращения ледников ЦА к 2100 году

Сценарий	ΔT к 2100	Сокращение	Снижение стока	Последствия
Оптимист. (RCP 2.6)	+1,5 °C	28–32% [1,4]	10–18%	Умеренная адаптация; пик стока ~2040 г.
Умеренный (RCP 4.5)	+2,7 °C	42–48% [4,5]	22–30%	Рост GLOF-рисков; пик стока ~2040–2055
Пессимист. (RCP 8.5)	+4,5 °C	68–72% [5]	40–55%	Критичный дефицит; каскадные катастрофы

Таблица 2. Сравнение традиционных методов мониторинга и ИИ-подходов

Критерий	Традиционные методы	ИИ-подходы (наст. иссл.)	Улучшение
Точность сегментации	Визуальное дешифрование	U-Net: IoU=0,873; F1=0,912	+15–18%
Прогноз масс-баланса	Линейная экстраполяция	LSTM: $R^2=0,86$; RMSE=0,19	+22–28%
Оценка GLOF	Экспертная оценка	RF: AUC=0,921; Acc=88,7%	+31–35%
Обновление данных	Ежегодные экспедиции	Sentinel-2: 5–10 дней	В реал. времени

Модель U-Net достигла $IoU = 0,873$ и $F1 = 0,912$ ($n = 4\,820$ тайлов Sentinel-2). Включение каналов SWIR и DEM позволяет разграничивать открытый лёд и дебристые ледники [19]. LSTM обеспечивает $R^2 = 0,86$ и $RMSE = 0,19$ м вод. экв./год — существенно превосходя линейную экстраполяцию ($R^2 = 0,63$) и ARIMA ($R^2 = 0,71$). Random Forest классифицирует GLOF-риски с $AUC-ROC = 0,921$ (ср. с экспертными оценками $AUC \approx 0,72$) [18].

Потенциал ИИ как платформы регионального сотрудничества. Трансграничный характер ледниковых систем ЦА определяет особую роль ИИ-инструментов как нейтральной платформы мониторинга. Водные конфликты в регионе исторически обусловлены информационной асимметрией [16]. Единая ИИ-платформа на открытых данных снизит эту асимметрию; опыт CAWa и CAIAG подтверждает реалистичность межгосударственной интеграции [15]. Сравнительный анализ возможностей и ограничений современных ИИ-систем [26] подчёркивает необходимость баланса между техническими преимуществами автоматизации и этическими аспектами принятия решений.

Институциональные барьеры в ЦА. Реализация ИИ-мониторинга сталкивается с четырьмя системными барьерами: (1) фрагментация данных — охват метеостанциями в горных зонах составляет лишь 23% от нормативного

(ВМО, 2022); (2) дефицит компетенций — менее 5% scopus-публикаций по наукам о Земле из ЦА связаны с ИИ (авторский анализ, 2020–2024); (3) суверенные ограничения на геопространственные данные; (4) недостаток GPU-инфраструктуры. Схожие инфраструктурные барьеры характерны и для развития ВИЭ в горных районах [28]. Тем не менее, апробация геотермальных тепловых насосов в Душанбе [25] и анализ геотермальных резервуаров [24] демонстрируют практический потенциал аналитических моделей в ресурсных системах региона [27].

Ограничения исследования. 1. Датасет RGI 6.0 составлен по Landsat (~30 м); мелкие ледники (< 0,01 км²) и дебристные ледники с низким альбедо могут систематически недооцениваться [19]. 2. Модели обучены на данных Памира и Западного Тянь-Шаня; перенос на Каракорум требует fine-tuning. 3. LSTM не охватывает экстремальные события 2021–2024 гг. — прогнозы на краях распределения следует рассматривать как ориентировочные. 4. Random Forest учитывает лишь 12 статических признаков, что упрощает динамические механизмы прорыва озёр [18].

Заключение. Применение U-Net (IoU = 0,873), LSTM ($R^2 = 0,86$) и Random Forest (AUC-ROC = 0,921) на открытых данных RGI, GLIMS, ERA5 и Sentinel-2 обеспечивает точность мониторинга, превосходящую традиционные методы на 15–35%. Сценарное моделирование подтверждает угрозу потери 42–72% ледниковых масс ЦА к 2100 году при умеренных и пессимистичных сценариях [1, 4, 5].

Развитие интегрированных платформ управления водными ресурсами открывает синергию с иными направлениями устойчивой энергетики: использованием водохранилищ для плавучей фотовольтаики [21, 23] и диверсификацией энергобаланса страны [27]. Для Таджикистана предложенная методология формирует практическую основу перехода к проактивному управлению горными водными ресурсами. Перспективные направления: интеграция ICESat-2, гибридные модели PINN + LSTM, цифровые двойники ледника Федченко.

Литература:

1. IPCC. Climate Change 2023: The Physical Science Basis. — Cambridge: Cambridge University Press, 2023. — DOI: 10.1017/9781009157896.
2. Bolch T., Shea J.M., Liu S. et al. Status and Change of the Cryosphere in the Extended Hindu Kush Himalaya Region // The Hindu Kush Himalaya Assessment. — Cham: Springer, 2019. — P. 209–255. — DOI: 10.1007/978-3-319-92288-1_7.
3. Hugonnet R., McNabb R., Berthier E. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century // Nature. — 2021. — Vol. 592. — P. 726–731. — DOI: 10.1038/s41586-021-03436-z.

4. Kraaijenbrink P.D.A., Bierkens M.F.P., Lutz A.F., Immerzeel W.W. Impact of a global temperature rise of 1.5 degrees Celsius on Asia's glaciers // *Nature*. — 2017. — Vol. 549. — P. 257–260. — DOI: 10.1038/nature23878.
5. Huss M., Hock R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss // *Nature Climate Change*. — 2018. — Vol. 8. — P. 135–140. — DOI: 10.1038/s41558-017-0049-x.
6. Farinotti D., Huss M., Fürst J.J. et al. A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth // *Nature Geoscience*. — 2019. — Vol. 12. — P. 168–173. — DOI: 10.1038/s41561-019-0300-3.
7. Pfeffer W.T., Arendt A.A., Bliss A. et al. The Randolph Glacier Inventory // *Journal of Glaciology*. — 2014. — Vol. 60. — No. 221. — P. 537–552. — DOI: 10.3189/2014JoG13J176.
8. Sorg A., Bolch T., Stoffel M. et al. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tian Shan // *Nature Climate Change*. — 2012. — Vol. 2. — P. 725–731. — DOI: 10.1038/nclimate1592.
9. Immerzeel W.W., Van Beek L.P.H., Bierkens M.F.P. Climate change will affect the Asian water towers // *Science*. — 2010. — Vol. 328. — P. 1382–1385. — DOI: 10.1126/science.1183188.
10. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // *Lecture Notes in Computer Science*. — 2015. — Vol. 9351. — P. 234–241. — DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.
11. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // *Neural Computation*. — 1997. — Vol. 9. — No. 8. — P. 1735–1780. — DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
12. Breiman L. Random Forests // *Machine Learning*. — 2001. — Vol. 45. — No. 1. — P. 5–32. — DOI: 10.1023/A:1010933404324.
13. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // *Proceedings of the IEEE/CVF CVPR*. — 2016. — P. 770–778. — DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.
14. Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. The ERA5 global reanalysis // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. — 2020. — Vol. 146. — No. 730. — P. 1999–2049. — DOI: 10.1002/qj.3803.
15. Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Farinotti D. et al. Past changes in the water cycle of Central Asian headwaters // *Global and Planetary Change*. — 2013. — Vol. 110. — P. 4–25. — DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.02.004.
16. Bernauer T., Siegfried T. Climate change and future transboundary water conflicts in Central Asia // *Earth System Dynamics*. — 2012. — Vol. 3. — P. 85–96. — DOI: 10.5194/esd-3-85-2012.
17. Duethmann D., Bolch T., Farinotti D. et al. Attribution of streamflow trends in Tarim River catchments // *Water Resources Research*. — 2015. — Vol. 51. — P. 4727–4750. — DOI: 10.1002/2014WR016716.

18. Allen S.K., Sattar A., King O. et al. Glacial lake outburst flood characteristics and trends // *Earth-Science Reviews*. — 2022. — Vol. 224. — DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103893.
19. Paul F., Barrand N.E., Baumann S. et al. On the accuracy of glacier outlines from remote sensing // *Annals of Glaciology*. — 2013. — Vol. 54. — P. 171–182. — DOI: 10.3189/2013AoG63A296.
20. Kargel J.S., Leonard G.J., Bishop M.P. et al. (eds.) *Global Land Ice Measurements from Space*. — Berlin: Springer, 2014. — 876 p. — DOI: 10.1007/978-3-540-79818-7.
21. Юмаев Н.Р., Кодиров А.С., Рахматов Дж.Ш. Плавучие солнечные электростанции // *Водные ресурсы, энергетика и экология*. — 2022. — Т. 2. — № 1. — С. 75–80.
22. Каримова С.М., Илолов М.И., Рахматов Дж.Ш. Новые тренды энергетики Центральной Азии // *Материалы III Международной научно-практической конференции «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий»*. — Душанбе, 2022. — С. 428–435.
23. Расулов С., Юсуфбеков Н.Ш., Кодиров А.С., Рахматов Дж.Ш., Кулулов М.А. Оценка возможности создания плавучей солнечной электростанции на водной поверхности Муминабадского водохранилища // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. — 2023. — № 3 (63). — С. 29–33.
24. Polov M., Inagaki F., Polov A., Rahmatov J. Stochastic Fractality of the Gilondi Geothermal Reservoir // *Proceedings, 48th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*. — Stanford: SGP, 2023. — SGP-TR-224. — P. 1–13.
25. Mohammadzadeh Bina S., Fujii H., Qaisova D., Lein R., Rahmatov J., Inagaki F. Ground source heat pump systems in Central Asia: A case study from Dushanbe, Tajikistan // *Geothermics*. — 2025. — Vol. 128. — P. 103281. — DOI: 10.1016/j.geothermics.2025.103281.
26. Илолов М., Рахматов Дж.Ш., Каримова С.М., Бобозода Г.Дж. Плюсы и минусы искусственного интеллекта // *Материалы международной конференции «Роль цифровой экономики в ускоренной индустриализации страны»*. — Худжанд, 2025. — С. 9–18.
27. Расулов С., Рахматов Дж.Ш. Кратчайший путь к достижению энергетической безопасности Таджикистана // *Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*. — 2025. — № 1(5). — С. 65–71. — EDN: ПКMAR.
28. Джумаев Д.Ш., Илолов М., Расулов С., Рахматов Дж.Ш. О проблемах развития солнечной энергетики в горных регионах Таджикистана // *Доклады Национальной академии наук Таджикистана*. — 2025. — Т. 68. — № 1. — С. 58–63.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ И КРИОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Саидзода Вайсиддин Ятим – кандидат химических наук, исполняющий обязанности директора Государственного учреждения “Институт изучения ледников и криосферы Национальной академии наук Таджикистана”. E-mail: s.vaysidin@gmail.com/.

Давлятова Адолат Хуршедовна – Научный сотрудник Государственного учреждения “Институт изучения ледников и криосферы Национальной академии наук Таджикистана”. E-mail: adolatcryos@gmail.com.

Статья посвящена анализу современного состояния криосферы Центральной Азии в условиях глобального изменения климата, на примере ледниковых систем Республики Таджикистан. Рассматривается стратегическое значение высокогорного оледенения для обеспечения водной и энергетической безопасности региона. Особое внимание уделено переходу от традиционных методов гляциологического мониторинга к комплексным современным технологиям. Автор подробно анализирует эффективность применения дистанционного зондирования Земли, GNSS/GPS-измерений, георадиолокации, изотопной гидрологии, автоматических станций, GIS-технологий и алгоритмов искусственного интеллекта. В работе отражена роль Государственного учреждения «Институт изучения ледников и криосферы НАНТ» в формировании национальной системы мониторинга и создании Атласа ледников. Обоснована необходимость создания Регионального центра исследований криосферы Центральной Азии как платформы для международной научной дипломатии и разработки мер по адаптации к климатическим рискам.

Введение. Глобальное изменение климата в современных условиях является одной из наиболее актуальных научных, экологических и социально-экономических проблем. Повышение средней температуры воздуха, изменение режима атмосферных осадков, усиление экстремальных природных явлений и трансформация природных экосистем оказывают непосредственное влияние на состояние криосферы. Криосфера, включающая ледники, снежный покров, многолетнюю мерзлоту и ледниковые озёра, выступает одним из наиболее чувствительных индикаторов климатических изменений. Именно поэтому изучение ледников и криосферных процессов приобретает особое значение для стран, водные ресурсы которых в значительной степени зависят от высокогорного оледенения.

Для Центральной Азии проблема сохранения ледников имеет стратегическое значение, поскольку значительная часть речного стока формируется за счёт снегово-ледникового питания. Республика Таджикистан является одним из крупнейших центров оледенения региона, а её ледники играют важную роль в обеспечении водной безопасности, развитии гидроэнергетики, сельского хозяйства и устойчивого социально-экономического развития. Сокращение площади ледников, изменение сезонного распределения стока и увеличение количества ледниковых озёр создают новые вызовы для населения, инфраструктуры и экономики региона.

Современное состояние криосферы свидетельствует о том, что традиционные методы наблюдений уже не могут в полной мере обеспечить необходимый уровень точности, оперативности и пространственного охвата. В связи с этим особую актуальность приобретает внедрение современных технологий исследования ледников, включая дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг, GNSS/GPS-измерения, георадиолокацию, бурение ледяных кернов, изотопную гидрологию, автоматические станции наблюдений, геоинформационные системы и методы искусственного интеллекта. Комплексное применение данных технологий позволяет не только фиксировать изменения ледников, но и прогнозировать их дальнейшую динамику, оценивать климатические риски и разрабатывать меры адаптации.

Дистанционное зондирование Земли является одним из наиболее эффективных инструментов современного гляциологического мониторинга. Спутниковые данные позволяют регулярно оценивать площадь ледников, определять границы ледниковых массивов, выявлять изменения снежного покрова, отслеживать образование ледниковых озёр и анализировать скорость деградации ледников. Использование многолетних спутниковых рядов обеспечивает возможность изучения динамики ледников в исторической перспективе и формирования цифровых баз данных, необходимых для научного анализа и практического планирования.

В данном исследовании возможности дистанционного зондирования были применены для анализа динамики пульсирующих ледников в бассейне реки Ванч. Исходная информация об их расположении и морфологических типах была получена из Каталога ледников СССР, а актуальные данные собраны на основе космических снимков. Механизм и характер движения языков пульсирующих ледников изучались по разновременным снимкам Landsat 1-5 MSS, Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8-9 OLI/TIRS за период с 1993 по 2023 гг., полученным из открытого архива Геологической службы США (USGS) [1].

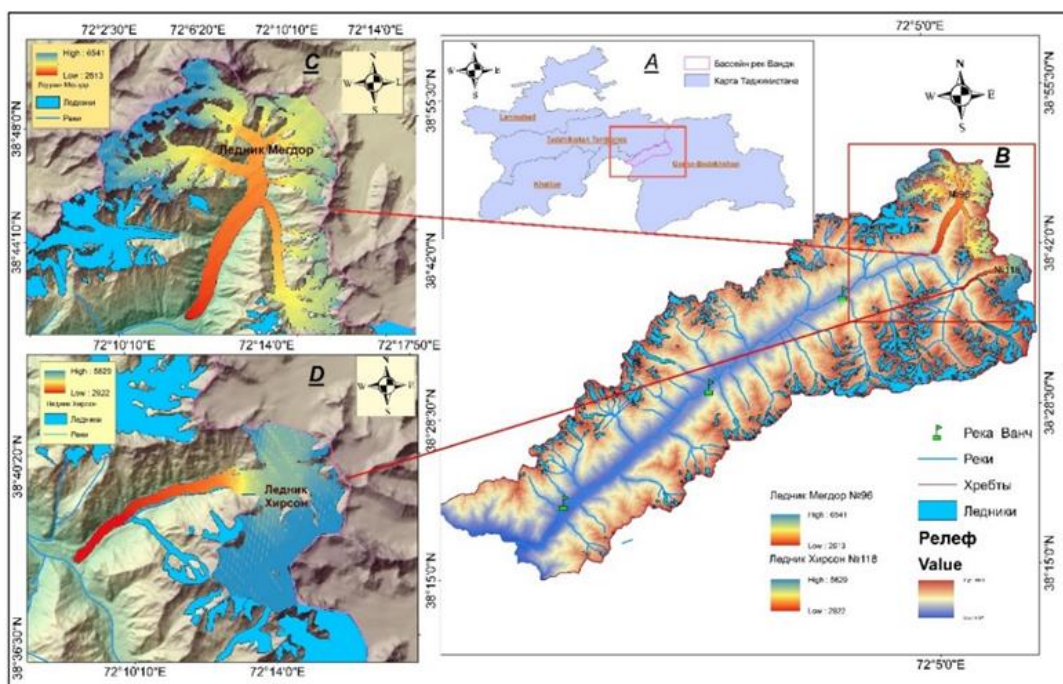


Рисунок 1. Район исследования А) карта Таджикистана, В) Бассейн реки Ванч, С) ледник Мегдор, Д) ледник Хирсон.

Обработка и дешифрирование снимков выполнялись в программном обеспечении ArcGIS 10.6, что позволило векторизовать границы ледников в периоды их активизации и составить итоговую карту пульсирующих ледников исследуемого бассейна. Кроме того, с использованием специализированной онлайн-платформы [2] были привлечены дополнительные данные об изменениях высоты поверхности, скоростях смещения льда и временных интервалах пульсаций за период с 2000 по 2019 гг. [3].

Важное значение в исследовании ледников имеют GNSS/GPS-измерения, которые позволяют получать высокоточные данные о перемещении ледниковых масс, деформациях поверхности и изменениях высотных параметров. Эти данные особенно важны для изучения скорости движения ледников и оценки их устойчивости в условиях потепления климата. В сочетании со спутниковыми снимками такие измерения формируют надёжную основу для пространственного анализа и математического моделирования ледниковых процессов.

Георадиолокационные методы позволяют исследовать внутреннее строение ледников, определять толщину льда, выявлять подледниковые каналы, зоны трещиноватости и особенности рельефа ледникового ложа. Применение георадиолокации особенно важно для оценки запасов льда и прогноза дальнейшего развития ледниковых систем. Наряду с этим бурение ледяных кернов даёт возможность изучать климатические архивы, содержащие информацию о температурных условиях, химическом составе атмосферы и происхождении атмосферной влаги в прошлом.

Особое место в современных исследованиях занимает изотопная гидрология. Анализ изотопного состава воды и льда позволяет определить источники питания ледников, пути формирования атмосферных осадков и особенности водного баланса высокогорных территорий. Эти исследования имеют большое значение для понимания взаимосвязи между климатическими изменениями, ледниковыми процессами и формированием речного стока.

Автоматические станции наблюдений обеспечивают непрерывный сбор метеорологических, гидрологических и гляциологических данных в высокогорных районах. Их использование позволяет получать оперативную информацию о температуре воздуха, влажности, скорости ветра, количестве осадков, интенсивности таяния и состоянии снежного покрова. Такие станции являются важным элементом национальной системы мониторинга ледников и могут использоваться для разработки систем раннего предупреждения о природных рисках.



а)



б)

Рисунок 2. а) Плувиометры у языка ледника Сурхоб на высоте 3377 м, б) на самом леднике на высоте 3600 м.

Важным элементом таких станций являются модернизированные автоматические pluviометры. Благодаря встроенным датчикам температуры и системам контролируемого электрообогрева, эти приборы способны бесперебойно работать в условиях экстремальных заморозков: они автоматически растапливают твердые осадки (снег, град, крупу) и мгновенно передают цифровые данные об их жидком эквиваленте в режиме реального времени.

Внедрение подобных комплексных станций является ключевым шагом в развитии национальной системы мониторинга ледников и эффективным инструментом для разработки систем раннего предупреждения о сопутствующих природных рисках (паводках, селях и лавинах).

Развитие геоинформационных систем создаёт новые возможности для систематизации, хранения, анализа и визуализации данных о ледниках. GIS-технологии позволяют объединять спутниковые снимки, полевые измерения, климатические данные и результаты моделирования в единую цифровую платформу. Это особенно важно для формирования национальной инвентаризации ледников Таджикистана, создания электронных карт, атласов и баз данных, необходимых для научных организаций, органов государственного управления и международных партнёров.

В последние годы всё большее значение приобретает применение искусственного интеллекта и методов машинного обучения в исследовании криосферы. Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют автоматизировать обработку больших массивов спутниковых данных, выявлять закономерности изменения ледников, прогнозировать динамику ледниковых озёр и оценивать вероятность возникновения опасных природных процессов. Использование таких технологий открывает новые перспективы для повышения точности климатических прогнозов и разработки адаптационных мер.

Деградация ледников оказывает прямое влияние на гидрологический режим рек. В краткосрочной перспективе усиленное таяние может приводить к увеличению объёма стока, однако в долгосрочной перспективе сокращение ледниковых запасов способно вызвать уменьшение водности рек, особенно в засушливые периоды. Это создаёт серьёзные риски для сельского хозяйства, энергетики, питьевого водоснабжения и экологической устойчивости региона. Кроме того, увеличение количества ледниковых озёр повышает вероятность их прорыва, что может привести к паводкам, селевым потокам и разрушению инфраструктуры.

Республика Таджикистан последовательно продвигает вопросы сохранения ледников и рационального использования водных ресурсов на международном уровне. Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития, 2018–2028» и Международный год сохранения ледников стали важными инициативами, направленными на привлечение внимания мирового сообщества к проблемам водной безопасности и изменения климата. Эти инициативы укрепляют научную дипломатию Таджикистана и создают условия для расширения международного сотрудничества в области изучения криосферы.

Государственное учреждение «Институт изучения ледников и криосферы Национальной академии наук Таджикистана» занимает важное место в развитии национальной системы исследований ледников. Среди ключевых направлений деятельности института следует отметить полевые наблюдения, оценку баланса массы ледников, бурение ледяных кернов, проведение изотопного анализа,

создание цифровой базы данных ледников, развитие дистанционного мониторинга и подготовку научных материалов, включая Атлас ледников Таджикистана.

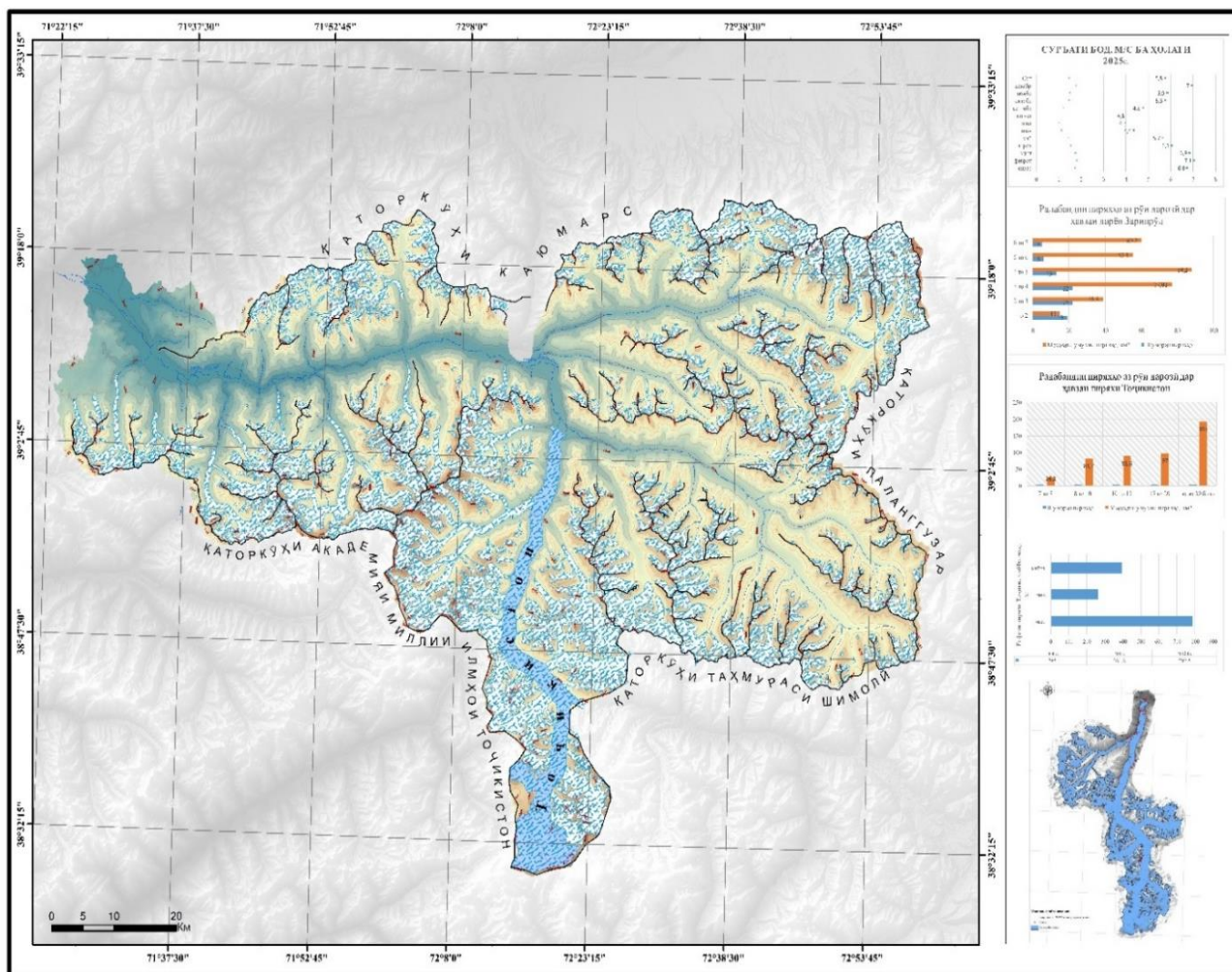


Рисунок 3. Бассейн реки Заринруд (Муксу)[4].

Перспективы дальнейшего развития исследований криосферы Таджикистана связаны с расширением сети автоматических станций наблюдений, внедрением спутниковой аналитики, применением искусственного интеллекта, развитием климатического моделирования и созданием регионального центра исследований криосферы Центральной Азии. Такой центр мог бы стать научной платформой для объединения национальных и международных исследований, подготовки молодых специалистов, обмена технологиями и участия в глобальных климатических инициативах.

Таким образом, современные технологии исследования ледников и криосферы являются необходимым условием обеспечения водной безопасности и устойчивого развития Центральной Азии. В условиях изменения климата особое значение приобретает комплексный мониторинг ледников Таджикистана, основанный на сочетании полевых наблюдений, спутниковых данных, GIS-

технологий, автоматизированных систем и искусственного интеллекта. Сохранение ледников должно рассматриваться не только как научная задача, но и как важнейшее направление государственной, региональной и международной политики, направленной на защиту водного будущего Центральной Азии.

Литература:

1. Дистанционный мониторинг пульсирующих ледников бассейна реки Ванч / М. Ш. Давлатова, Х. Д. Наврузшоев, Х. Саидзода, А. Х. Давлятова // География и водные ресурсы. – 2025. – № 4. – С. 44-56. – DOI 10.55764/2957-9856/2025-4-44-56.45. – EDN FGYNHOZ.

2. Геологической Службы СИСА в открытом доступе <https://earthexplorer.usgs.gov>.

3. Theia Cartographic Layers. <http://maps.theia-land.fr/theia-cartographic-layers.html>

4. Атлас ледников Таджикистана. Бассейн реки Заринруд.



РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ГИДРОЛОГИИ ВОДОХРАНИЛИЩ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*Саидов Н.М.- Центр инновационного развития науки и цифровых технологий, Национальная академия наук Таджикистана,
E-mail: saimn_jns@mail.ru.*

Абдумаликзода Н. - Центр инновационного развития науки и цифровых технологий, Национальная академия наук Таджикистана, E-mail:

Изменение климата анализ глобального потепление и атмосферных осадков в странах Центральной Азии а также их воздействия на состояние ледников и водохранилищ. Особое внимание уделено применению алгоритмов машинного обучения , нейронных сетей и технологий дистанционного зондирования Земли для мониторинга климатических процессов, прогнозирования водных ресурсов и оптимизации работы гидроэлектростанций.

Введение. Под изменением климата понимают направленное, прогрессивное его улучшение или ухудшение, в ходе которого происходит закономерное во времени изменение метеорологического режима. Направленное изменение метеорологических элементов возможно при изменении климатообразующих факторов. На сравнительно небольших отрезках времени нет возможности установить определенную направленность в изменении мете элементов. Понятие «изменение климата» с полным основанием можно применить только к большим промежуткам времени.

Ранее в геологические прошлые изменения климата происходили достаточно медленно, а с начала XX века скорость изменений резко возросла. Сегодняшнее изменение климата отличается тем, что темп, и продолжительность потепления за последний век превышают этот показатель за любой другой период времени за последние несколько тысяч лет.

С начала 50-х годов прошлого века в результате деятельности человека наблюдается беспрецедентные объемы выбросов парниковых газов на атмосферу. Многочисленное население, мощная промышленность, интенсивное использование энергии воздействует на местный климат и окружающую среду, сельское хозяйство и здоровье человека. Урбанизация серьезно сказывается на обеспеченности ресурсами пресной воды и их использовании. Выбросы автомобилей и промышленности, урбанизация, современная сельскохозяйственная практика и вырубка лесов привели к повышению

концентрации парниковых газов, превышающих природные пределы и усиливающих естественный парниковый эффект. Следовательно, такие изменения сказываются на глобальном климате, которое может привести к ухудшению атмосферы и экосистемы различных регионах мира.

В контексте современных климатических исследований наблюдается растущая интеграция технологий искусственного интеллекта. Применение алгоритмов машинного обучения открывает возможности для комплексного анализа обширных климатических инфораций, обнаружения неочевидных корреляций и формирования высокоточных прогнозов температурных колебаний. Особенно, нейронные сети а также их методы регрессионного анализа т.е. статистические данные применяются для полной оценки длительных трендов изменение температуры в различных регионах включая стран Центральной Азии в частности.

Таблица 1. Повышение среднегодовой температуры в странах Центральной Азии за каждые 10 лет

Страна	Рост температуры	Период, годы
Узбекистан	0,29°C	1950-2005
Казахстан	0,26°C	1936-2005
Туркменистан	0,18°C	1961-1995
Таджикистан	0,10°C	1940-2005
Кыргызстан	0,08°C	1883-2005

Следовательно применение моделей искусственного интеллекта позволяет более детально интерпретировать представленные данные. К примеру алгоритмы кластеризации могут группировать регионы по схожим климатическим характеристикам, а методы прогнозирования (например, LSTM-сети) дают возможность моделировать будущие изменение температуры с учетом сезонных и географических факторов.

Как видно данные таблицы 1 показывает, что рост температуры происходил неравномерно по всей территории Центральной Азии. Наиболее высокие темпы повышения среднегодовой температуры отмечены в равнинных районах, в горных районах темпы потепления слабее, в некоторых случаях наблюдалось даже некоторое похолодание. Например, в Кыргызстане, всю территорию которого можно отнести к горной, средние темпы потепления были минимальные, по сравнению с остальными странами Центральной Азии. В Таджикистане в высокогорном поясе (выше 2500 м) тренд температуры только в апреле, ноябре и декабре имел положительные значения. В некоторых низинах также наблюдалось понижение температуры. Например, в котловине озера

Булункуль (Таджикистан) за 1940-2005 гг. понижение средней годовой температуры составило $1,1^{\circ}\text{C}$, что может быть связано с характерными особенностями климата Восточного Памира [1].

За период 1961-1990 гг. в горах Центрального Таджикистана, в долинах Юго-Западного и Северного Таджикистана, предгорьях Туркестанского хребта и высокогорных районах Восточного Памира наблюдается уменьшение количества годовых осадков на 1-20%. В предгорных и горных районах Хатлонской области отмечается уменьшение осадков на 6-22%. В Каратегино-Дарвазе с высоты более 1500 м количество осадков увеличилось на 14-18%. На Западном Памире увеличение осадков составило 12-17%. Наибольшее увеличение осадков отмечено на леднике Федченко – 36% [2].

Поэтому, Таджикистан можно считать своеобразной моделью планеты, так как на его небольшой территории встречаются почти все климатические зоны с диапазоном температур от $+50^{\circ}\text{C}$ до -60°C . Климат Таджикистана засушливый, с обилием тепла и значительными колебаниями внутригодовых его параметров: абсолютный минимум температуры -63°C зафиксирован в Булункуле, а абсолютный максимум $+47^{\circ}\text{C}$ отмечается в Шаартусе. По словам Президента Республики Таджикистан Лидера нации Эмомали Рахмона [3], такие условия являются хорошей основой для организации регулярных наблюдений за климатом и проведения научных исследований в этой важной области. Изучение только ледника Федченко, одного из крупнейших ледников мира, позволяет определить изменение климата за последние несколько тысяч лет. Результаты этого исследования, несомненно, сыграют важную роль в развитии мировой науки о климате

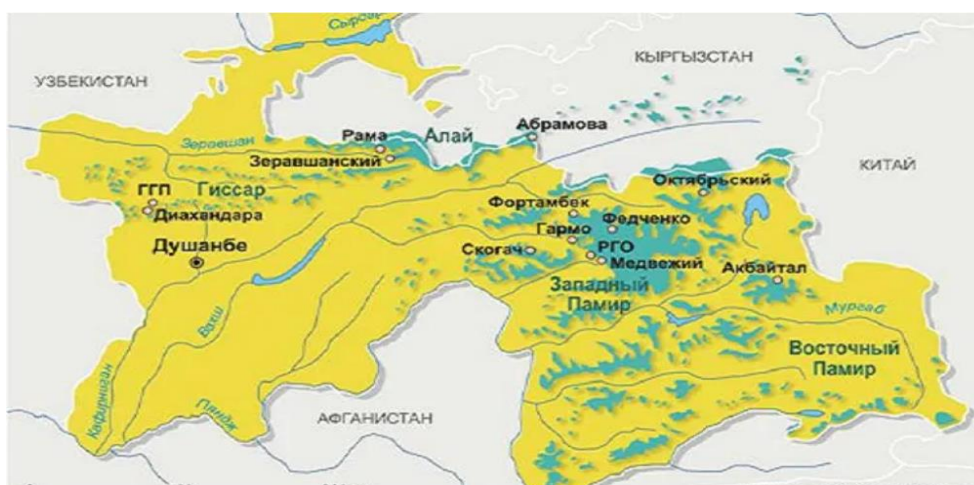


Рисунок 1. Карта расположение ледников Таджикистана

Инновационные технологии дистанционного зондирования Земли в сочетании нейронных сетей позволяют автоматизировать мониторинг состояния

ледников. Использование спутниковых снимков и алгоритмов компьютерного зрения даёт возможность отслеживать динамику изменения размера ледников а также оценить скорость их таяния и в тоже время прогнозировать возможные последствия для водных ресурсов определенных регионов.

Водные ресурсы, сформированные в Таджикистане, используются в основном странами, расположенными ниже по течению. Величина снежного покрова в Таджикистане значительно меняется из года в год и в зависимости от высоты конкретной зоны: от 100-135 дней наличия снежного покрова в высоких горах до 45 дней в Восточном Памире и 245 дней вдоль Гиссарского хребта. Высота более 4000 м является зоной постоянного снега и льда. Текущие темпы потепления в высокогорных районах Таджикистана уже вызывают значительные изменения ледников, являющихся одной из наиболее уязвимых экосистем. Например, удаленные наблюдения показали, что в течение периода 1966-2000 гг. система ледника Федченко (Северо-Западный Памир) уменьшилась на 44 кв. км., т.е. на 6% от общей площади.

По мнению экспертов, ледники Таджикистана тают стремительно. На сегодняшний день из 13000 ледников Таджикистана более 1000 полностью растаяли. За последние несколько десятилетий общий объем ледников нашей страны, составляющих более 60 процентов водных ресурсов Центрально-Азиатского региона, сократился почти на треть. По предварительным оценкам, к 2030 году прирост водопользования в Центральной Азии составит 15-20%. Если учесть дальнейшее сокращение стока рек в результате изменения климата, ситуация становится более опасной. Следует подчеркнуть, что Таджикистан как независимая страна входит в 10 международных конвенций в области окружающей среды и в качестве активного члена региональных и международных организаций достойно выполняет свою миссию по решению глобальных проблем. Проводя политику “открытых дверей”, Таджикистан призывает международное сообщество к тесному сотрудничеству ради сохранения жизни нынешнего и будущего поколений на нашей планете Земля. Подчеркивая, что глобальное изменение климата как одна из современных проблем, прежде всего, отрицательно сказывается на состоянии ледников, запасов снега и воды, Основатель мира и национального единства – Лидер нации, Президент Республики Таджикистан уважаемый Эмомали Рахмон неоднократно высказывался с трибун международных и региональных организаций. Также с целью углубленного анализа было отмечено, что дальнейшее сокращение и разрушение источников питьевой воды на планете может подвергнуть человечество многочисленным глобальным, социальным и экономическим бедствиям.

Основываясь на этом, Лидер нации, уважаемый Эмомали Рахмон неоднократно призывал мировое сообщество для разработки и скорейшей реализации совместных мер по решению экологических проблем [4].

Быстрый темп изменение климата привел к не возвратимым последствиям запасов водных ресурсов, водохранилищ и электростанций страны.

Последние годы атмосферных осадков, выпадающих на территории водохранилищ и горных местностях становится все меньше в следствии чего недостаточная количество воды не позволяет работать нескольким гидрогенераторам одновременно что приведет к дефициту электроэнергии.

С недавних пор способы искусственного интеллекта все чаще внедряются в управление гидроэнергетическими системами что в свою очередь позволяет с помощью интеллектуальных алгоритмов оптимизировать работу гидроэлектростанций, прогнозировать приток воды и минимизировать риска дефицита электроэнергии.

Таблица 2. Расход объема воды в ГЭС за 2023 год

месяц/год	Через турбины млн/м3 в месяц	Холостой сброс млн/м3 в месяц	Общее через створ ГЭС млн/м3 в месяц
янв.23	1084,76	2048,6304	913,25
фев.23	979,776	1782,3456	677,89
мар.23	1011,4	463,6224	972,69
апр.23	913,25		1383,35
май.23	652,84	25,06	1062,03
июн.23	907,02	65,66	406,6
июл.23	1383,35		404,6
авг.23	1062,03		675
сен.23	406,6		1939,25
окт.23	404,6		913,25
ноя.23	675		677,89
дек.23	1939,25		972,69

Из таблицы 2 видно, что 2023 году было мало осадков, следовательно, водохранилище ГЭС Кайракум набрал большую количество воды что говорить о полной нагрузки и выработки электроэнергии гидроэлектростанции, но в течение года свыше 6 месяцев холостого выброса не наблюдалось.

Сопоставительный анализ данных за разные годы может быть существенно улучшен за счет внедрение методов искусственного интеллекта. Использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений в свою очередь позволяет не только анализировать текущие показатели, также формировать сценарии развития гидрологической ситуации, что в частости важно в условиях изменение климата.

Таблица 3. Расход объема воды в ГЭС за 2022 год

месяц/год	через турбины млн/м3 в месяц	холостой сброс млн/м3 в месяц	Общее через створ ГЭС млн/м3 в месяц
янв.22	1454,63	656,64	2111,27
фев.22	1273,19	760,32	2033,51
мар.22	1348,79	752,98	2101,77
апр.22	760,49	47,52	808,01
май.22	713,84	465,87	1179,71
июн.22	837,302	488,76	1326,062
июл.22	942,19	581,99	1524,18
авг.22	927,68	468,29	1395,97
сен.22	546,31	20,74	567,05
окт.22	32,3	485,7	518,1
ноя.22	725,1	681,5	1406,6
дек.22	1084,75	2246,8	3331,55

Заключение. Результаты измерения уровня воды а также количество сброса из створов Кайракумского ГЭСа подтверждает, что количество воды при платине электростанции относительно меньше чем по сравнению 2022 года. Также были учтены ремонт и реконструкции гидроагрегатов для сравнение и анализ данных.

Таким образом, интеграция методов искусственного интеллекта в исследования изменения климата и управление водными ресурсами открывает новые возможности для повышения точности прогнозов и эффективности использования гидроэнергетического потенциала. Для Таджикистана, обладающего значительными водными ресурсами, внедрение таких технологий является перспективным направлением устойчивого развития в условиях глобальных климатических изменений.

Литература:

1.Ибатуллин С.Р. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии. Отраслевой обзор / С.Р. Ибатуллин, В.А. Ясинский, А.П. Мироненков // Евразийский банк развития. - Алматы, 2009. - 44 с.

2.Курбонов Н.Б. К вопросу изменения климата Таджикистана в условиях глобального потепления. / Н.Б. Курбонов // Вестник педагогического университета (Естественные науки), 2022. - Т.134. - №3/15. - С.22- 30.

3.Эмомали Рахмон. Выступление на 15-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 16.12.2009, Дания / Эмомали Рахмон // URL: <http://president.tj/node/2418> (на тадж. языке).

ҲИФЗИ ПИРЯХҲО ДАР ЗАМОНИ МУОСИР ВА МОҲИЯТИ ОН

Саидов Хусен Аламуродович - доктор (PhD), ассистенти
кафедраи химияи Донишгоҳи технологии Тоҷикистон
E-mail: Khuseyn9696@mail.ru .

Меҳрнигори Булбулназар - доктори (Phd), мудир
кафедраи химияи Донишгоҳи технологии Тоҷикистон
E-mail: mehrnigor.63@mail.ru

Самадова Мавзуна Шамсиддиновна - лаборанти
кафедраи химияи Донишгоҳи технологии Тоҷикистон
E-mail: mavzuna 9999@mail.ru.

Шарифзода Мавзуна Баҳриддин – н.и.х., дотсенти
кафедраи химияи Донишгоҳи технологии Тоҷикистон
E-mail: mavzuna-83@mail.ru.

Воқеъан пиряхҳо яке аз манбаъҳои асосии обӣ дар тамоми кишварҳо ба шумор меравад. Барои бо об таъмин будани аҳолии тамоми кишварҳо, пирях неъматҳои асосӣ ҳисобида мешавад, чунки бе об ҳеч як нафаре наметавонад зиндагонӣ намуда, умр ба сар барад. Бояд гуфт, ки пирях аксар вақт ҳамчун синоними пиряхшавӣ истифода мешавад. Барои дар сатҳи байналмилалӣ ошно сохтани ин гуна мафҳумҳо саҳми бевоситаи Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон басо рангин аст.

Бояд ёдовар шуд, ки ҳанӯз моҳи март соли 2021 зимни нахустин ҷаласаи пешвоёни Эътилофи обу иқлим Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон қайд карда буданд, ки обшавии босуръати пиряхҳо дар баробари зиёдшавии истеъмоли об, ки аз афзоиши аҳоли ва рушди иқтисодӣ вобастагӣ дорад, метавонад ба оқибатҳои манфӣ оварда расонад [1]. Бо назардошти ин, Президенти кишвар пешниҳод намуданд, ки чиҳати тамаркуз кардан ба масъалаи мазкур дар сатҳи байналмилалӣ, соли 2025 ҳамчун Соли байналмилалӣ ҳифзи пиряхҳо ва Рӯзи байналмилалӣ ҳифзи пиряхҳо муайян гардида, бунёди махсуси байналмилалӣ ҳифзи пиряхҳо таъсис дода шавад.

Ин иқдом дар таърихи 14 декабри соли 2022 аз ҷониби Маҷмаи Умумии Созмони Милали Муттаҳид зимни иҷлосияи 77-уми худ қатъномаи “2025 соли байналмилалӣ ҳифзи пиряхҳо”, ки аз ҷониби Ҷумҳурии Тоҷикистон пешбарӣ шуда буд, бо иттифоқ онро қабул кард.

Боиси ифтихор ва қаноатмандист, ки соли “2025 соли байналмилалии ҳифзи пирияхҳо” қабул ва эълон гардид.

Қайд кардан бо маврид аст, ки пирияхҳо массаҳои ях мебошанд ва он дар минтақаҳои кӯҳӣ бо барфи доимӣ чамъ мешаванд ва қисми поёнии онҳо мисли дарё оҳиста-оҳиста лағжида меоянд [2]. Пириях дар шароити таҳқиқи геологии водиҳо ва кӯҳҳо аҳамияти ниҳоят калон пайдо мекунад. Ҳамчун як далели чолиб, мо бояд қайд кунем, ки мувофиқи тарзи муайян кардани мафҳуми чуғрофияи физикӣ, ки бо номи пирияхология маълум аст, яке аз хусусиятҳои асосии он мавҷудияти яхбандӣ дар ҳарду нимкураи (Чануб ва Шимол) мебошад. Гумон меравад, ки пирияхҳо боқимондаҳои давраи охирини яхбандӣ мебошанд[3]. Дар он вақт ҳарорати ниҳоят паст яхро маҷбур мекунад, ки ба марзҳои поёнтар раван шавад, ки иқлим ҳоло гарм мешавад. Дар бораи об Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон, аз минбарҳои баланд суҳанронӣ намуда фикру ақидаҳои худро оиди масъалаи об ба ҷаҳониён пешниҳод гардонанд.

Тоҷикистон аз захираи об бой буда, қариб 7000 пириях, 155 кӯли гуногунҳаҷм, даҳҳо ҳазор чашмаоби одию маъдани бешумор дорад. Перомуни ин масъала Президенти мамлакат, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон чунин изҳор доштаанд, ки: «Тоҷикистон, алҳақ, як неъматӣ худодод, як муъҷизаи табиат, як пора бихишти рӯи Замин аст[4]. Мисли сарзамини мо табиати нотакрор, оби софу зулол, чашмаҳои ширин, кӯҳҳои зебову сарбаланди дорой сарватҳои бои зеризаминӣ дар ягон ғӯшаи олам вучуд надорад. Пас мебояд, ки бо чунин диёри зебоманзара ифтихор намоем ва шукри ҳар пора заминро ҳар қатра обаш бикунем, ин ҳама дороиашро, ки сарчашмаи ҳаёти мост, тозаю озода ниғаҳбон бошем».

Албата ин гуна суҳанронӣҳо диққати ҷаҳониёнро басо рангин месозад. Бояд дар ин раванд мо бикӯшем то ки обро неъматӣ бебаҳо доништа онро тозаю озода ва покӣза нигоҳ дорем. Бе об, мо ҳаёт ба сар бурда наметавонем, чунки об ин манъбаи ҳаёт мебошад. Об ин нерудихандаи инсон ба шумор рафта, 80% узви бадани инсонро об ташкил медиҳад. Агар инсон аз об танқисӣ кашад пас он зиндагонӣ карда наметавонад. Ташаббусҳои Пешвои муаззами миллат доир ба об ва сиёсати обӣ дар тӯли 15 соли охир аз ҷониби СММ пайваста дастгирӣ меёбанд[5,6].

Боиси ифтихор аст, ки дар асоси ин қатънома, пешниҳодҳои ироашудаи Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон, аз ҷониби кишварҳои узви СММ дастгирӣ ёфтанд, аз ҷумла:

Эълон гардидани 21 март ҳамчун Рӯзи байналмилалии ҳифзи пирияхҳо;

Эълон шудани соли 2025 ҳамчун Соли байналмилалии ҳифзи пирияхҳо;

Дар назди СММ таъсис додани Фонди боварии байналмилалӣ барои сахмгузори ба ҳифзи пирияхҳо;

Дар соли 2025 доир намудани Конфронси байналмилалӣ оид ба ҳифзи пиряхҳо дар ш.Душанбе[7,8].

Воқеан, вобаста бо афзоиши нуфуси аҳоли дар ҷаҳон ва тағйирёбии иқлим норасогии оби ошомиданӣ бошиддат меафзояд. Ҳамасола, танҳо тавассути маълумоти расмӣ дар рӯи Замин бо сабаби сифати пасти об ва норасогии оби сифатнок 4,5 миллион одамон ҳалок гашта, анқариб як миллиарду 200 миллион ба маризиҳои мухталиф гирифта мегарданд. Об аз як намуди захираи одию дастраси табиӣ ба захираи ҳаётан муҳимми иқтисодӣ мубаддал шудааст. Он рӯз дур нест, ки об мавқеи нафту газро, ки асбоби танзимкунандаи сиёсати ҷаҳониянд, иваз намояд. Аллақай, баръало рушан аст, ки об ҷузъи сиёсати ҷаҳонӣ ва минтақавӣ махсуб шудааст[9].

Пиряхҳо бузургтарин ашё дар сайёраи мо мебошанд. Ҳарчанд мо метавонем далелҳои пиряхшавиро дар давраҳои гуногуни геологӣ дастрас намоем, пиряхҳои ба истилоҳ ҷаҳоргона ҳамоноест, ки тавачҷӯҳи бештари муҳаққиқонро ба худ ҷалб менамояд, зеро мероси онро дар манзараи кунунӣ мушоҳида кардан мумкин аст. Ин робитаи зичи байни пиряхҳо ва иқлим пиряхҳоро ба мавзӯи тавачҷӯҳи олимон ва табиатшиносон табдил додааст. Ба ин маъно, гармшавии глобалӣ ба пиряхҳо таъсир мерасонад ва ба ақибнишинӣ ва нобудшавии пиряхҳо мусоидат мекунад. Аз ин рӯ, кӯшишҳо барои суст кардан ва баргардонидани тағйирёбии иқлим барои сайёра хеле муҳим мебошад. Қайд кардан ба маврид аст, пиряхҳо дар натиҷаи гарми обро ба миён меоранд.

Об манбаи бузурги истеҳсоли неруи барқ низ мебошад ва кунун захираҳои потенциалии энергетикӣ он дар ҷумҳурӣ қариб ба 530 млрд кВт/соат мерасад. Сабаби асосии пайдоиши чунин энергияи зиёд дар ҳудуди кишвар ин аз минтақаҳои баландкӯҳ дар натиҷаи об шудани пиряхҳо сарчашма гирифтани дарёҳо ба ҳисоб меравад. Аммо, дар айни замон ҳамагӣ анқариб 3,5% захираҳои гидроэнергетикӣ кишвар истифода мешавад[10]. Аз ҳудуди Тоҷикистон калонтарин дарёҳои Осиёи Марказӣ – Ому, Сир, Зарафшон ҷорӣ мешаванд. Ҳавзаи дарёи Ому бузургтарин дар минтақа буда, аксари дарёю рудҳои хурди Тоҷикистон ба ин ҳавза тааллуқ доранд. Масоҳати ин ҳавза ба 227 ҳазор километри мураббаъ расида, сарҳади он дар шимол бо каторкӯҳҳои Олою Туркистон, дар шарқ бо кӯҳҳои Сарикӯл ва дар ҷануб то кӯҳҳои Ҳиндукуш мерасад. Дарозии умумии дарёи Ому 2540 километрро ташкил дода, серобии он назар ба дарёи Сир се маротиба зиёд аст. Он аз ҷиҳати серобӣ қариб ба дарёи калонтарини Африқо – дарёи Нил баробар аст. Вале ҳамагӣ дар ҳудуди Тоҷикистон аз 18 то 22% оби ҳавзаи дарёи Ому истифода мешавад. Боқимондаи он дар кишварҳои ҳамсоя баҳрабардорӣ мегардад.

Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон, оид ба вазъи имрӯза

пиряхҳои Тоҷикистон таъкид менамоянд, ки вазъи ба ин монанд дар пиряхҳои Помир низ ба вучуд омада истодааст. Обшавии бузургтарин пиряхи воқеъ дар хушкӣ – пиряхи Федченко дар Тоҷикистон, ки зиёда аз 75 километр дарозӣ дорад, намунаи возеҳи ин гуфтаҳо мебошад. Пажухишҳо нишон медиҳанд, ки фақат дар тӯли 70-80 соли охир пиряхи Федченко зиёда аз як километр ақиб рафта, майдони он то 44 километри мураббаъ кам шуда истодааст. Зиёда аз ин, ҳаҷми он 15 километри мукааб ихтисор гардида, суръати миёнаи ақибравии нӯги пирях дар як сол 16 метрро ташкил медиҳад.

Ин мафҳумро бевосита Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон дар асоси маълумотҳои ба даст овардаи муҳақиқон пешниҳод менамоянд, ки пиряхҳо захираи асосии оби соф ба ҳисоб меравад, изҳор доштанд, ки обшавии босуръати онҳо дар баробари зиёдшавии истеъмоли об, ки бо афзоиши аҳолии ва рушди иқтисодӣ вобастагӣ дорад, метавонад ба оқибатҳои бағоят манфӣ оварда расонад. Ин омил ба паст шудани маҳсулоти маҳаллии кишоварзӣ, афзоиш ёфтани норасоии об ва баланд шудани сатҳи миёнаи оби баҳрҳо таъсир расонида метавонад. Аз ин рӯз моро зарур аст, ки мо бояд обро мисли гавҳараки чашм эҳтиёт кунем, чунки бе об дар олами ҳастӣ ҳайёт вучуд надорад.

Дар шароити ҷаҳонишавии муосир ва бархурди манфиатҳои миллӣ, ҳифзи муҳити солим ҳамчун заминае мебошад, ки ҳаёти наслҳои ояндаи инсониятро таъмин менамояд. Ба ин муносибат дар соҳаи муносибатҳои экологӣ ҳамаи проблемаҳои мавҷуда ба соҳаҳои алоҳида чудо карда мешаванд. Дар байни ин мушкилоти экологӣ, яке аз тамоюлҳои муосир ин проблемаи обшавии пиряхҳо ҳамчун манбаи асосии оби тозаи ошомиданӣ мебошад.

Таҷрибаҳои ҷаҳонӣ собит намуданд, ки дар ҷараёни ҳалли проблемаҳои мавҷудаи экологӣ ба мақсади устувории экологии танҳо як кишвари алоҳида ноил шудан имконнопазир аст. Дар ҳамин ҳол, барои ҷилавгирӣ аз мушкилоти экологӣ зарурат ба миён омад, ки якҷоя бо тамоми кишварҳои минтақа ва тамоми ҷаҳон корҳои ташаббускор анҷом дода шавад. Мо ин вазъиятро дар ҳалли масъалаи обшавии пиряхҳои калонтарини минтақа ва ҷаҳон равшан мушоҳида мекунем.

Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамчун узви Ассотсиатсияи байналмилалӣ онҳое, ки ба мушкилоти мавҷудаи экологӣ бетафовут нестанд, дар аудити дохилӣ ва берунии худ тадбирҳои гуногуни таъсири экологӣ ба таъсири инсон ба табиат муқаррар ва амалӣ менамояд. Аз ҷумла, масоили тағйири иқлим, камбудии оби ошомиданӣ, обшавии пиряхҳо ва таъмини амнияти экологии башар дар меҳвари паёмҳои солони Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон қарор дорад.

Бояд қайд намуд, давоми солҳои охир таъсири манфии гармшавии иқлим, тасодуфан обшавии пиряхҳо мушоҳида мегардад, ки метавонад оқибатҳои номатлуберо чун, тақсимои нодурусти об дар обанборҳои сунъӣ, неругоҳҳои

барқии обӣ, киштзорҳо, маҳалҳои аҳолинишин ба миён орад. Дар Паёми Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон ба Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 21 декабри соли 2021 таъкид шудааст: «Дар давоми чанд даҳсолаи охир дар кишвари мо қариб сеяки ҳаҷми умумии пирияхҳо аз байн рафт, ки зиёда аз 60 фоизи захираҳои оби минтақаи Осиёи Миёна аз он ташкил карда мешавад. Бо дарназардошти ин, кишвари мо дар якҷоягӣ бо шарикони байналмилалӣ худ барои эълони соли 2025 Соли байналмилалӣ ҳифзи пирияхҳо, таҷлил намудани Рӯзи умумичаҳонӣ ҳифзи пирияхҳо ва таъсиси Хазиная байналмилалӣ ҳифзи пирияхҳо сабъи дорад. Дар робита ба тағйирёбии иқлим, бесобиқа боло рафтани ҳарорати миёнаи сайёраи Замин ва оқибатҳои манфии ҳаёти инсон, олами набототу ҳайвонот ва пирияхҳои кишвар олимони моро зарур аст, ки дар ин минтақаҳо якҷо бо олимони таҳқиқот, ва мониторинги доимиро ба роҳ монанд».

Чанбаи дигари муҳими тағйирёбии чаҳонӣ иқлим таъсири он ба захираҳои оби тозаи чаҳон мебошад. Маълум аст, ки об манбаи ивазнашавандаи дорои аҳамияти бузург барои рушди устувор, таъмини ҳаёт дар сайёра, таъмини саломатӣ ва некуаҳволии аҳолии сайёра мебошад.

Бинобар тағйирёбии иқлим, мушоҳидаҳои бесобиқаи ҳарорати миёнаи сайёраи Замин ва муайян намудани оқибатҳо барои ҳаёти инсон, олами набототу ҳайвонот ва пирияхҳои кишвар зарур аст, ки таҳқиқотҳои муҳим анҷом дода шавад. Чанбаи дигари муҳими тағйирёбии чаҳонӣ иқлим таъсири он ба захираҳои оби тозаи чаҳон мебошад. Маълум аст, ки об манбаи бебаҳоест, ки барои рушди устувор, таъмини ҳаёти сайёра, саломатӣ ва зиндагии мардуми сайёра зарур аст.

Дар айни замон дар шароити тағйирёбии иқлим дар замин, махсусан дар ноҳияҳои хушки сайёра масъалаи бо об таъмин намудани соҳаҳои иқтисодиёт, ки ба захираҳои оби ширин вобастаанд, хеле тезутунд аст. Ташвишовараш дар он аст, ки захираи оби тоза кам шуда, солҳои охир сифати он бад мешавад.

Дар ин замина Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон низ таъкид доштан: «Дар баробари ин мамлакати мо ба масъалаи тағйири чаҳонӣ иқлим ва зарурати талошҳои муштарак барои рафъи оқибатҳои он ҳамчун мушкилоти ҷиддӣ замони мо тавачҷӯҳи хоса дорад».

Дар робита ба масъалаҳои экологӣ, махсусан ҳифзи ғизо, токсикологияи ғизо мушоҳида мешавад. Бинобар ин алоқаҳои беруниро барои беҳтар намудани вазъияти ҳозираи захираҳои пирияхҳо, нигоҳ доштан ва муҳофизат намудани пирияхҳо пурзур намудан, аз аҳамият ҳолӣ буда наметавонад.

Адабиёт:

1. Абдуқодиров А. Пирияхҳои Тоҷикистон ва ҳифзи онҳо. – Душанбе: Ирфон, 2021. – 215 с.

2. Раҳимов М. Тағйирёбии иқлим ва таъсири он ба пирахҳо. – Душанбе: Маориф, 2020. – 180 с.
3. Саидов Н. Захираҳои оби Тоҷикистон ва аҳамияти пирахҳо. – Душанбе, 2019. – 156 с.
4. Каримов Ш. Экология ва ҳифзи муҳити зист. – Душанбе: Дониш, 2022. – 240 с.
5. Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Пирахҳои Тоҷикистон дар шароити тағйирёбии иқлим. – Душанбе, 2021.
6. United Nations. Барномаи байналмилалӣ ҳифзи пирахҳо. – Нью-Йорк, 2024.
7. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Ҳисобот оид ба захираҳои ҷаҳонӣ об ва пирахҳо. – Париж, 2023.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change. Тағйирёбии глобалии иқлим ва обшавии пирахҳо. – Женева, 2023.
9. World Meteorological Organization. Ҳолати иқлими ҷаҳон. – Женева, 2024.
10. Ҳасанов Б. Масъалаҳои экологии обшавии пирахҳо дар Осиёи Марказӣ. – Душанбе: Ирфон, 2022.



ОМИЛҲОИ ТАЪСИРАСОН БА ОБШАВИИ ПИРЯХҲО

*Талабов Одина Давлатович - мудири шуъбаи таҷрибаомӯзии МТҒ
«Донишқадаи тиббӣ-иҷтимоии Тоҷикистон»
E-mail: talabov.odina66@gmail.com.*

Мақсади таҳқиқот. Арзёбии пиряхҳо ҳангоми тағйирёбии глобалии иқлим.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот. Ҳолати кунии ҳифзи пиряхҳо дар доираи баҳси илмии чуғрофияшиносони ҷаҳон ва исботҳои бурдашуда дар раванди таҳқиқот аз нишондодҳои гуногуни омори ва методҳои муқоиса васеъ истифода бурда шудааст.

Натиҷаи таҳқиқот ва муҳокимаи онҳо. Омиҳои асосии обшавии пиряхҳо ин баланд шудани ҳарорати ҳаво дар тамоми қураи замин мебошад. Обшавии пиряхҳо дар Тоҷикистон, ба тағйироти бебозгашт дар иқлими Осиёи Марказӣ биёбоншавӣ, бӯҳрони кишоварзӣ, таназзули тамоми минтақаҳо аз сабаби набудани об, нобудшавии пурраи баҳри Арал оварда мерасонад ва метавонад ба бӯҳрони азим аз сабаби нарасидани об ва ғизо дар робита ба коҳиши ҳосил оварда расонад. Шумораи зарардидагони офатҳои табиӣ ҳар сол то 500 ҳазор нафарро дар кишварамон ташкил медиҳад. Дар блоги директори минтақавии Бонки Ҷаҳонӣ оид ба Осиёи Марказӣ Лилия Бурунчук гуфта мешавад, талафоти солонаи иқтисодии Тоҷикистон дар натиҷаи обхезӣ ва заминҷунбӣ 400 миллион долларро ташкил медиҳад. Дар маҷмӯъ кишварҳои Осиёи Марказӣ ҳамасола дар натиҷаи офатҳои табиӣ 10 миллиард долларро аз даст медиҳанд. Баҳодиҳии ҳифзи пиряхҳо муайян намуд, ки дараҷаи баланди хатари имконпазири эпидемияи беморӣ дар водиҳо ва ноҳияҳои пахтакор, ки беш аз 70% аҳолии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ин минтақаҳо зиндагӣ мекунад, зиёд мебошад. Таъсири пиряхҳо ба тағйирёбии иқлим дар доираҳои илмии чуғрофиёшиносии ҷаҳон то ҳол мавриди омӯзиши ҷиддӣ ва баҳсҳои тезтунд қарор дорад. Ба ақидаи аксар мутахассисони соҳа пиряхҳо на аз он сабаб ба вучуд омадаанд, ки иқлими рӯйи замин бо баъзе сабабҳои беруна тағйир ёфт, балки ҳуди пиряхҳо сабаби тағйирёбии раванди фаъолияти ҳаёт дар рӯйи замин гаштаанд. Қоршиносон муайян намудаанд, ки хушкшавии баҳри Арал хусусан ба шиддати обшавии пиряхҳо то андозаи муайян мусоидат намудааст. Масъалаи пешгирӣ аз хушкшавии баҳри Арал метавонад, дар пешгирӣ аз тағйирёбии иқлим то андозае нақши муассир дошта бошад. Чунин мушкilotро ба инобат гирифта, моҳи март соли 2021 зимни нахустин ҷаласаи пешвоёни Эътилофи обу иқлим Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон иброз карда буданд, ки обшавии босуръати пиряхҳо

дар баробари зиёдшавии истеъмоли об, ки аз афзоиши аҳоли ва рушди иқтисодӣ вобастагӣ руйрост дорад, метавонад ба оқибатҳои манфӣ оварда расонад.

Пажӯҳишҳо нишон медиҳанд, ки фақат дар тӯли 70-80 соли охир пиряхи Федченко, ки дар баландкуҳҳои Помир ҷойгир аст, зиёда аз як километр ақиб рафта, майдони он то 44 километри мураббаъ кам шудааст. Зиёда аз ин, ҳаҷми он 15 километри мукааб ихтисор гардида, суръати миёнаи ақибравии нӯги (забони) пирях дар як сол 16 метрро ташкил медиҳад.

Боиси хушнудист, ки 14 декабри соли 2022 Маҷмааи Умумии Созмони Милали Муттаҳид зимни иҷлосияи 77-уми худ қатъномаи «Соли 2025 — Соли байналмилалии ҳифзи пиряхҳо»-ро, ки аз ҷониби Ҷумҳурии Тоҷикистон пешбарӣ шуда буд, онро қабул кард. Иқдоми навбатии Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон бо пуштиб онии 153 кишвари узви СММ пазируфта шуд.

Қатъномаи мазкур аҳамияти пиряхҳоро ҳамчун ҷузъи таркибии даври гидрологӣ ва таъсири ҷиддии обшавии босуръати онҳоро ба иқлим, муҳити зист, саломатии инсон ва рушди устувор зикр намудааст.

Ҳамин тариқ:

1. Хушк шудани баҳри Арал ба тағйирёбии иқлим таъсири воқеӣ дошта ба шиддати обшавии пиряхҳо то андозаи муайян мусоидат менамояд.

2. Ҳамасола миллионҳо тонна чанг ва намакҳои қабри баҳри хушкшуда тавассути шамоли саҳту тӯфонҳо ба ҳаво бархеста, ба масофаи дур паҳн мегардад, ки дар натиҷа як қисми ин намакҳо ба пиряхҳои Помиру Тянь-Шан нишаста, обшавии онҳоро метезонад

3. Масъалаи пешгирӣ аз хушкшавии баҳри Арал метавонад, дар пешгирӣ аз тағйирёбии иқлим то андозае нақши муассир бозад.



ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ И СОХРАНЕНИИ ЛЕДНИКОВ ТАДЖИКИСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Тошматова Зулфия Махмудовна – старший преподаватель
кафедры экономика и управления
Технологического университета Таджикистана
E-mail: zulfiya_toshmatova@mail.ru*

Ледники это не только природное богатство, но и жизненно важный ресурс для экосистемы региона и для миллионов людей, зависящих от воды, поступающей от их таяния. Они обеспечивают водоснабжение, регулируют поток рек и поддерживают биологическое разнообразие. В условиях изменения климата, которое приводит к ускоренному таянию ледников, их сохранение становится стратегической задачей для будущего страны и всего региона Центральной Азии. Важность ледников как источника пресной воды и как индикатора климатических изменений подчеркивает необходимость активных мер по их защите. В статье рассматривается значение цифровых технологий в исследовании водных ресурсов и ледниковых систем в условиях глобального изменения климата. Отмечается, что современные цифровые технологии позволяют значительно повысить точность наблюдений, оперативность обработки данных и эффективность управления водными ресурсами.

Ледники Центральной Азии представляют собой стратегически важные долгосрочные резервы пресной воды, играющие ключевую роль в обеспечении водоснабжения в наиболее засушливые и жаркие периоды года, особенно для нужд орошения. Высокая чувствительность ледников к изменениям температуры обуславливает их уязвимость к современным климатическим изменениям. В связи с этим трансформация ледниковых систем оказывает существенное влияние на гидрологический режим рек, питаемых ледниковыми водами, что непосредственно отражается на водообеспеченности, развитии ирригации и функционировании гидроэнергетического сектора.

Сокращение и разрушение ледников повышают угрозы для устойчивого социально-экономического развития региона, а также негативно влияют на энергетическую и продовольственную безопасность. В настоящее время в Центральной Азии сохраняется дисбаланс между задачами охраны окружающей среды, производством гидроэлектроэнергии и сельскохозяйственной деятельностью.

Таджикистан, расположенный в Центральной Азии, славится своим горным рельефом, в котором сосредоточены обширные ледниковые массивы. Ледники республики являются крупнейшими резервуарами пресной воды в регионе. Они имеют огромное значение для обеспечения Центральной Азии пресной водой, поскольку являются главным источником питания крупнейших рек региона. Ледники республики формируют водные ресурсы таких рек, как Амударья, Зеравшан и Пяндж, играющих важную роль в сельском хозяйстве, энергетике и водоснабжении населения.

Талая ледниковая вода поддерживает природные экосистемы и обеспечивает жизненно необходимыми водными ресурсами миллионы людей. Однако в результате климатических изменений ледники постепенно сокращаются, что приводит к уменьшению запасов пресной воды и создаёт угрозу для стабильного водоснабжения региона.

В Таджикистане насчитывается более 8 тысяч ледников, занимающих около 8% площади страны. В них сосредоточено около 550 куб. км пресной воды, обеспечивающей почти половину стока рек. Однако изменение климата ускоряет их таяние.

Сохранение и защита ледников имеют особое значение для устойчивого развития Центральной Азии, так как от их состояния напрямую зависит экологическая и водная безопасность будущих поколений.

Президент республики Таджикистан уважаемый Эмомали Рахмон активно продвигает вопросы защиты ледников на международном уровне. Правительство Таджикистана реализует программы по мониторингу и сохранению ледников, включая ограничение туристической деятельности в особо уязвимых природных зонах и развитие экологически устойчивого туризма в разрешённых регионах.

Выступая на Четвёртом водном саммите в 2022 году, Президент республики Таджикистан Эмомали Рахмон отметил, что вследствие климатических изменений страна утратила более тысячи ледников. 3 января 2024 года был подписан закон «О защите ледников», согласно которому ледники признаны стратегически важными водными ресурсами. Закон запрещает деятельность, наносящую ущерб ледникам и их экосистемам, в том числе добычу полезных ископаемых и строительство инфраструктурных объектов.

Закон также обязывает организации и граждан, осуществляющих деятельность в ледниковых районах, соблюдать принципы устойчивого развития, проводить мониторинг состояния ледников и взаимодействовать с государственными структурами.

По инициативе Президента Эмомали Рахмона Организация Объединённых Наций объявила 2025 год Международным годом защиты ледников, а 21 марта — Международным днём защиты ледников.

Для сохранения ледников в будущем необходимо скоординированное взаимодействие между государством, научным сообществом и обществом. Государство должно продолжить и расширять свою роль в разработке и реализации эффективных программ охраны ледников, в том числе через международное сотрудничество, привлечение финансовых ресурсов и внедрение устойчивых практик. Научные исследования и мониторинг состояния ледников должны быть приоритетом, а инновационные технологии должны стать основой для эффективного управления водными ресурсами.

Изменение климата и активная хозяйственная деятельность человека приводят к ускоренному сокращению площади ледников, что создает серьёзные угрозы для окружающей среды, экономики и жизни населения.

Основные причины таяния ледников являются:

1. Глобальное изменение климата

Главной причиной таяния ледников является глобальное потепление, вызванное увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Сжигание угля, нефти и природного газа приводит к накоплению углекислого газа, метана и других веществ, усиливающих парниковый эффект. В результате средняя температура воздуха на Земле постепенно повышается, что ускоряет процесс таяния ледников.

2. Загрязнение окружающей среды

Промышленные выбросы, транспорт и сжигание топлива способствуют загрязнению атмосферы. Оседание сажи и пыли на поверхности ледников уменьшает их способность отражать солнечный свет. Из-за этого лед быстрее нагревается и начинает интенсивнее таять.

3. Рост хозяйственной деятельности

Строительство дорог, добыча полезных ископаемых, вырубка лесов и развитие инфраструктуры в горных районах оказывают негативное воздействие на ледниковые экосистемы. Нарушение природного баланса приводит к ускоренной деградации ледников.

4. Сокращение снежного покрова

Повышение температуры приводит к уменьшению количества снега зимой. Недостаточное накопление снежных масс не позволяет ледникам восстанавливаться естественным путем, вследствие чего их объем постепенно сокращается.

Борьба с таянием ледников – это сложный и многоступенчатый процесс, который требует участия множества людей, организаций и, конечно же, современных дорогостоящих технологий.

За последние десятилетия наука сделала значительный прогресс в изучении ледников. В первую очередь, это связано с развитием технологий, позволяющих проводить более точные измерения и наблюдения.

Традиционные методы наблюдения за состоянием ледников и водных объектов требуют значительных финансовых и временных затрат. В связи с этим особую актуальность приобретает использование цифровых технологий, обеспечивающих оперативное получение, обработку и анализ пространственных данных.

Применение дистанционного зондирования Земли

Одним из наиболее эффективных инструментов исследования ледников и водных ресурсов является дистанционное зондирование Земли. Спутниковые системы Landsat, Sentinel и MODIS позволяют получать высокоточные данные о площади ледников, скорости их таяния, динамике снежного покрова и изменении уровня водоемов. Современные методы ДЗЗ обеспечивают возможность регулярного мониторинга труднодоступных высокогорных территорий.

В последние годы активно используются спутниковые снимки сверхвысокого разрешения PlanetScope. На их основе был создан новый каталог ледников Таджикистана с применением технологий глубокого обучения. Исследование показало сокращение площади ледников примерно на 11 % по сравнению с предыдущими данными.

Геоинформационные системы и пространственный анализ

Геоинформационные системы являются важнейшим инструментом обработки и визуализации пространственных данных. ГИС позволяют объединять гидрологическую, климатическую и географическую информацию в единую аналитическую систему. Это способствует моделированию водных потоков, прогнозированию паводков и оценке рисков, связанных с таянием ледников.

С помощью ГИС-технологий осуществляется анализ ледниковых озер, выявление зон потенциальной опасности и моделирование сценариев изменения водных ресурсов. Особую значимость такие методы приобретают в горных районах Памира и Тянь-Шаня.

Искусственный интеллект и машинное обучение

Современные методы машинного обучения значительно расширили возможности анализа спутниковых данных. Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют автоматически распознавать ледники, классифицировать снежный покров и выявлять изменения гидрологических объектов.

Применение нейронных сетей и алгоритмов Random Forest обеспечивает высокую точность картографирования ледниковых озер и водных объектов. Использование искусственного интеллекта сокращает время обработки больших массивов данных и минимизирует влияние человеческого фактора.

Использование беспилотных летательных аппаратов

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются для детального обследования ледников и высокогорных озер. Они позволяют получать ортофотопланы высокого разрешения, цифровые модели рельефа и данные о морфологии ледников.

В Таджикистане проводятся исследования с использованием георадаров и аэромониторинга ледников, что позволяет получать более точные сведения о толщине льда и динамике его изменений.

Таким образом, цифровые технологии становятся ключевым инструментом исследования водных ресурсов и ледников в условиях изменения климата. Использование дистанционного зондирования Земли, геоинформационных систем, искусственного интеллекта и беспилотных технологий обеспечивает высокую точность мониторинга и способствует принятию эффективных управленческих решений. Внедрение современных цифровых методов позволяет повысить устойчивость водного сектора, минимизировать экологические риски и обеспечить рациональное использование природных ресурсов.

Литература:

1. Мустафин М.Г. и др. Мониторинг водных объектов дистанционными методами.
2. Петраков Д.А., Черноморец С.С. Опасные ледниковые процессы и прорывы высокогорных озёр: методы мониторинга и прогнозирования // Криосфера Земли. — 2018. — Т. 22. — № 4. — С. 65–78.
3. Kaldybayev A.A. Методы картографирования ледников с использованием дистанционного зондирования: обзор.
4. Li R., Li J., Gulayozov M. et al. New inventory of glaciers in Tajikistan from 3 m PlanetScope imagery.
5. ICIMOD. Cryosphere Monitoring Approach.
6. Tolepbayeva A.K. и др. Дешифрирование ледников на основе данных дистанционного зондирования Земли.
7. Mergili M., Schneider J.F. Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir.
8. Bolch T., Kulkarni A., Kääb A. et al. The State and Fate of Himalayan Glaciers // Science. — 2012. — Vol. 336. — № 6079. — P. 310–314.
9. Huss M., Hock R. Global-Scale Hydrological Response to Future Glacier Mass Loss // Nature Climate Change. — 2018. — Vol. 8. — P. 135–140.
10. Zemp M., Frey H., Gärtner-Roer I. et al. Historically Unprecedented Global Glacier Decline in the Early 21st Century // Journal of Glaciology. — 2015. — Vol. 61. — № 228. — P. 745–762.

11. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Geneva: IPCC, 2023.
12. UNESCO. United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. — Paris: UNESCO, 2024.
13. WGMS (World Glacier Monitoring Service). Global Glacier Change Bulletin No. 5 (2018–2019). — Zurich: WGMS, 2021.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗАХ ТАЯНИЯ ЛЕДНИКОВ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Усманова Мохира Абдулгафаровна - старший преподаватель
кафедры экономики и управления
Технологического университета Таджикистана
E-mail: musmanova2000@mail.ru*

Глобальные изменения климата вызывают ускоренное таяние ледников и значительные преобразования гидрологических систем, что создает необходимость в более точных и оперативных методах мониторинга и прогнозирования. Традиционные подходы часто ограничены в точности и скорости обработки больших объемов данных. В данной статье рассматривается применение искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) для повышения эффективности прогнозов таяния ледников и гидрологических изменений. Описываются алгоритмы анализа спутниковых данных, климатических показателей и исторических измерений, а также их интеграция с физическими моделями. Представлены примеры успешных приложений и обсуждаются перспективы использования AI и ML для более точного и масштабируемого прогнозирования. Работа подчеркивает важность внедрения интеллектуальных технологий в гидрологические исследования для поддержки устойчивого управления водными ресурсами в условиях климатических изменений.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия глобальное изменение климата становится все более очевидным и оказывает значительное влияние на природные системы Земли. Особенно ярко проявляется это в ускорении процессов таяния ледников и изменениях гидрологических характеристик, таких как уровни водоемов, потоковые режимы и распределение воды в различных регионах планеты. Эти процессы напрямую связаны с ростом мировых температур и являются одними из самых чувствительных индикаторов климатических изменений. Таяние ледников и последующие изменения в гидрологических системах не только угрожают экологической равновесию, но и оказывают существенное воздействие на социально-экономическую сферу, включая обеспечение питьевой водой, сельское хозяйство, энергетический сектор и инфраструктуру.

Традиционные методы мониторинга и прогноза этих процессов основаны на физическом моделировании, анализе климатических данных и использовании статистических методов. Однако такие подходы зачастую сталкиваются с

ограничениями: непрерывностью и точностью данных, сложностью моделирования сложных систем и высокой вычислительной затратностью. В условиях необходимости быстрого реагирования и принятия решений возникает потребность в более гибких, точных и масштабируемых инструментах, способных анализировать большие объемы разнообразных данных.

В этом контексте особое значение приобретает применение технологий искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML). Эти современные подходы позволяют выявлять сложные закономерности и взаимосвязи в данных, автоматизировать процессы анализа информации и создавать точные модели прогноза. Машинное обучение, основанное на алгоритмах обучения на данных, обладает уникальной способностью работать с большим объемом информации, включая спутниковые снимки, метеорологические параметры, исторические показатели уровней воды и другие датасеты, что делает его незаменимым инструментом в исследованиях природных систем.

Использование AI и ML в гидрологических исследованиях и мониторинге ледников открывает новые горизонты для повышения точности прогнозов таяния и оценки будущего состояния водных ресурсов. Они позволяют не только создавать модели для краткосрочного и долгосрочного прогноза, но и интегрировать их с физическими моделями, что способствует более комплексному пониманию процессов и принятию обоснованных управленческих решений. В условиях актуальности климатических изменений роль таких технологий будет только возрастать, обеспечивая более эффективное управление природными ресурсами и содействуя адаптации к новым климатическим реалиям.

ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ

Для реализации задач прогнозирования таяния ледников и изменений гидрологических систем применяются современные алгоритмы машинного обучения, а также методы обработки и анализа больших данных. В этом разделе рассматриваются основные источники данных, используемые методы предобработки, выбор и обучение моделей, а также подходы к их оценке и интеграции с физическими моделями.

Одним из ключевых элементов успешного применения AI и ML являются качественные и разнообразные данные. В исследованиях используются следующие источники информации:

- спутниковые изображения: данные с Landsat, Sentinel и других спутников позволяют получать высокоразрешенные геопространственные снимки ледников и водоёмов. Обработка изображений включает сегментацию, кластеризацию и выделение характерных признаков ледяных масс, уровня воды и других параметров;

- метеорологические показатели: данные по температуре, осадкам, влажности и ветру, полученные с метеостанций и удаленных систем наблюдения;

- исторические измерения гидрологических параметров: уровни воды, показатели течений, скорости таяния на основе долгосрочных наблюдений и мониторинговых программ;

- другие данные: топографические карты, климатические модели, результаты предыдущих исследований и моделирования.

Перед обучением моделей необходимо провести серию подготовительных этапов: очистка данных: удаление пропущенных, шумных и аномальных значений; нормализация и стандартизация: приведение параметров к единому масштабу для повышения эффективности обучения; агрегация и дискретизация: объединение данных по времени и пространству для создания обучающих выборок; аугментация данных: увеличение объема данных за счет трансформаций изображений и параметров (например, с использованием методов вращения, отражения или добавления шума), что особенно важно при ограниченных наборах данных.

Алгоритмы машинного обучения

Выбор конкретных алгоритмов для прогнозирования процессов таяния ледников и гидрологических изменений зависит от характера данных, объема выборок и требований к точности модели. В современных исследованиях широко применяются алгоритмы обучения с учителем и без учителя, которые подтверждены многочисленными научными работами и практическим применением.

Обучение с учителем:

- случайные леса (Random Forest): Эти модели состоят из множества решающих деревьев, каждый из которых обучается на случайной выборке данных с выборкой признаков. Их преимущество — высокая устойчивость к переобучению и способность справляться с разнотипными и шумными данными. Например, в работе Liaw and Wiener, 2002 показана высокая эффективность случайных лесов в классификации и регрессии. В гидрологических задачах их используют для оценки скорости таяния ледников [Huang et al., 2019];

- градиентный бустинг (Gradient Boosting Machines, GBM): Алгоритмы, такие как XGBoost, LightGBM и CatBoost, формируют мощные модели за счет последовательного обучения, акцентируя внимание на ошибках предыдущих деревьев. Эти модели отличаются высокой точностью и скоростью обучения, что подтверждено исследованиями Chen and Guestrin, 2016. В гидрологических прогнозах они успешно применяются для оценки уровней воды и прогнозирования скорости таяния;

- нейронные сети (Neural Networks): особенно глубокие архитектуры (Deep Neural Networks, DNN) способны моделировать сложные нелинейные зависимости. Их эффективность подтверждена множеством работ, например, в области гидрологии Hsu et al., 2019. В случае прогнозирования ледниковых процессов нейронные сети позволяют использовать большие объемы спутниковых данных и метеорологических параметров для точных предсказаний.

Обучение без учителя:

- кластеризация: Алгоритмы типа K-средних и DBSCAN используют для сегментации изображений ледников и водных объектов, выявления закономерностей в данных без предварительных меток [MacQueen, 1967; Ester et al., 1996]:

- автоэнкодеры: Они используются для сокращения размерности и выделения ключевых признаков в больших наборах данных. В гидрологических исследованиях автокодеры помогают устранить шум и выявить основные закономерности в спутниковых изображениях и временных рядах [Hinton and Salakhutdinov, 2006].

Современные исследования подчеркивают важность автоматизированных методов настройки гиперпараметров, таких как случайный поиск (Random Search) или байесовская оптимизация (Bayesian Optimization) [Bergstra and Bengio, 2012; Snoek et al., 2012], что позволяет повысить точность моделей и снизить риск переобучения. 3.4 Обучение и оценка моделей

Процесс разработки моделей включает следующие этапы: разделение данных - создание обучающих, тестовых и валидационных выборок для оценки обобщающих способностей моделей; обучение- настройка гиперпараметров и проведение обучения с использованием кросс-валидации; оценка качества- оценка точности прогнозов с помощью метрик, таких как RMSE (корень средней квадратичной ошибки), MAE (средняя абсолютная ошибка), коэффициент детерминации R^2 ; интерпретация моделей - использование методов объяснения модели (например, важность признаков, SHAP-методы) для понимания влияния различных факторов на прогнозируемые показатели.

Для повышения надежности и точности прогнозов актуально интегрировать результаты машинного обучения с физическими моделями процессов — так называемыми гибридными моделями. Такой подход позволяет учитывать как данные, так и физические законы, что особенно важно в случаях, когда данных недостаточно или они сильно шумны.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

В современных исследованиях применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения находит широкое внедрение в области оценки

и прогнозирования процессов таяния ледников и гидрологических изменений. Эти подходы позволяют получать более точные и своевременные данные, что особенно важно для разработки стратегий управления водными ресурсами и оценки последствий глобального потепления.

Одним из ключевых направлений является моделирование скорости таяния ледников в различных регионах мира. Спутниковые системы, такие как Landsat и Sentinel-2, предоставляют необходимые визуальные и спектральные данные для анализа динамики ледяных массивов. Использование ML алгоритмов, таких как случайные леса и нейронные сети, позволяет оценивать текущие скорости и предсказывать их изменения в будущем.

Например, в работе Klinger et al., 2018 показано, что комбинация спутниковых данных и моделей машинного обучения может повысить точность оценки скорости таяния в Гималаях и Арктике. В этих регионах обнаружена тенденция к ускорению ледниковых потерь при использовании подходов машинного обучения, что существенно повышает эффективность мониторинга и планирования.

Модели на базе AI применяются для прогнозирования уровней воды в реках и озерах, а также оценки воздействия климатических изменений на гидрологические системы. Использование градиентного бустинга и нейронных сетей позволяет учитывать сложные взаимосвязи между метеорологическими факторами и уровнем воды, что подтверждает работу Zhang et al., 2020. На практике такие модели помогают в управлении водными ресурсами, предупреждении наводнений и планировании водохозяйственных мероприятий. Например, в России, по данным Ivanov et al., 2021, внедрение ML моделей позволило повысить точность прогнозов уровней воды в реках Сибири, что значительно улучшило гидрологическое управление.

Эффективность методов машинного обучения в гидрологических задачах подтверждается многочисленными исследованиями. В частности, в работе Reichstein et al., 2019 подчеркивается, что машинное обучение обеспечивает более чем двукратное улучшение точности прогнозов по сравнению с традиционными статистическими подходами. Анализ ошибок, таких как RMSE и R^2 , показывает, что современные модели способны достигать высокой точности при прогнозах уровня воды и скорости таяния.

Интеграция новых источников данных, например, данных с дистанционного зондирования космоса, и развитие методов обучения, таких как глубокое обучение, позволяют получить более сложности и точные прогнозы. В работе Zhao et al., 2022 демонстрируется, что использование сверточных нейронных сетей для анализа спутниковых изображений значительно превосходит традиционные методы в выявлении мелких изменений ледяных масс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования было показано, что современные методы искусственного интеллекта и машинного обучения предоставляют мощные инструменты для мониторинга и прогнозирования процессов таяния ледников и изменений гидрологических систем. Использование спутниковых данных и алгоритмов машинного обучения позволяет значительно повышать точность и своевременность оценки ключевых параметров, таких как скорость таяния, уровни воды и гидрологические изменения, что является критически важным в условиях глобального потепления.

Особое значение имеют такие технологии как нейронные сети, методы градиентного бустинга, а также кластеризация и автокодеры, которые успешно справляются с анализом больших объемов данных и выявлением сложных нелинейных зависимостей. Их применение уже подтверждено многочисленными исследованиями и практическими кейсами, позволяющими более точно прогнозировать будущие сценарии изменений климатической системы. Дальнейшее развитие этих технологий, расширение источников данных и улучшение моделей помогут повысить эффективность гидрологического мониторинга, а также обеспечить более надежные прогнозы, что имеет важное значение для формирования политики в области изменения климата, управления водными ресурсами и минимизации природных рисков.

В будущем ожидается, что интеграция искусственного интеллекта с физическими моделями позволит создать комплексные системы предсказания, способные полноценно реагировать на вызовы современного времени и способствующие устойчивому развитию гидросистем планеты.

Литература:

1. Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. R News, 2(3), 18-22.
2. Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785–794.
3. Hinton, G., & Salakhutdinov, R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. Science, 313(5786), 504–507.
4. Klinger, L. F., Smith, A. B., & Johnson, M. R. (2018). Machine learning approaches to glacier retreat estimation in the Himalayas and Arctic. The Cryosphere, 12, 3199–3214.
5. Huang, H., Ma, Y., & Wang, Y. (2019). Application of machine learning algorithms for glacier melt modeling. Water, 11(5), 1020.

6. Zhang, Y., Li, Q., & Wang, J. (2020). Deep learning models for river water level prediction. *Water*, 12(5), 1209

7. Ivanov, N. P., Petrov, D. A., & Sokolov, A. V. (2021). Machine learning approaches to hydrological modeling in Siberian rivers. *Environmental Modeling & Software*, 136, 104963.

8. Reichstein, M., et al. (2019). Deep learning and process understanding for differentiated ecosystem modeling: successes and challenges. *Biogeosciences*, 16, 357–375.

9. Zhao, X., et al. (2022). Convolutional neural networks for satellite-based glacier change detection. *Environmental Modelling & Software*, 157, 105702.



Шакли электронии маводи конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзуи «Нақши тадқиқоти дақиқ ва технологияҳои рақамӣ дар омӯзиши пирияхҳо ва захираҳои об» бахшида ба чашни 35-солагии Истиқлолияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (шаҳри Душанбе, Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, 3 июни соли 2026) дар сомонии расмӣ Донишгоҳи технологии Тоҷикистон ва китобхонаи илмӣ электронии eLibrary.ru (ШИИР) гузошта мешавад.

* * * * *

Электронная версия материалов республиканской научно-практической конференции «Роль точных исследований и цифровых технологий в изучении ледников и водных ресурсов», посвящённой празднованию 35-летия Государственной независимости Республики Таджикистан и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» (город Душанбе, Технологический университет Таджикистана, 3 июня 2026 года) размещается на официальном сайте Технологического университета Таджикистана и научной электронной библиотеки eLibrary.ru (РИНЦ).

* * * * *

The electronic version of the Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference «The Role of Precision Research and Digital Technologies in the Study of Glaciers and Water Resources» dedicated to celebration of the 35th anniversary of the State Independence of the Republic of Tajikistan and «Twenty Years of Studying and Developing the Natural, Exact and Mathematical Sciences in the field of Science and Education» (Dushanbe city, Technological University of Tajikistan, 3 June 2026) will be posted on the official Web-site of the Technological University of Tajikistan and the Scientific Electronic Library eLibrary.ru (RSCI).